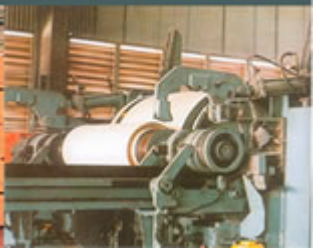
DIVERSIFICACION 2004

CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE AZÚCAR Y DERIVADOS DE LA CAÑA

La Habana, Cuba Junio 14 al 18

Memorias



INTRODUCCION

Durante mas de tres décadas se han celebrado los encuentros Científicos y Tecnológicos sobre la Diversificación, inicialmente como seminarios de carácter nacional y a partir de 1988 como Congreso Internacional.

En este VIII Congreso se han presentado mas de 230 trabajos Científicos y Tecnológicos, que son el fruto de la contribución de más de 30 centros de investigación y universidades cubanas y extranjeras que cubren los 8 temas generales presentados en el evento.

Los textos completos de los trabajos presentados y recogidos en estas Memorias en disco compacto abarcan el universo de la agroindustria azucarera de la caña de azúcar, permitiendo una visión del estado del arte, de las diferentes tecnologías tanto agrícolas como industriales, que sin duda contribuirán a difundir conocimientos y experiencias de gran valor.

Los trabajos están estructurados de forma tal que sus contenidos podrán ser explorados fácilmente a través de las palabras claves que sean seleccionadas. Estos textos podrán utilizarse en sistemas de computadoras en red, para mejor facilidad de acceso de los interesados de esta información.

Se ha incluido además información sobre los congresos anteriores, fotos del VII Congreso, las instituciones auspiciadotas y enlaces de interés a sitios web relacionados con la industria azucarera.

Es nuestro propósito que esta presentación de las Memorias de los trabajos científicos del VIII Congreso Internacional de Azúcar y Derivados de la Caña (Diversificación 2004) cumpla con las expectativas de quienes han participado en este evento y de todos los que accedan a su información.

Dr. Luis O. Galvez Taupier
Presidente del Comité Organizador
Diversificación 2004
La Habana, Junio del 2004

Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña (Diversificación 2004)

Comité Organizador.

Presidente: Luis O. Gálvez Taupier

Vicepresidentes:

Arodys Caballero
Ignacio Santana
Héctor Companioni
Pedro Hechavarria
Amaury Álvarez
Alejandro Abril

Secretaria Científica: Marianela Cordovés

Secretarios Organizadores:
Maria Elena Díaz de Villegas
Beatriz Altuna
Guillermo Bernal

Miembros:
Gloria Villamil
Dolores Piñón
Raúl Sabadí
Ana Lidia González
Tirso Sáenz
Beatriz Muñoz
Javier Naranjo
María Hernández

PROGRAMA DEL VIII CONGRESO DE AZUCAR Y DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZUCAR, LA HABANA, CUBA

HORARIO	LUNES 14	MARTES 15		MIÉRCOLES 16						JUEVES 17					VIERNES 18		
	Hotel Habana Libre Tryp	Salón Embajadores	Salón Los Espejos	Salón Embajadores	Salón Embajadores (2)	Salón Solidaridad	Salón Sevillano	Salón Primavera	Salón Internacional	Salón Embajadores	Salón Embajadores (2)	Salón Solidaridad	Salón Internacional	Salón Primavera	Salón Embajadores	Salón Solidaridad	Salón Embajadores (2)
09:00-09:20	Acreditación y Colocación de posters	Apertura		Conferencia "La caña de azúcar y la producción flexible de azúcar, alcohol, pienso y energía"	Mesa redonda "Producciones Limpias"		Taller WESAP: "Análisis de los Procesos para la Optimización de Agua y Energía en la Producción Integrada de Azúcar Alcohol"	Encuentro de Negocios	Taller sobre "Aprovechamiento del Bagazo y los Residuos Agrícolas de la Cosecha Cañera"	Trabajos sobre Derivados	"I Taller Internacional sobre Tecnologías, Procesos y Productos Innovadores para la Producción Más Limpia" (ONUDI)	Trabajos de la Industria Azucarera y Energía	Taller sobre "Aprovechamiento del Bagazo y los Residuos Agrícolas de la Cosecha Cañera"	Encuentro de Negocios	Trabajos sobre Derivados y Calidad	Trabajos sobre Productos para la Agricultura	"I Taller Internacional sobre Tecnologías, Procesos y Productos Innovadores para la Producción Más Limpia" (ONUDI)
09:20-09:40																	
09:40-10:00																	
10:00-10:20				Conferencia "Perspectivas del Mercado Azucarero"													
10:20-10:40		Conferencia "Diversificación: camino imprescindible para lograr la competitividad de la Agroindustria Azucarera"															
10:40-11:00																	
11:00-11:20 RECESO				Trabajos sobre Derivados		Trabajos de Agricultura											
11:20-11:40																	
11:40-12:00		Conferencia sobre "El Sector Cañero Brasileño"															
12:00-12:20																	
12:20-12:40																	
12:40-13:00																	
13:00-14:00	A L M U E R Z O														Ceremonia de Clausura		
14:00-14:20	Acreditación y Colocación de posters		Encuentro Cuba-Brasil	Posters sobre Derivados	Mesa redonda "Producciones Limpias"	Posters Agricultura	Taller WESAP: "Análisis de los Procesos para la Optimización del Agua y Energía en la Producción Integrada de Azúcar Alcohol"	Encuentro de Negocios	Taller sobre "Aprovechamiento del Bagazo y los Residuos Agrícolas de la Cosecha Cañera"	Posters sobre Derivados	"I Taller Internacional sobre Tecnologías, Procesos y Productos Innovadores para la Producción Más Limpia" (ONUDI)	Posters Industria Azucarera y Energía	Taller sobre "Aprovechamiento del Bagazo y los Residuos Agrícolas de la Cosecha Cañera"	Encuentro de Negocios	Almuerzo de Despedida		
14:20-14:40																	
14:40-15:00																	
15:00-15:20				Trabajos sobre Derivados		Trabajos de Agricultura				Taller sobre Alcohol y Bebidas		Trabajos de la Industria Azucarera					
15:20-15:40																	
15:40-16:00																	
16:00-16:20																	
16:20-16:40																	
16:40-17:00																	
17:00-17:20																	
17:20-17:40																	
17:00-18:00	Cóctel de bienvenida																
19:00-				G A L A C U L T U R A L													

Lunes 14

Salones Habana Libre Tryp

09:00-13:00	Acreditación y Colocación de Posters

Las Cañitas, Habana Libre Tryp

17:00-18:00	Cóctel de Bienvenida

Martes 15

Salón Embajadores

09:00-09:50	Ceremonia de Apertura
10:00-11:00	*Conferencia Magistral "Reestructuración de la Agroindustria Azucarera Cubana "* M. Sc. Tirso Sáenz, ATAC, Cuba
11:00-12:00	*Conferencia Magistral "Perfil y Perspectiva del Sector de la Caña de Azúcar Brasileño"* Dr. Edison Ustulin, CNA, Brasil

Salón Los Espejos

14:00-18:30	**Encuentro CUBA-BRASIL**
	Palabras Introductorias Autoridades de Brasil y Cuba
	Situación actual y perspectiva del sector sucroalcoholero en Brasil Antonio de Padua, Director UNICA, Brasil
	Estado del arte del alcohol combustible en Brasil y otros países seleccionados Alfred Swarc, Consultor UNICA, Brasil
	Programa de Diversificación como parte de la Reestructuración de la Agroindustria cubana Manuel de los Ríos, Director ICIDCA, Cuba
	El nuevo paradigma para los ingenios azucareros. "Industrias de Alimentos y de Energía" Pedro Eduardo Pinho de Assis, Consultor Internacional P.A. Sys Engenharia e Sistemas
11:00-11:15	**Receso**
	Proyecto de SEBRAE-IEL sobre la Transferencia de Tecnología para la Pequeña y Mediana Empresa entre Cuba y Brasil María Rita Pontes A. UFSCar, BRASIL
	Tecnologías de derivados transferibles desde Cuba Raúl Costales, Cuba
	Debate

Palabras de Clausura

Miércoles 16

Salón Embajadores

09:00-09:50	*Conferencia Magistral "La caña de azúcar y la producción flexible de azúcar, alcohol, pienso y energía"* Dr. Luis O. Gálvez Taupier, ICIDCA, Cuba
10:00-11:00	*Conferencia Magistral "Perspectivas del Mercado Azucarero"* Dr. Peter Baron, OIA
11:00-11:15	**Receso**
	Derivados
11:15-11:35	Efecto del tratamiento con resinas de intercambio iónico en caldos de fermentación conteniendo ácido jasmónico Grisel Ortega, ICIDCA
11:35-11:55	Utilización de técnicas "*in vitro*" para la evaluación de propiedades probióticas funcionales en *lactobacillus rhamnosus lb/103-1-5*" María A. Brizuela, ICIDCA
11:55-12:15	Efecto económico comparativo de la producción de carne bovina y de cerdo a partir de mieles enriquecidas Agustín Cabello, ICIDCA
12:15-12:35	Determinación de los parámetros mas significativos en el proceso de lixiviación de poligalacturonasa obtenida por fermentación en estado sólido de cáscara cítrica Daniel E. Rodríguez, ICIDCA
12:35-12:55	Detección de candida tropicalis en diversas locaciones de la Empresa Azucarera "A. Guiteras" mediante análisis de secuencias nucleotídicas de regiones ITS Roxana García, ICIDCA

14:00-15:00	Posters Derivados
15:00-15:20	Esquema integrado azúcar-alcohol-levadura torula Gustavo Saura Laria, ICIDCA
15:20-15:40	Evolución de los sectores del azúcar y alcohol brasileños: un análisis del input-output Pery Francisco Assis Shikida, Brasil
15:40-16:00	Favorecimiento de la producción de xilitol a partir del hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña en presencia de glucosa durante el cultivo de inóculo de *candida guillermondii* Débora Danielle V. Silva, Brasil

	16:00-16:20	Ingeniería y simulación tecnológica. PROBICID, un caso de estudio Raúl Costales, ICIDCA
	16:20-16:40	Validación de la determinación de ácido jasmónico por HPLC Grolamys Castillo, ICIDCA
Salón Solidaridad		***Agricultura Cañera***
	11:15-11:55	*Conferencia "El INICA de HOY"* Dr. Ignacio Santana, INICA, CUBA
	11:55-13:00	*Conferencia "Programa de Fitomejoramiento: Impacto en la producción azucarera cubana"* Dr. Héctor Jorge Suárez, INICA
	15:00-15:20	Nueva metodología en la selección de variedades de caña de azúcar Rafael Trujillo, México
	15:20-15:40	La rotación de arroz con caña de azúcar en La Florida José Alvarez, Florida, E.U
	15:40-16:40	*Mesa Redonda "Manejo Agronómico sostenible de la caña de azúcar "* Mario de León, Ernesto Velarde, Juan Carlos Díaz, INICA
	16:40-17:40	*Mesa Redonda "La experiencia cubana en la extensión y los servicios científico-técnicos para la caña de azúcar"* Rolando González, Jacinto Campos, Roberto Quintero, INICA
	17:40-18:00	La modelación del rendimiento agrícola en la caña de azúcar: Caso de estudio Guillermo Gálvez, Universidad de la Habana
	18:00-18:20	Estudio de la fertilización nitrogenada en variedades de caña de azúcar cultivadas en diferentes suelos Víctor Paneque, INCA
Salón Sevillano		***Taller "Optimización de agua y energía en la producción integrada de azúcar y alcohol"***
	09:00-09:20	El Proyecto WESAP Raúl Sabadí, Cuba
	09:20-09:40	Uso de diagramas funcionales y MILP para la optimización exergo-económica en ingenios azucareros Mario Colombo, Argentina

	09:40-10:00	Índice de reuso del agua en ingenios azucareros Humberto Heluane, Argentina
	10:00-10:20	Aplicación de un modelo de optimización para maximizar el reuso de agua en la industria Mauricio Ribas, Cuba
	10:20-10:40	Optimización del consumo de agua y energía en la producción de etanol Mauricio Colombo, Argentina
	10:40-11:00	SIDEL: Sistema de diseño y simulación de destilerías Norge A. Garrido, Cuba
	11:00-11:15	**Receso**
	11:15-11:35	Un sistema para la toma de decisiones en las producciones integradas de azúcar y alcohol R. Hurtado, CUBA
	11:35-11:55	Análisis de sensibilidad de los esquemas integrados de azúcar y alcohol Manuel Díaz de los Ríos, Cuba
	11:55-12:15	Dinámica de evaporadores de calandria Mario Cesca, Argentina
	12:1512:35	Empleo del método HAZOP al área de destilación de una destilería de alcohol J. A. Pavón, CUBA
	12:35-12:55	Análisis HAZOP en destilerías de alcohol Gustavo Silvetti, Argentina
Salón Internacional		
		Taller "Aprovechamiento del Bagazo y los Residuos Agrícolas de la Cosecha Cañera"
	09:00-09:20	Los residuos agrícolas de la cosecha cañera como fuente de combustible renovable Antonio Valdés, GEPRO CITMA
	09:20-09:40	Los residuos agrícolas como variante energética Héctor A. González Llanes, ICINAZ
	09:40-10:00	Potencialidades con el bagazo sobrante y el uso de la paja de caña como combustible Félix Pérez, ICINAZ
	10:00-10:40	Experiencias de Empresas azucareras en el empleo de la paja de caña como combustible Ponentes seleccionados
	10:40-11:00	Generación de electricidad a partir de biomasa cañera Paulino López, MINAZ
	11:00-11:15	**Receso**

	11:15-11:35	Evaluación del nivel de desempeño de la cadena de suministro de los residuos agrícolas para su uso con fines energéticos J. A. Knudsen, UCLV
	11:35-11:55	Caracterización de residuos industriales y agrícolas de la caña de azúcar para la obtención de biocombustible Juan Fernández, UIP CUBA 9
	11:55-12:15	Consideraciones generales para el almacenamiento de bagazo con finesenergéticos José A. Pérez, UIP CUBA 9
	15:00-15:20	Los residuos cañeros como combustible para la locomotora de vapor modernizada no. 1816 y para su uso en otras calderas productoras de energía Francisco Pividal Grana, CETRA
	15:20-16:00	Debate
Salón Embajadores (2)		
	09:00-17:30	***III Mesa Redonda de la REDNPML de Cuba y el I Taller Internacional sobre: Tecnología, Procesos y Productos Innovadores para la Producción Mas Limpia***
		Inauguración, Pedro Morales, MINVEC
		Estrategia de PML en la Agroindustria Azucarera Esperanza Valdés, PF ICIDCA
		Implementación del Programa de P+L, en el sistema de producción del CIGB Miriela Gil Mena, PF CIGB
		Presentación México
		Estrategia de PML en el Sector cárnico cubano Yamira Cepero PF IIIA
	11:00-11:15	**Receso**
		Estrategia de PML en el Sector citrícola Leticia Preves PF IIFT
		Presentación de Guatemala
		Nuevo enfoque de la Gestión Ambiental en la Bahía de La Habana Tamara del Castillo, GTE Bahía Habana, PF ICIDCA
		Experiencias en construcción y operación de la planta de biogás del Heriberto Duquesne Alain González, PF ICIDCA

	Estrategia de PML en el Sector lácteo cubano Arelys Cortada PF IIIA
	Transesterificaciòn enzimática. Hacia el desarrollo de producciones más limpias. Amaury Álvarez, PF ICIDCA
	Institucionalización de Producción Mas Limpia en Cuba Carmen Terry PF AMA
	Presentación Nicaragua
	Enfoques de la P+L en el Ministerio de la Industria Básica Irene Socorro, PF AMA
	Presentación de Costa Rica
	Presentación CUJAE Carlos Menéndez
17:00-17:30	Conclusiones de la Mesa Georgina Fajardo, MINVEC

Jueves 17

Salón Embajadores		***Derivados***
	09:00-09:20	Evaluación técnico-económica de opciones de diversificación productiva en la industria de azúcar y alcohol Electo Silva Lora, Brasil
	09:20:09:40	Evaluación del desempeño de sistemas con células libres e inmovilizadas en soportes inorgánicos para la producción de xilitol a partir de hidrolizado de bagazo de caña de azúcar Julio Cesar dos Santos, Brasil
	09:40-10:00	Producción de ácido láctico con bacterias termofilicas de *bacillus coagulans* libres e inmovilizadas Rosenberg Michal, Eslovaquia
	10:00-10:20	Perfiles termoenergéticos y aprovechamiento de los coproductos de la caña de azúcar en México Manuel Enríquez Poy, México
	10:20-10:40	Microbiota responsable de la desulfuración de biogás a partir de vinaza tratada L. Vergara, IIPF
	10:40-11:00	Obtención de mezclas de fitosteroles a partir de la cachaza de la caña de azúcar BR. Hung, CNIC
	11:00-11:15	**Receso**
	11:15:11:35	Fructooligisacáridos (fos): una alternativa

posible en la diversificación azucarera en Cuba
Dr. Lázaro Hernández García, CIGB

11:35-11:55 Efecto de la inclusión de niveles crecientes del grano molido de canavalia sobre la fermentación en estado sólido de la caña de azúcar
Lien Aguilera, UIP CUBA 9

11:55-12:15 Desarrollo de nuevas composiciones poliméricas para recubrimientos impermeabilizantes
Andrés Gómez, ICIDCA

12:15-12:35 Linter de celulosa como soporte de herbicida de acción controlada
Carmen Viltres, ICIDCA

Salón Embajadores ***Taller de Alcohol y Bebidas***

ALCOHOL

15:00-15:20 Evolución y características de la producción de bioetanol a nivel internacional
☐actos Forsthoffer, Eslovaquia

15:20-15:35 Amplificación y secuenciación de ADNRIB de levaduras alcoholeras aisladas en la destilería "A. Guiteras"
Norka Fundora, ICIDCA

15:35-15:50 Alcohol orgánico: Otra posibilidad para la industria de derivados
M. Sc. Yania Correa, UCLV

15:50-16:05 Estrategia para minimizar los costos de producción de alcohol, considerando los gastos en la transportación de miel y tipos de miel a utilizar
Marlen Ramil, ICIDCA

16:05-16:20 Posibilidades técnico-económicas de producir bioetanol de caña considerando el uso de residuos lignocelulósicos
Yacer Oliva, UCLV

16:20-16-35 Un enfoque sobre el comportamiento de la estabilidad y la lubricidad de las mezclas diesel/etanol como combustible motor
Yordanka Reyes, CEINPET

BEBIDAS

17:00-17:15 Comportamiento de ☐actosas de roble en extractos de aguardientes con madera de roble
Idania Blanco, ICIDCA

17:15-17:30 Estudio comparativo de polifenoles en rones añejados de formación clásica con ron utilizando

		añejamiento acelerado M. Dora González, ICIDCA
	17:30-17:45	Estudio de incertidumbre en técnicas analíticas utilizadas para evaluar el control de la calidad de los rones Mauricio Ribas, ICIDCA
	17:45-18:00	Dimensionamiento y parámetros de operación de una columna de intercambio iónico para la desmineralización del ron previo a su envase Luis Gómez, UCLV
Salón Internacional		***Taller "Aprovechamiento del Bagazo y los Residuos Agrícolas de la Cosecha Cañera"***
	09:00-09:20	Caracterización química, física y morfológica de variedades de caña energética. Evaluación de sus potencialidades para su utilización en la industria de pulpa y papel Omar Triana, UIP CUBA 9
	09:20-09:40	Comportamiento del mercado internacional de tableros de fibras y partículas Caridad Moreda, UIP CUBA 9
	09:40-10:00	Bases estratégicas para la reanimación de la industria nacional de paneles aglomerados Dr. Rafael Molina, UIP CUBA 9
	10:00-10:20	Situación actual de la industria de tableros de bagazo Narciso Peart, Tecnoazúcar
	10:20-10:40	Bagazo de caña en Cuba ¿Cuál será la fibra del futuro? Rafael Molina, UIP CUBA 9
	10:40-11:00	Uso del bagazo como alternativa energética y alimento animal Caridad Moreda, UIP CUBA 9
	11:00-11:15	**Receso**
	11:15-11:35	Fibra dietética. Potencialidad de la Industria Azucarera Alejandro Abril, UIP CUBA 9
	11:35-11:55	Usos del material lignocelulósico. Un desafío para la humanidad. Dopico, D. UIP CUBA-9
	11:55-12:15	Aprovechamiento de la biomasa. Situación mundial Héctor Fiandor CITMA
	14:00-15:00	Posters
	15:00-15:20	Producción de Compost Orlando A. Ríos MINAZ
	16:00-16:30	Conclusiones del Taller

Salón Solidaridad ***Industria Azucarera y Energía***

09:00-09:20	Dos secadores de bagazo, uno tipo flash con novedoso fluidizador y otro rotatorio Guillermo Arias, ICINAZ
09:20-09:40	Determinación del agotamiento de las mieles finales en la industria azucarera Josefa Hormaza, ICINAZ
09:40-10:00	Propuesta de tecnología para el almacenamiento de cal. Preparación continua y adecuada dosificación al jugo Serapio Morales, ICINAZ
10:00-10:20	Comparación de la eficiencia económica de los ingenios azucareros mexicanos en propiedad pública y privada Esteban Trujillo Murcia, México
10:20-10:40	Síntesis de procesos en la industria de azúcar de caña Raúl Sabadí, ICIDCA
10:40-11:40	*Conferencia: "Avances en la automatización en la industria azucarera"* Jesús Izquierdo, ICINAZ
11:40-12:55	*Mesa Redonda: Avances en la Sucroquímica* Marlén Alfonso, ICINAZ
	Producto adicional en azúcar refino Eduardo Duarte, ICINAZ
	Alternativas para la obtención de glucosa para la fabricación de sorbitol en CUBA Alberto Fariñas, ICINAZ
	Producción de gluconatos de calcio y sodio en planta piloto Mercedes Hernández, ICINAZ
	Composición de carbohidratos de los jugos de caña Eduardo Ramos, ICINAZ

Salón Solidaridad ***Industria Azucarera y Energía***

15:00-15:20	Optimización del uso del vapor en el proceso Emilio Díaz, ICINAZ
15:20-15:40	Análisis del balance energético en pequeñas destilerías con producción conjugada alcohol/aguardiente en la región sur de Brasil ☐cacia, C. Gilnei, Brasil
15:40-16:00	Cogeneración en la industria azucarera Juan José Sánchez, México
16:00-16:20	Ahorro de energía a través de la integración de

		calor entre varias plantas M. Sc. Meylin Gonzalez, UCLV
	16:20-16:40	Bloque tecnológico para el ahorro de agua y energía en los c4entrales azucareros Benigno Escobar, ICINAZ
	16:40-17:00	Configuraciones circuitales óptimas en la industria azucarera Juan José Sánchez, México
Salón Embajadores (2)		
	09:00-18:00	***I Taller Internacional sobre: Tecnologías, Procesos y Productos Innovadores para Producción mas Limpia***
		Levadura de vinaza. Una alternativa sostenible con el medio ambiente. Miguel A. Otero, PF ICIDCA
		La comparación y evaluación de datos experimentales y los diferentes modelos de predicción del NO_X en calderas de bagazo Electo Silva Lora, Brasil
		Casos de estudio: Nicaragua
	11:00-11:15	**Receso**
		Tratamiento combinado de las vinazas de destilerías y residuales azucareros en reactores UASB María Cristina Obaya, PF ICIDCA
		Procedimientos para la reducción de los costos de producción en la Empresa CITRUS Alina Castillo, PF IIFT
		Sistema de procedimientos en la consideración de la incertidumbre en el desarrollo de tecnologías limpias que emplean la biomasa de caña de azúcar como materia prima Yenlys Catá, UCLV, PF ICIDCA
		Tecnología para el aprovechamiento de subproductos en la industria cárnica Humberto Sarduy, PF IIIA
		Efectos de diferentes métodos de desinfección del jugo de caña en un Central Azucarero Georgina Michelena, PF ICIDCA
		Aprovechamiento de sueros de queso en la fabricación de productos lácteos: helados, yogurt Julio Perea, PF IIIA
		Tecnología de energía renovable para el tratamiento de los desechos orgánicos

		Tamara Brito Figueredo, Empresa Enrique Varona, PF ICIDCA Reconocimiento ambiental nacional como herramienta para la introducción de mejores tecnologías y productos en la Empresas Carmen Terry, PF AMA
		Incremento del rendimiento de la malta con el uso de enzimas termoestables Raúl Carrillo, PF IIIA
		Recuperación de productos en la Empresa industrial Jaguey Grande Matanzas Mariela García, PF IIFT
		Caso de Estudio Guatemala

Viernes 18

Salón Embajadores		***Mesa Redonda: La gestión de la calidad por una agroindustria eficaz y eficiente***
	09:00-09:20	Gestión de calidad o calidad de la gestión Agustín Irulegui, ONN
	09:20-09:40	Evaluación de la eficacia de la capacitación Caridad Agüero, UIP CUBA 9
	09:40-10:00	Control interno. Importancia en la acreditación de un laboratorio A. Perdomo, ICINAZ
	10:00-10:20	Algunas experiencias en la integración de sistemas de calidad y el perfeccionamiento Carmen Vasallo, ICIDCA
	10:20-10:40	Sistemas de gestión de calidad y perfeccionamiento empresarial en el MINAZ Gloria Villamil, UIP CUBA 9
	10:40-11:00	Debate
	11:00-11:15	**Receso**
		Derivados de la Celulosa y el Papel
	11:15-11:35	Obtención y caracterización de un derivado anfotérico de la celulosa V. León, UIP CUBA 9

	11:35-11:55	Secuencia del blanqueo OZP en pulpas de bagazo E. Barquinero, UIP CUBA9
	11:55-12:15	Usos del material lignocelulósico. Un desafío para la humanidad D. Dopico, UIP CUBA9
	12:15-12:35	Deslignificación sinérgica y blanqueo ODP de bagazo de caña y cartón kraft reciclado Noé Aguilar Rivera, México
	12:35-12:55	Viabilidad económica de una planta de producción de excipientes base celulosa para la industria farmacéutica Dayné Pérez, UIP CUBA 9
	12:55-13:15	Celulosa microcristalina Usos L. García, UIP CUBA 9
Salón Embajadores (2)		
	09:00-13:00	***I Taller Internacional sobre: Tecnologías, Procesos y Productos Innovadores para Producción mas Limpia***
		Nuevas tecnologías en el Sector alcoholero en Cuba Fidel Domenech, Francis Leyva, PF ICIDCA
		Impacto de la implementación de P+L en la sostenibilidad ambiental de la Empresa industrial Ceballos en Ciego de Ávila Rodolfo Morales, PF IIFT
		Reducción del impacto ambiental durante la producción de proteína recombinada Lic. Josefina Astorga, PF CIGB
		Tecnología para el aprovechamiento de subproductos en la Industria molinera Minardo Ochoa, PF IIIA
	11:00-11:15	**Receso**
		Tecnología de fabricación de cervezas con alto valor energético Raúl Carrillo, PF IIIA
		Producciones Limpias en la Empresa Héctor Molina Roxana Valencia, PF ICIDCA
		Decoloración de vinazas de destilería con hongos basidiomicetos o sus enzimas Tania González, PF ICIDCA
		Tecnología para el aprovechamiento de subproductos en la Industria de procesamiento de vegetales Marilys Fernández, PF IIIA
	13:00-14:00	Ceremonia de Clausura
Salón Solidaridad		***Taller "Productos para la Agricultura"***
	09:00-09:20	Producción de biopesticidas aislados de compostas de la agroindustria de la caña de

09:20	azúcar Maria R. Campos, México
09:20-09:40	IFOPOL[S] un producto formulado para elevar y proteger la calidad de la caña Susana Ravelo, ICINAZ
09:40-10:00	Nuevas tendencias en el desarrollo de bioherbicidas para combatir malezas que atacan cultivos de interés M. E. Díaz de Villegas, ICIDCA
10:00-10:20	Efecto del bioestimulante FITOMAS en el cultivo del tomate Ramón Montano, ICIDCA
10:20-10:40	Perspectivas del VERTICID y el NEMATICID para el control biológico de plagas Rosa María Alvarez, ICIDCA
10:40-11:00	Efecto del ETHREL-480 en la maduración en caña de azúcar: relación con los metabolismos del carbono y el nitrógeno Yanelis Capdesuñer, Universidad de Ciego de Avila
11:00-11:30	Debate y Conclusiones Alberto García, ICIDCA

Abrantes, Israel – 211, 219, 230
Abril, Alejandro – 133, 147
Acea, Carlos M. – 84, 200
Acevedo, R. - 224
Acosta, Ernesto – 2, 11
Acosta, J. - 137
Aday, Osmany – 207, 214, 215, 216, 217, 218, 236
Agüero, Caridad – 134, 149
Agüero, Guillermin - 124
Aguiar, Emilio - 213
Aguila, B. – 187
Aguilar, Antonio - 158
Aguilar, Laura – 8, 14, 21, 45,
Aguilar, Noé - 178
Aguilera, Lien – 135, 153, 156
Aguilera, Luis. 214
Aguirre, Pio – 105, 122
Almazán, Oscar - 25
Almeida e Silva de, João Batista – 11, 73, 170
Altuna, Beatriz - 52
Alvarez Delgado, Amaury – 36, 66, 183
Alvarez Espinosa, Amaury - 15
Álvarez, A. - 229
Álvarez, Emilio - 129
Alvarez, José - 182
Alvarez, Osvaldo - 143
Álvarez, Roberto - 214
Alvarez, Rosa.María – 16, 33
Alonso, Walfrido - 159
Alvarez, Yosbel – 202
Alves, L.A. – 170
Anaya, Adan Ernesto - 119
Angarica, E - 238
Angulo, Elier - 79
Antigua, Maday - 71
Arias, Guillermo - 80
Armada, Alejandro - 136
Armas de R. – 91, 224
Armas de, Carlos – 44, 55, 60
Armas de, Merly - 15
Armenteros, Silvia – 50, 52, 71
Assis, Pery Francisco - 163
Azaret, Alberto – 102, 106
Balcinde, Y. – 187
Ballester, A. - 137
Banderas, René - 202
Barquinero, Eduardo - 136, 150, 155
Barreto, Bárbara - 228
Barroso, Francisco – 214, 215, 216, 217, 218, 236
Barroso, G. - 209
Barroso, Javier – 214, 236
Barrueta, T. - 151
Bashan, Yoav - 57
Batule, Eduardo - 119
Becerra, Everado – 228
Bell; Antonio – 34, 50
Beltrán, José Salvador – 177, 181
Benítez, Ledya - 229
Bermello, Addiss – 12, 22, 33, 47
Bianchini, Vivian K. - 252, 255, 256
Blanco A. – 187
Blanco, Ángeles - 141
Blanco, Gladys – 4, 7
Blanco, Idania – 17, 42
Blanco, María A. – 190, 191
Bocourt, Michel – 18, 75
Bordallo, E. – 138, 140
Borges, D. - 146
Borges, Yadira - 98
Borroto, Janetsy – 190, 191
Bothello, Ana Luisa - 2
Bourdon, J. - 27
Bravo, José A. - 198
Bristoti, Anildo – 169
Brizuela, Maria Antonieta – 71, 198, 239
Brown, Adolfo – 19, 20, 32
Bueno, Gloria – 8, 14, 21, 45
Bueno, Lourdes - 49
Cabello, Agustín - 3
Cabrera, L. - 219 , 230
Cabreras, Lorenzo – 211, 219
Calaña, Juan M. – 199
Calderón, Eduardo – 177, 181
Calzadilla, Enrique - 195
Cámara, Amalia - 154
Campo Zabala, R. R - 231
Campo, Felipe - 22
Campos, María R. - 233
Campos, Yamill – 128, 129
Camps, Dulce M. – 198
Canettieri, Elina V. - 250
Cañete, Rafael – 23, 36
Capdesuñer, Yanelis – 190, 191
Capote, Elaine - 143
Capote, Odalys - 54
Carabeo, Viviana - 19
Carbonero, Meiling - 50
Cárdenas, Gerónimo - 50
Caro, Rinaldo - 160
Carrera, Emilia - 50
Carret, Yusleydis - 39
Carvajal, Ofelia - 58
Carvajal, Omelio - 211
Carvajal, Yanelis - 35
Casalot, Laurence - 37
Castañedo, Nilo – 109, 115, 116
Castellanos, Eulises R. – 199

Castillo del, Tamara - 196
Castillo, Grolamys – 6, 20, 52
Castillo, Jacquelin - 40
Castro, Sergio – 221, 226
Cata, Yenlys – 105, 112, 122, 130
Cavado, Alberto – 185
Cepero, Israel - 84
Cerutti, Graciela - 50
Cesca, Mario R. – 162, 165, 166, 167, 168
Céspedes, María I. – 145, 154
Cespón, Roberto - 125
Chanfón, Juana M. - 81
Chateloin, Vivian - 24
Chávez, Liudmila – 78, 87, 190, 191
Chinea Horta, A. – 208, 209, 213, 219
Chinea Martín, A - 230
Christen, Pierre - 31
Colombo, Mauricio – 165, 166, 167
Consuegra, Ramón - 157
Cordero, D. - 140
Córdoba, R. – 227
Coronel, Mónica - 50
Correa, R. - 138
Correa, Yania - 113
Corsano, Gabriela – 105, 122
Cortegaza, Leydis – 211, 211, 219, 234
Cortegaza, Pedro Luis - 208, 209, 212
Correa, C.A. - 253
Costales, Raúl – 25, 58
Crespo, Deborah - 43
Cruz, Lucia – 92, 160, 257
Cruz, Ramón – 102, 106
Cuadras, F. – 209
Cuellar de la Cruz, Mirta E. - 114
Cuesta, Jaime – 89
De Assis, Pedro E. P. - 254
Delbert, María .E - 14
Delgado, Grisel – 8, 14, 21, 45, 71
Delgado, Marta - 81
Díaz de Arce, Calixto - 20
Díaz de los Ríos, Manuel – 26, 44, 54
Díaz de Villegas, María.E. - 27
Díaz, Angela O. – 22, 28
Díaz, Armando – 22, 28, 46
Díaz, C. - 138
Díaz, Emilio P. - 82, 100
Díaz, Félix R. – 214, 215, 217, 218, 236
Díaz, J. - 150
Díaz, Loyda - 131
Díaz, Mercedes – 53, 20
Díaz, Sara - 74
Díaz, Yanelis - 144
Diez, Francisco – 29, 30, 35
Dihigo, Odalmis - 212
Domenech, Fidel – 31, 44, 77
Domínguez, Elena Rosa - 103
Domínguez, Heriberto - 226
Dopico, D. – 139, 140, 145
Dopico, Migdalia – 29, 32, 35, 39, 40
Dorta, Mario – 18, 40, 75
Dragone, Giuliano – 173
Duarte, Eduardo - 83
Dueñas, Maritza – 214, 215, 216, 236
Dunand, Rafael - 84
Elías, A. – 135, 153
Eng, Felipe – 47, 76, 77
Enríquez Poy, Manuel - 184
Ercoreca, Jose L. - 183
Escamilla, Agustín - 044
Escobar, Benigno D. - 100
Estévez, Yandi H. – 207, 214, 215, 216, 236, 237
Fabelo, José A. - 123
Fajardo, Raúl - 119
Falero, A. – 187
Farias, Eulalio – 226
Fariñas, Alberto – 85, 90
Felipe, Maria das Gracas – 164, 170
Fernández, A. - 209
Fernández, C. - 229
Fernández, Edenia - 98
Fernández, Feliberto - 129
Fernández, Fernando – 95, 99
Fernández, Juan - 152, 155, 159
Fernández, M. - 138
Fernández, Mailen – 78, 87
Fernández, Nicolás - 214
Fernández, Osvaldo - 103
Fernández, Raquel - 86
Figueiredo, Luis Fernando - 2
Figueroa, Claudia - 119
Flores, Danay - 209
Flores, Pedro - 89
Fonseca, Ernesto – 226
Fonseca, M. – 187
Forsthoffer, Julius – 174, 175, 176
Fouad sarrouh, Boutros - 124
Frade, Juliana Aparecida - 11
Franco, Rafael - 54
Frias, Alina - 34
Frías, Jamilet - 154
Fuente de la, Helena - 141
Fumero, Melanio – 229
Fundora, Norka – 24, 37, 67
Gaitán, Teófilo Exíquio – 115, 116, 127
Galárraga, Deborah - 72
Gallardo, Ailyn – 214, 236
Gallardo, Irenia – 108, 113
Gallardo, Mariela - 62
Gallardo, Ricardo – 37, 49

Galletti, Guido C.- 69
Gálvez , Guillermo - 192
Gálvez, Luis O. - 62
Gálvez, Y.G - 91
Gamarra, Juan Mario - 171
Garay, Iratxe – 183
García, A. - 229
García, Agustín – 104, 127
García, Alberto – 36, 66, 183
García, Eugenio – 229
García, Héctor – 210, 214, 217, 218, 237
García, Jorge Luis – 29, 35, 40, 41, 43
García, Juan Marcos – 177, 181
García, L. – 140, 151, 156
García, Mario - 214
García, Rigoberto M. - 214
García, Roxana – 37, 49, 59, 67
García, Tania - 38
Garcías, Salvador - 222
Garrido, Norge – 1, 5, 22, 44, 70
Gastón, Cristina – 33, 39
Giménez, Rafael - 17
Girón, Luis - 119
Giulietti, M. – 170
Goire, Isabel - 57
Golle, Jose Luis – 190, 191
Gómez, A. - 227
Gómez, Andrés – 29, 30, 35, 40, 41,43, 58
Gómez, Eulalia – 16, 33
Gomez, Israel A. -233
Gómez, José R. - 214
Gómez, Leissy - 193
Gómez, Luis – 104, 117, 118, 119, 120
González, A. – 134, 223
González, Aldo E. - 69
González, Elsa – 141, 143, 144
González, Erenio – 105, 112, 122, 124, 126, 130
González, Gilberto - 88
González, José Antonio – 177, 181
González, Julian - 47
González, M. – 170
González, M.A. - 27
González, María .Dora. – 17, 63, 66, 68
González, Meilyn – 105, 112, 122
González, Omar - 121
González, Rolando – 209, 214
González, Tania -69
González, Zoilo Guillermo - 80
González-Coloma, Azucena - 234
Gozá, Osvaldo – 201, 202
Gracia, Ignacio – 66
Gregory, Bárbara S. – 42, 56
Griffith, José - 89
Grillo, Horacio - 236
Guardarrama Raimundo – 42, 63
Guerra, Mercedes - 43
Guillen, Sergio - 214
Gundín, Pablo – 221, 222
Gutiérrez, Ariané – 72
Gutiérrez, Carmen - 234
Gutiérrez, Pablo. L – 92, 160, 257
Gutiérrez, S. – 96, 97
Guyot, Jean-Pierre - 239
Guzmán, Moraima – 226
Guzmán, Moraima – 226
Hage Jr., E. - 253
Heluane, Humberto - 166
Hernández, Adolfo – 13, 39
Hernández, Aracelia – 137, 142, 143, 144
Hernández, Blanca N. – 115, 116, 127
Hernández, F. - 209
Hernández, I. - 223
Hernández, Irene - 36
Hernández, L. - 229
Hernández, Lázaro – 188, 197
Hernández, María Rosa – 162, 165, 167, 168
Hernández, Mercedes - 90
Hernández, Michel - 90
Hernández, R. – 138
Hernández, Ricardo - 207
Hernández, Y. – 28, 139, 145
Hernández, Yunior - 193
Hernández,. Ana R. - 214
Herrera, Idalberto – 107
Herrera, Nancy – 42, 56
Herrera, Nelsy - 104
Herryman, Maribel – 4, 7
Hidalgo, Pedro Pablo – 106
Hormaza, Josefa – 78, 87, 190
Horta Nogueira, Luiz Augusto - 171
Hung, B.R. – 186, 187.
Hurtado, Rafael – 44, 55, 60
Ibáñez, Milay – 21, 45
Iglesias, Irma - 239
Ingaramo, Alejandra - 166
Irulegui, Agustín – 134, 142, 144
Iturria, Pedro Jesús - 123
Jáuregui, Sergio - 107
Jiménez, Dunieskys – 202
Jiménez, Janet - 188
Jorge, Héctor – 210, 214, 237
Jorge, Ibis – 210, 237
Jover, Josefina – 103, 124
Knudsen, José - 125
Krištofíková, Ľudmila – 175, 176
Lagunas, Abilio - 36
Lamí, Laura – 7, 32, 53
Leal, C. - 28

Leal, J.- 146
Leal, Juan Alberto – 18, 75
Legaz, M.E. - 224
Legrá, Silvano – 50, 52, 71
León, Ana – 78, 87, 190
León, M. – 194
León, Marta – 8, 21, 45, 49
León, Olga L. - 74
Leon, Tamara - 137, 154
León, V. – 138, 147
Leyva, Rafael Salvador - 195
Ligthbourne, E. – 187
Linares, Alberto - 214
Llópiz, Julio César – 110, 111
Lopetry; Mary - 126
López, M. – 187
López, María del Carmen - 17
López, Mislaidys - 234
López, Nancy - 108
López, Pastor - 46
López, Pedro - 157
López, Rolando – 51, 64
López-Munguía, Agustín - 50
Lorenzo, Magdalena – 6, 12, 47
Lorenzo, Yaniris - 65
Lores, María N. - 72
Lucas de, Antonio - 66
Machado, Luis F. – 214, 236
Madan, Leainys - 209
Mancilla de, Ismael Maciel - 73
Manganelli, E. – 170
Manresa, María - 214
Marchetti, Jacinto L. - 162
Marín, Alfredo - 104
Marrero, Fernando - 125
Marrero, G. – 223
Martí, E. – 187
Martínez del Sol, Alexis – 177, 181
Martínez, Aidín – 37, 49, 50
Martínez, Aleida - 70
Martínez, Ana Julia – 42, 56, 62
Martínez, Duniesky – 188
Martínez, Miguel Ángel – 179
Martínez, Mildrey - 117
Martínez, Nilda Rosa - 123
Martínez, Osvaldo - 13
Martínez, Ricardo - 84
Martínez; Jorge - 34
Martínez-Valdivieso, Julio – 9, 10, 25, 48, 65
Más, Rafael – 228
Maseda, Ernesto - 161
Matos, Madyú - 234
Matos, Madyu – 212, 213
Matos, Madyu – 212, 213
Medina, M. – 151, 156
Melillo, Miriam - 214
Melillo, Miriam - 214
Melillo, Miriam - 236
Mendiola, G. - 134
Menéndez Cuesta, I. – 138, 147
Menéndez, V. Gladys – 92, 160, 257
Meneses, Gisela – 24, 40
Mergarejo, Lázaro - 50
Mesa, José M. – 210, 237
Michelena, Georgina – 6, 12, 47, 50, 52
Mieres, Gretel - 12
Molina, Rafael S. – 132, 148
Mollineda, Angel - 117
Mollinedo, Mirtha - 103
Monduí, Rubén – 85, 79, 93, 157
Montalbán, Joaquín – 206, 213
Montalván. J. - 235
Montano, Ramón – 51, 64
Monte, Concepción - 141
Montero, Beatriz - 238
Mora, Norma Elena – 185
Morales, F. - 209
Morales, Ivis - 23
Morales, Mireya - 88
Morales, Misley – 74, 76, 77
Morales, Serapio – 88, 94
Moreda, Caridad. – 149, 152
Morejón, Eduardo - 5
Morejón, Omaida - 94
Moreno, Reynaldo - 109
Mussatto, Solange Inês – 173
Mustelier, Mercedes - 42
Nápoles, A.I. – 170
Nápoles, Ana Irene – 2, 11, 73
Obaya, Ma. Cristina – 65, 74, 76, 77
Ocácia, C. Gilnei – 169
Ochoa, Estael - 15
Olazabal, Ervelio - 109
Oliva, Yaser - 126
Oliveros, Mayté – 12, 50, 52
Olvera, Clarita - 50
Om, Neyda – 185
Oquendo, Hilda - 130
Ortega, Eduardo – 191
Ortega, Grisel – 6, 12, 47, 52
Ortiz, P. - 147
Osorio, Nilva – 221, 226
Otero, Miguel A. – 10, 37, 48
Paneque, Víctor M. – 199
Pastor, Rosario - 55
Pavón, Juan Arturo - 70
Paz, Miriam - 119
Peart, Narciso - 148
Pedraza, Julio –126, 130

Peña, Enma - 154
Peña, Miguel A. - 48
Peña, Reynier – 226
Peralta, Esther L. - 213
Peralta, Gisela – 115, 116, 127
Peralta, Hipólito – 190, 191
Peralta, Ninel – 190, 191
Perdomo, Armando J. – 95, 99, 161
Pérez Milian, JR. - 213
Pérez, Alberto - 84
Pérez, Arleni - 229
Pérez, C. – 146, 187
Pérez, D. – 146, 151, 156
Pérez, E. - 238
Pérez, Enrique R. - 188
Pérez, Eusebio – 102
Pérez, Francisco – 95, 98
Pérez, Gelasio – 212,213, 219, 230, 231
Pérez, H. - 194
Pérez, Heidy - 239
Pérez, J. R. - 206
Pérez, J.A. - 152, 159
Pérez, José L. - 214
Pérez, Juan Carlos - 70
Pérez, Juana R. - 81
Pérez, M. – 146, 150, 151, 156
Pérez, Orbelinda - 74
Pérez, Osmany. – 152, 159
Pérez, Osney - 201
Pérez, Silvio Freddy - 103
Pino, S. – 96, 223
Piñón, Dolores - 224
Planas, Justo - 94
Ponce, Arlenys - 53
Pons, Mabel – 23
Pontes, María R. - 252, 255, 256
Portuondo, Roberto - 50
Prada de, F. - 235
Prats, Anaís – 239
Prieto, Julio Omar – 110, 111
Prieto, S. - 156
Puig, Julio - 40
Pupo, Edelmar- 220, 221, 222, 226
Quincoces, Magalis – 110, 111
Quiñones, Janet – 190, 191
Quntin, Pablo – 226
Ramil, Marlen - 54
Ramírez, Hector L. - 193
Ramírez, Luis A. - 25
Ramírez, Martha – 78, 87
Ramírez, Oney - 15
Ramírez, Ricardo - 188
Ramos, E. L. – 96, 97
Ravelo, S. – 96, 97
Razzino, Carlos A. - 253
Reádigos, Ricardo - 61
Rebroš, Martin – 175, 176
Redondo, Delfa – 6, 14, 52, 68
Renté, Arletis – 18, 75
Revah, Sergio - 31
Reyes, Enivis – 221, 226
Reyes, Irene - 22
Reyes, Susana - 214
Reyes, Susana. – 236
Reyes, Yordanka – 185
Reyna, Matías - 234
Reyna, Milaydis – 32, 39
Ribas, Mauricio – 17, 20, 42, 44, 55, 56, 60
Rieumont, J. – 138, 147
Rio del, Heriberto - 214
Rivas, Maribel – 190, 191
Rodes, Rosa - 191
Rodríguez José.A. – 8, 21, 45
Rodríguez, Arelys – 29, 35, 40, 41, 43
Rodríguez, Daniel Ernesto – 8, 21, 45
Rodríguez, E. - 28
Rodríguez, Engracia - 43
Rodríguez, H. - 209
Rodríguez, Heidi – 203, 204
Rodríguez, Hilda - 57
Rodríguez, Iroel - 214
Rodríguez, Iván – 113
Rodríguez, Julián – 95, 98, 99, 161
Rodríguez, Lisbet – 207, 214, 236
Rodríguez, Lorenzo – 220, 221, 226
Rodríguez, Luis – 199
Rodríguez, Magali L - 91
Rodríguez, María Elena – 18, 29, 35, 40, 41, 58, 75
Rodríguez, Miguel - 121
Rodríguez, Rafael - 71
Rodríguez, Reina - 94
Rodríguez, Rita C.L.B. – 164
Rodríguez, Roberto - 161
Rodríguez, Roberto Vicente - 118
Rodríguez, Y. – 135, 153
Rodríguez, Zenaida – 115, 116, 127
Román, J. C. - 134
Roque, Pablo - 101
Rosa, José - 214
Rosa, José - 236
Rosales, Francisco - 119
Rosenberg, Michal – 175, 176
Rosete, Armando - 59
Saba, Rolando - 168
Sabadí, Raúl – 44, 55, 60
Sáenz, T. 142
Saez, Silvia - 167
Salabarría, Calixto - 157
Salermo, Martha - 83

San Juan, Ana Nelis – 16, 22, 28, 33
Sánchez, A. - 150
Sánchez, Doris - 21
Sánchez, Juan José – 177, 181
Sánchez, M. - 139
Sánchez, R. – 209
Santana, O. - 212
Santana, Omar - 234
Santana, Rolando - 78
Santiesteban, Carlos M.- 9
Santo Tomas, Julio F. – 22, 34, 52, 61
Santos dos, Júlio César – 173
Santos, Milagros - 121
Sao, Elia – 220, 221, 226
Sarmiento, Mailé - 32
Saura, Gustavo – 10, 37, 48
Segrera, Saddys - 229
Serantes, Manuel – 18, 75
Serrano, Héctor Z. - 109
Serrano, Paulina – 71, 198, 239
Sigarroa, Antonio – 192
Silva da ,Silvio Silverio - 173
Silva Lora, Electo Eduardo – 171, 172
Silva, Débora DanielleV. – 164
Silva, G. Alexandre – 169
Silveira, José Luz - 165
Silvett, Gustavo - 168
Sláviková, Lucia – 176
Snyder, George H. - 182
Sobrino, Alina - 188
Socarrás, Johanna - 196
Sosa, A. - 28
Sosa, Mercedes - 13
Sosa, Pablo – 29, 35, 40, 41, 58
Soto, Olivia - 192
Spezzia, Teresita - 233
Stloukal, Radek 175
Suares, R. - 137
Suárez, Margarita - 15
Tambara, Yanet – 78, 87, 190, 191
Taquechel, Y. – 134, 146
Teixeira, Flavio Neves - 172
Tejeda, Grisel - 71
Tejeda, Victor M. – 220, 221, 222, 226
Terrón, María C. - 69
Tijero, Antonio - 141
Tirado, S. – 187
Toledano, E. - 223
Torres, Bárbara – 95, 99
Torres, Esmérida – 34, 67
Torres, I. – 206, 235
Torres, Julio - 189
Tortoló, Keyla – 21, 45
Trejo, Sergio R. - 233
Triana, Omar - 154
Trujillo, Esteban - 179
Trujillo, Luis E. - 188
Trujillo, Rafael, 180
Turrado, Jose - 112
Unzaga, Teresa - 167
Ustulin, Edisson J. - 251
Valdés, A. - 209
Valdés, Esperanza – 55, 65, 74, 76, 77
Valdés, Irma – 12, 37, 48, 59, 67
Valdés, Juana - 86
Valdés, Mavel - 152, 154
Valdivia, Odalys - 74
Valencia, Roxana – 74, 76, 77
Valladares, F. – 206, 235
Valladares, Jaime - 119
Valle del, Maybis – 20, 32
Vallina J. – 206, 235
Vandrell, O. - 209
Vasallo, María del Carmen - 62
Vázquez, Clotilde – 88
Vázquez, Miguel A. – 17, 63, 68
Vega, Natalia – 18,
Velarde, E. – 227
Vélez, Jorge – 107
Vera, Antonio - 154
Vera, Maite R. - 108
Vergara, L. – 194
Vicente, C. - 224
Vidal, Luciano - 228
Vidal, S. – 230
Vidal, Sandra – 212, 219
Villa, P. – 194
Villa, Pilar – 9, 19, 34
Villalonga, Maria L - 193
Villalonga, R. - 138
Villalonga. Reynaldo - 193
Villamil, Gloria - 142
Villar, José – 51, 64
Villareal, Martha L. – 164
Villegas, Pedro Julio – 110, 111
Viltres, Carmen – 32, 53, 72
Viña, Yudith - 229
Viñals, M. - 170
Viñals, Mabel – 23, 73
Yagüe, Susana - 69
Zamora, Jeanett - 31
Zapico, Ernesto - 69
Zayas, M.A. - 16
Zerquera, Mariano David – 177, 181
Zuaznábar, R. – 227

CONFERENCIAS MAGISTRALES

CONFEDERACIÓN DE AGRICULTURA Y PECUARIA DE BRASIL – CNA
COMISIÓN NACIONAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE LA CNA

PERFIL Y PERSPECTIVA DEL SECTOR DE LA CAÑA DE AZÚCAR BRASILEÑO

EDISON JOSÉ USTULIN

BRASILIA: 26/03/2004

CONFEDERACIÓN DE LA AGRICULTURA Y PECUARIA DE BRASIL – CNA
COMISIÓN NACIONAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE LA CNA
PRES. EDISON JOSÉ USTULIN

PERFIL Y PERSPECTIVA PARA EL SECTOR DE LA CAÑA DE AZÚCAR BRASILEÑO

I. PERFIL DEL SECTOR DE LA CAÑA DE AZÚCAR BRASILEÑO

La producción de caña de azúcar brasileña ocupa un área de más de 5,5 millones de hectáreas y es realizada por productores (abastecedores) y por las industrias. Los abastecedores de caña totalizan aproximadamente 55 mil, y son responsables por aproximadamente 27% de la producción de caña. Los demás 73% son de las unidades industriales, o sea, que producen su propia caña. De esta forma, del total de la producción de caña en la cosecha 2003/2004, que fue de alrededor de 356 millones de toneladas, 95 millones fueron realizadas por abastecedores de caña.

Cabe resaltar que en Brasil la gran mayoría de los abastecedores de caña son clasificados como pequeños productores, hecho de gran importancia para generar empleos y renta en el campo. En la Región Centro-Sur existen cerca de 30 mil abastecedores de caña, siendo que 92% de ellos producen hasta 10 mil toneladas, con un área media de 52 hectáreas. En la Región Norte-Noreste existen 25 mil productores de caña, donde 98,6% de los cuales producen menos de 10 mil toneladas en un área media de 30 hectáreas.

Con relación a las unidades industriales, la mayor parte de ellas está concentrada en la Región Centro-Sur, principalmente en el Estado de São Paulo. En Brasil existen 324 unidades, encontrándose 234 en la Región Centro-Sur. La Región Norte-Noreste posee 90 unidades industriales. En lo que se refiere a la capacidad de molienda de las unidades industriales, existe fuerte

concentración, pues del total de las 324 unidades 12% son responsables por 60% de la caña triturada del país. Otro hecho que vale la pena resaltar es la participación de las pequeñas unidades industriales en el total de caña molida. En Brasil 50% de las industrias están clasificadas como pequeñas, o sea, industrializan cerca de 270 mil toneladas al año. A pesar de que este grupo de unidades es la mayoría, participa con apenas 17% de la caña molida.

El sector de la caña de azúcar es el que más empleos ofrece en el área agrícola. En Brasil el plantío genera 600 mil empleos directos. Considerando todo el sector (plantío e industria) son más de 1 millón de empleos directos. Otro hecho de gran importancia es la asistencia médica, hospitalar, odontológica y farmacéutica que la contribución social de los productores de caña viene ofreciendo a la sociedad. Como ejemplo: en una cosecha en el Estado de São Paulo (que representa 60% de la producción nacional) los productores destinan cerca de US$ 5 millones a la asistencia de sus trabajadores, atendiendo 223 municipios y aproximadamente 730 mil beneficiarios, lo que significa más de 1 millón de atenciones en el área médico/hospitalar; odontológica y asistencia social. En el Estado, los productores mantienen 5 hospitales, 31 ambulatorios, 42 laboratorios de análisis y 300 convenios con otras instituciones.

La industria también cumple su parte con la responsabilidad social, manteniendo más de 600 escuelas, más de 200 guarderías y más de 300 ambulatorios médicos en todo Brasil.

Brasil posee el Servicio Nacional de Aprendizaje Rural (SENAR). Es una Institución de derecho privado, paraestatal, mantenida por la clase patronal rural, vinculada a la Confederación de la Agricultura y Pecuaria de Brasil – CNA. El SENAR apoya sus acciones en a) principios y directrices establecidas por la Organización Internacional del Trabajo – OIT; b) en las políticas del Centro Interamericano de Investigación y Documentación sobre Formación Profesional-CINTERFOR, formuladas durante reuniones de comisiones técnicas; c) en las políticas de los Ministerios del Trabajo y de la Agricultura; y d) en las directrices emanadas de la CNA y sus Federaciones vinculadas.

El objetivo del SENAR es organizar, administrar y ejecutar, en todo el territorio nacional, la Formación Profesional Rural (FPR) y la Promoción Social (PS) de jóvenes y adultos, hombres y mujeres que ejerzan actividades en el medio rural.

Las acciones del SENAR son organizadas y desarrolladas de forma sistematizada, siguiendo un proceso de planificación, ejecución, acompañamiento, evaluación y control. Son acciones educativas, que tienen como objetivo el desarrollo del Hombre Rural, tanto como ciudadano como trabajador, en una perspectiva de crecimiento y bien-estar social. Para eso, el SENAR cuenta con equipo técnico, multidisciplinar, responsable por la conducción de los trabajos y con equipo de instructores, previamente preparados en una metodología de enseñanza ideal para transmitir sus conocimientos técnicos al trabajador y al productor rural.

En la práctica, regiones productoras de caña son amparadas por los SENAR del estado con los siguientes cursos: aplicación de herbicidas; fiscal apuntador; operadores y choferes utilizados en la carga y transporte de caña; utilización de la fertilización de la caña por irrigación, corte, plantío y quema de la caña.

II. PERSPECTIVAS Y FUTURO DEL SECTOR SUCROALCOHOLERO BRASILEÑO

1) AZÚCAR:

Las expectativas para el aumento de las exportaciones brasileñas se puntualizan, principalmente, en el aumento de la demanda de azúcar de los países del continente asiático y en las negociaciones internacionales.

La producción mundial de azúcar en la zafra 2003/2004, según la CEPEA/ESALQ, será de aproximadamente 146,77 millones de toneladas (azúcar rubia o demerara), el consumo mundial será de 143,17 millones de toneladas y las exportaciones globales serán de 45,1 millones de

toneladas. Brasil participa con 17% de la producción mundial, 7% del consumo y con 28% de las exportaciones globales. En 2003 Brasil exportó cerca de 13 millones de toneladas de azúcar. El principal comprador fue Rusia con 4,4 millones de toneladas y en segundo lugar fueron los Emiratos Árabes con 773 mil toneladas. Para Brasil la posibilidad de aumento de ventas para los mercados tradicionales es irrelevante, pues estos países, que son tradicionalmente compradores del azúcar brasileño, se encuentran en el límite de sus compras para el abastecimiento del producto en el mercado interno. La gran expectativa son los mercados de los países pertenecientes al continente asiático. Estos países poseen crecimiento medio del PIB alrededor de 8,5% al año.

Con todo, el hecho que puede catapultar las exportaciones nacionales es la ruptura de las barreras internacionales al producto. El azúcar brasileño es objeto de restricciones en casi todos los países del mundo. Las medidas restrictivas a la importación del azúcar brasileño son de carácter tarifario o de valoración aduanera y pueden mostrarse de diferentes formas. Por ejemplo, en los Estados Unidos las medidas restrictivas para entrada de los productos agrícolas están sujetas a picos tarifarios del orden de 200% a 300% *ad valorem.* En el caso del azúcar, este valor puede llegar a 236%, porque se cobra una tarifa de US$ 0,3487 por kilogramo de azúcar brasileño, para las importaciones extra cuotas de aquel país. Para los países que forman la Unión Europea las barreras tarifarias hacen prohibitiva la entrada del azúcar brasileño, porque se cobra una tasa de 36,7 euros a 41,9 euros por 100 kilogramos, dependiendo del tipo de azúcar. Existe también una cuota anual de 300 mil toneladas de azúcar. Cabe recordar que el azúcar es uno de los productos más protegidos del mundo. Los países que forman parte de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) destinaron en 1999, la suma de US$ 6,5 billones en subsidios solamente para su producción.

Lo que sucede es que el azúcar brasileño es de gran competitividad en el mercado internacional. Las unidades industriales tienen un costo de producción de US$ 180 por tonelada. Otros países que concurren con Brasil como Australia y Tailandia tienen un costo de US$ 335 por tonelada, teniendo como materia-prima la caña de azúcar. El costo de los países europeos supera los US$ 710 por tonelada, teniendo la remolacha como materia-prima.

Los países que tienen restricciones a las importaciones del azúcar brasileño alegan que Brasil subsidia la actividad internamente y distorsiona los precios para la exportación. Cabe recordar

que en la producción brasileña no existe subvención gubernamental y tampoco existe renuncia fiscal a favor del sector. La producción y la comercialización brasileña de caña, azúcar y alcohol no se sujetan a controles cuantitativos, y también los precios recibidos por los productores son definidos por los mercados. Mismo los precios del alcohol hidratado en los puestos de revenda dispensan sustentación frente a los de su competidor: la gasolina para automóviles. También las importaciones y exportaciones de azúcar y de alcohol son libres y realizadas a riesgo de los empresarios.

2) ALCOHOL

El apelo ambiental y las nuevas perspectivas para la utilización del alcohol combustible resultará en la viabilidad de la producción de la caña de azúcar con la sustentación de sus precios a lo largo de los años. La intención de disminuir la contaminación ambiental con la firma del Protocolo de Kyoto reactivó los proyectos de substitución de combustibles fósiles por combustibles renovables, que son menos contaminantes. Este hecho evidenció la importancia brasilera en las tecnologías de utilización del alcohol en mezcla con gasolina, en motores movidos a alcohol carburante (bi-combustible). El beneficio del alcohol combustible es irrefutable: la substitución de la gasolina por etanol-anidro proporciona una reducción de emisiones del orden de 2,7 toneladas de CO_2 a cada 1.000 litros de etanol. Los beneficios del alcohol no son apenas de carácter directo, basta verificar un saldo final positivo en la producción de alcohol desde el plantío hasta el producto final . En Brasil, el cultivo de la caña de azúcar llega a absorber el equivalente a casi un quinto de la emisión total de carbono resultante de la quema de combustibles fósiles, o sea, una reducción de 39 millones de toneladas de CO_2 al año.

Brasil utiliza alcohol hidratado como combustible de motores de combustión interna hace más de 26 años. En 1975 fue lanzado el programa *Proálcool* con la finalidad de retirar a Brasil de la dependencia de la importación de combustibles fósiles. El uso de alcohol como aditivo oxigenante fue establecido por la Ley 8.723/93, que estipuló la adicción de 22% de alcohol anidro a la gasolina como oxigenante. Hoy, este porcentaje de aditivo agregado a la gasolina fue aumentado para 25%.

La producción brasileña de alcohol es de cerca de 14,4 millones de m^3, y está en equilibrio con el consumo interno. La producción nacional representa más de 50% del alcohol anidro que se produce en el mundo; y, con una capacidad instalada de producción de 16 millones de m^3, existe potencial suficiente para abastecer el mercado externo. Visualizando las exportaciones, los puertos nacionales tienen actualmente capacidad para embarcar aproximadamente 1 millón de m^3 de alcohol al año. Así mismo, se están realizando inversiones que en un plazo de 2 años triplicarán la capacidad exportadora del país.

Brasil tiene plena capacidad para abastecer la demanda de alcohol de los mercados externos. La producción de alcohol por hectárea es de 40 barriles, pero, esta producción podrá llegar a 100 barriles por hectárea en los próximos 10 años. Este hecho se debe a las nuevas tecnologías incorporadas al proceso industrial, como la hidrólisis de la pulpa de la caña, que aumentará el rendimiento de la producción de alcohol por hectárea de caña de azúcar plantada en 87%, un adicional de 5.600 litros por hectárea, como también del conocimiento del genoma de la caña que proporcionará incrementos considerables en el área agrícola.

El etanol es bastante competitivo en el mercado mundial de combustibles. Las exportaciones brasileñas de alcohol industrial, en volúmenes próximos a 500 millones de litros por año, han obtenido un precio medio FOB próximo a US$ 200 por metro cúbico, equivalentes a US$ 31,8 por barril de petróleo y, por lo tanto, debajo de los precios medios de la gasolina. El etanol brasileño es el combustible más barato del mundo, con un costo de US$ 0.15 por litro, pudiendo ser puesto en el mercado a US$ 27,5 barril FOB. Cuando se comparan los costos, el petróleo se muestra en desventaja. El precio de la gasolina tipo "A" del concurrente más próximo en el mercado internacional es de US$ 33,27 por barril, , el alcohol producido a partir del maíz americano tiene un costo de US$ 51,56 por barril. El mismo producto fabricado por los países pertenecientes a la Comunidad Europea posee un costo medio de US$ 94,54.

Para Brasil la perspectiva del alcohol combustible está aliada a las nuevas tecnologías de motores a combustión interna. Este hecho puede representar la consolidación definitiva del alcohol como combustible carburante en la cultura del consumidor. Entre estas nuevas tecnologías, la que más se aproxima de la realidad nacional es la bomba de bi-combustible (Sistema de

Gerenciamiento Flexible de Motores *Motronic Flex Fuel*) que proporcionará a los motores su funcionamiento con alcohol hidratado, con gasolina o con la mezcla de los dos combustibles en cualquier proporción, dando al consumidor la libre opción de elegir el tipo de combustible que desea colocar en su vehículo, dependiendo de su agrado o del precio más conveniente. Hoy en día la cantidad de vehículos movidos a bi-combustible vendidos en el mercado interno de Brasil es superior a la de los movidos solamente a alcohol, ambos participan con 4,6% del total de las ventas de vehículos automotores en Brasil. En enero de 2004 la producción de flexibles alcanzó 14,4% del total.

En 2003 la producción mundial de alcohol fue de 37,8 billones de litros, lo que significa un aumento de 15,6% si comparada con la producción de 2002. Con relación al año pasado y en orden creciente el aumento mayor fue el de los Estados Unidos con 36%, en seguida está Brasil con 10%, la Unión Europea con 9% y China con 8%. El aumento de la producción internacional del alcohol se debe al hecho de que varios países están cambiando sus matrices energéticas para beneficiar combustibles renovables y menos contaminantes.

Los gobiernos de Japón y de la India autorizaron la adición de hasta 10% de etanol a la gasolina automotora hasta 2008. En principio, Japón utilizará una adición de 3% de etanol a la gasolina, lo que demandará 1,8 billón de litros por año. Estados Unidos ya posee una flota de más de 1,5 millón de vehículos flexibles, que circulan con varias mezclas de alcohol y gasolina. El país deberá aumentar mucho la utilización del alcohol mezclado a la gasolina, en razón de la prohibición del MTBE – metil-tercio-butil-éter – en California y en otros estados norte-americanos, en virtud de la contaminación de los lechos freáticos causada por dicho derivado del petróleo. Se estima que el mercado americano necesitará 19 billones de litros en 2012.

La Comunidad Europea definió en 2003 un conjunto de medidas para la producción e utilización del etanol. Las metas indicativas de utilización del combustible renovable son de 2% hasta 2006 y de 5,75% hasta 2011 y se fundamentan en dos puntos principales, que son: Promocional y Fiscal. El promocional se realizará con la divulgación de la eficacia, la mejoría ambiental y la reducción de la emisión de CO_2 durante la vigencia del programa. La vertiente fiscal fijó niveles mínimos de tributación para todos los productos energéticos. En práctica, los resultados de consumo

de etanol para los 15 países de la UE es de 2,3 a 5,4 billones de litros con la adición de 2% y de 8,4 a 12,1 billones de litros para 5,75% de mezcla.

A pesar de que el alcohol es un producto con gran capacidad de inserción en el mercado internacional, igual que el azúcar, el objeto de gran proteccionismo y medidas de apoyo interno por parte de los demás países. En Estados Unidos el principal apoyo es el del abono fiscal. Se otorgan alrededor de US$ 143/ m^3 a la distribuidora de combustible que mezcla alcohol a la gasolina. También existe un gran subsidio al productor que planta maíz para que sea convertido en etanol. En la Unión Europea los subsidios son para proteger a los productores de uva, ya que el alcohol exportado proviene de la uva. Con la intención de asegurar la calidad y la cantidad de uva que se convertirá en vino, la medida de apoyo al sector puede llegar a US$ 4 mil/ m^3, permitiendo que las uvas de calidad inferior sean convertidas en etanol.

El hecho más importante para las ventas del alcohol en el mercado externo es la creación de una *commodity* del producto en el escenario internacional. La existencia de grandes volúmenes de negocios con etanol carburante en el mercado global, realizado en bolsas mundiales, podrá contener los precios y garantizar la entrega del producto en el futuro, lo que hará los negocios del alcohol más seguros y permitir la visualización del comportamiento de sus precios en el futuro.

3) BIODIESEL

El gobierno brasileño señala la creación de un programa de incentivo a la utilización de Combustibles Verdes. En el caso de Brasil, el programa de bio-diesel va a utilizar la adición de 15% de alcohol en el proceso de producción del bio-diesel como agente esterificador. En el caso de Brasil el programa utilizará inicialmente 5% de la mezcla de bio-diesel al diesel, mezcla que tiene el nombre de B-5. Para eso serán necesarios 300 millones de litros de alcohol para abastecer la demanda nacional de dicho combustible.

El principal beneficio de los combustibles alternativos es la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles importados. Brasil importa 17% del diesel que consume, y

en el caso de que se adopte la mezcla B-5, el país economizaría anualmente US$ 1,2 billones disminuyendo la importación.

La creciente preocupación ambiental es otro hecho que refuerza la importancia de los combustibles fósiles en la agenda de las discusiones internacionales. Los combustibles alternativos biodiesel y alcohol complementan las expectativas que fueron establecidas con los conceptos de los Mecanismos de Desarrollo Limpio – MDL. El artículo 12 del Protocolo de Kyoto firmado por casi todos los países del mundo se orienta hacia la disminución gradual de la emisión de gases contaminantes en la atmósfera. Esta disminución, de acuerdo con el protocolo, se obtendrá mediante inversiones en tecnologías de producción de energías renovables que substituyan los combustibles fósiles. En este aspecto el bio-diesel cumple las expectativas de disminución de la emisión de CO_2.

En Brasil, experimentos con la mezcla B5 comprobarán la eficiencia en el funcionamiento de los motores. En Europa varios países ya adhirieron al combustible produciéndolo comercialmente o están creando programas de incentivo a la producción en escala industrial. Europa produce aproximadamente 1 millón de toneladas de bio-diesel y las 38 plantas industriales instaladas en el continente tienen la capacidad para ofrecer más de 2 millones de toneladas. Las unidades industriales se integran a la labranza, principalmente, de canola. Los países del continente están adoptando 100% de bio-diesel en los motores de ciclo diesel.

4) CO-GENERACIÓN

La desreglamentación del sector energético, iniciada en el año de 1995, tuvo efectos en las actividades de la generación, comercialización y transacciones de compra y venta de energía. Este hecho creó una nueva opción para el sector sucro-alcoholero, que es la venta de la energía producida por la quema de la pulpa de la caña. La comercialización del excedente energético de las industrias ha constituido una fuente de renta real y económicamente viable, que viene ocupando un espacio cada vez mayor en la matriz energética nacional y se constituye en mayor valor agregado a la industrialización de la caña.

La co-generación de energía consiste en el proceso de aprovechar el vapor producido por la quema de biomasa para movilizar los equipos de la propia usina y simultáneamente generar energía eléctrica para consumo propio y posibilitando la comercialización del excedente para las distribuidoras y concesionarias del sector eléctrico.

En el país alrededor de 40 usinas generan excedentes de energía y la comercializan para las empresas distribuidoras. Es, además, un universo mucho menor del potencial que puede ser generado, porque las usinas, que están comercializando alrededor de 300 Megawatts, y según la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL), las 324 unidades industriales de caña y alcohol, pueden fornecer de 2.500 MW a 3.000 MW, lo que sería suficiente para abastecer una ciudad de 3 millones de habitantes. Otra información sobre el potencial energético de la caña, son los estudios de la *Clean Energy Associates & Partners* que informan que una tonelada de cana ofrece residuos suficientes para generar excedentes energéticos del orden de 56,7 Kilowatts/hora (KWh) en las usinas integradas y 64,77 KWh en las destilerías autónomas. De acuerdo con el estudio - considerando la zafra 1999/2000, de aproximadamente 300 millones de toneladas de caña de azúcar, y convirtiendo esta zafra en cantidad de materia seca que sobra de las usinas - resulta en un potencial de producción de 16,3 millones de Megawatts/hora año, o sea 5% del potencial energético brasileño. Por otro lado, el Ministerio de Minas y Energía presenta un cálculo indicando que la pulpa de la caña representa 10% de la matriz energética primaria del Brasil.

TRABAJOS POR COMISIONES

AGRICULTURA CAÑERA

ÍNDICE
AGRICULTURA CAÑERA

206 Hidrotermoterapia en yemas individuales para controlar el raquitismo de los retoños en caña de azúcar

217 Uso del gliphosato para el saneamiento de la escaldadura foliar de la caña de azúcar en áreas comerciales

221 Evaluación de la aptitud física de las tierras dedicadas al cultivo de la caña de azúcar. Sus resultados en Las Tunas

214 Propuesta varietal con adaptabilidad madurativa para inicios de zafra

226 La extensión agrícola. Principales resultados obtenidos en Las Tunas en caña de azúcar

207 Comparación de técnicas de saneamiento para la eliminación de *lelesonia xyli subs*.. Xyli en caña de azúcar (*Saccharum sp*. Híbrido)

218 Comportamiento de genotipos de caña de azúcar, introducidos y cubanos, ante el síndrome de la hoja amarilla

215 Determinación de la cantidad de cocones de *Cotesia flavipes cam*. Por masa y variación en el tiemo de su número por gramo de peso

234 Compuestos bioactivos aislados de *Echium wlidpretii subs. Wlidpretii pears & hook* (*boraginaceae) e hippestrum puniceum lam. (amarillidaceae*)

223 Selección de variedades de madurez temprana y alto contenido azucarero en condiciones de estrés ambiental por sequía

224 Evidencias de cambios fisiológicos en plantas de caña de azúcar con síntomas de amarilleamiento foliar

230 Comportamiento de la resistencia genética a la roya común de la caña de azúcar en Cuba

211 Valoración del programa de mejora para resistencia a las enfermedades de la roya y el carbón de la caña de azúcar

212 Empleo de la biotecnología como herramienta para desarrollar una agricultura sostenible

231 Progenitores 2n+n en el desarrollo de un nuevo estilo de nobilización para la caña de azúcar (Saccharum spp.)

236 Determinación de especies de bórer presentes en la caña de azúcar en la provincia de Villa Clara

238 Mas de 50 años de investigaciones con nitrógeno en caña de azúcar sobre vertisuelos de la región oriental de Cuba

222 Determinación de los elementos técnicos económicos del riego localizado en caña de azúcar en Las Tunas.

216 Aclimatización y colonización de *Cotesia flavipes* en áreas de producción en Villa Clara, Cuba

213 Brote epifitiológico de la escaldadura foliar. Consecuencias actuales y futuras

220 Laboreo localizado con el C101, resultados ténico-económicos obtenidos en la aplicación entre el período 1999-2001 en Las Tunas

219 Habilidad combinatoria para la resistencia al carbón en progenitores de caña de azúcar

208 Aplicación de un sistema de información geográfica (SIG) para el estudio de suelos en una empresa agrícola

209 Bases para el uso y manejo de los suelos pertenecientes al MINAZ

235 Análisis de las características productivas de dos nuevas variedades de caña de azúcar obtenidas en Camagüey

237 La eficiencia de la selección en caña de azúcar y la calidad del ambiente

210 Estudio de poblaciones clonales y fenotipos de caña de azúcar en Cuba bajo condiciones de estrés por sequía

227 La labranza en bandas en el cultivo dela caña de azúcar

228 Implementación de un sistema de información geográfica (SIG) como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la agricultura.

229 Impacto socio económico ambiental del proceso de evaluación de tierra: Fin de un paradigma

121 Modelación del desempeño en tracción de tractores de 30 KN, para el tiro de caña de azúcar en suelos blandos.

192 La modelación del rendimiento agrícola en la caña de azúcar. Caso de estudio

199 Estudio de la fertilización nitrogenada en variedades de la caña de azúcar cultivadas en diferentes tipos de suelos (caña planta)

182 La rotación de arroz con caña de azúcar en La Florida, USA

180 Nueva metodología en la selección de variedades de caña de azúcar (*S. officinarum l.*), en México

HIDROTERMOTERAPIA EN YEMAS INDIVIDUALES PARA CONTROLAR EL RAQUITISMO DE LOS RETOÑOS EN CAÑA DE AZÜCAR.

HYDROTHERMOTHERAPIE IN SINGLE SUGAR CANE BUDS TO CONTROL THE RATOON STUNTING DISEASE

Montalván J[*]. ; F. Valladares[*]; I.Torres[*]; J. Vallina[*] y J. R. Pérez Milian[**].

***Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Camagüey. Florida CP 72810, Camagüey Cuba. E – Mail jmontalvan@epica.cm.minaz.cu**
**** Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Matanzas. Jovellanos Matanzas.**

RESUMEN

Se desarrolló un estudio para determinar la efectividad de diferentes combinaciones de tiempo y temperatura en el control del raquitismo de los retoños en caña de azúcar. Se utilizaron yemas individuales de tres variedades comerciales con edades de 12-14 meses y se analizaron las variables ahijamiento, % de intensidad, % de propagación y número de células bacterianas por campo microscópico. A excepción del ahijamiento, en todos los casos existieron diferencias entre el testigo y los tratamientos, por lo que cualquiera de las variantes utilizadas controla de alguna manera la incidencia de Leifsonia xyli subsp. xyli (Davis et al.) Evtushenko et al., aunque existen algunos escapes que deben ser eliminados con tratamientos posteriores. Se ofrecen las ventajas del tratamiento hidrotérmico de yemas individuales con relación al tratamiento convencional (trozos de 2 o 3 yemas, 50.5°C/2 horas).

Palabras claves: caña de azúcar, Hidrotermoterapia, yemas, enfermedades.

ABSTRACT

A study was developed to determine the effectiveness of different combinations of time and temperature in the control of the ratoon stunting disease in sugar cane. Individual buds of three commercial varieties were used with ages of 12-14 months and was analyzed the variable increase of the shafts number, % of intensity, % propagation and number of bacterial cells for microscopic observation. To exception of the increase of the shafts number, in all the cases existed differences between the witness and the treatments. Anyone of the used variants controls the incidence of Leifsonia xyli subsp. xyli (Davis et al.) Evtushenko et al., although they exist some escapes that they should be eliminated with later treatments. The advantages of the hydrothermal treatment of individual buds with relationship to the conventional treatment (pieces of 2 or 3 buds, 50.5°C/2 hours) are showed.

Keywords: Sugarcane, hydrothermotherapie, buds, disease.

INTRODUCCION

A diferencia de otros cultivos, en caña de azúcar no ha sido sistemática la utilización de bancos de semilla. Sin embargo la utilización de material de plantación sano ha demostrado ser esencial para el control, sobre todo de ciertas enfermedades.
La multiplicación excesiva, de cualquier material vegetal, principalmente de propagación vegetativa, puede representar un gran riesgo si no se toman los debidos cuidados fitosanitarios para evitar la diseminación de las enfermedades transmisibles por la semilla.
En Cuba se ha reportado la existencia de 12 enfermedades traslocadas por la semilla agámica de las 26 reportadas mundialmente (Chinea y Rodríguez, 1994).
El tratamiento térmico a la semilla de caña fue establecido desde hace muchos años para el control de la Raya clorótica y aún hoy se utiliza (Martin, 1935; Steindl, 1971; Baudin, 1984; Frison y Putter, 1993), más tarde ésta terapia se extendió a otras enfermedades como el raquitismo de los retoños, carbón y escaldadura, patologías estas que representan, desde el punto de vista fitosanitario, el más grave problema actual de nuestro país.
Se han desarrollado diferentes métodos de tratamiento térmico: el de agua caliente, aire seco caliente, aire húmedo caliente y vapor aireado, los que tienen diferentes exigencias de instalación y productividad. Entre ellos se destaca la hidrotermoterapia como el de más amplio uso (Chinea y Rodríguez, 1994), al parecer entre otros aspectos porque requieren de equipos menos sofisticados que el resto de los sistemas (Victoria et al, 1984). En el mismo se emplean diferentes combinaciones de temperatura y tiempo de tratamiento, de este modo son clasificados en cortos, largos y seriados.
En nuestro trabajo nos proponemos estudiar la efectividad de los tratamientos cortos para el control del raquitismo de los retoños cuando se trabajan con yemas individuales.

MATERIALES Y METODOS.

En la EPICA de Camagüey, en las áreas del Banco de Semilla Básica se plantó un experimento con el objetivo de estudiar la efectividad de diferentes combinaciones de temperatura y tiempo de exposición en el control del raquitismo de los retoños.
Se tomaron tallos de las variedades C1051-73, Ja60-5 y CP52-43, con edades de 12-14 meses, a los cuales se les extrajeron las yemas, según criterio técnico sugerido por COPERSUCAR (1983), utilizando para ello una caladora eléctrica.
Las yemas se remojaron durante 24 h, seguidamente, en una planta pequeña de 0,10 m^3, fueron tratadas según las temperaturas y tiempos seleccionados:

- **50.5°C/2h (Thompson, 1970; COPERSUCAR, 1983; Chagas y Matsuoka, 1988).**
- **52°C/30' (Benda, 1975; Pérez y Mauri, 1985)**
- **53°C/20' (Pérez et al, 1981)**
- **53°C/30' (Pérez et al, 1981)**
- **Testigo sin tratar.**

Posteriormente, después del reposo, las yemas fueron sumergidas durante 15 minutos en una solución de Tilt a razón de 0,2 g/l.
Las yemas se aviveraron y se trasplantaron a bolsas, las cuales fueron llevadas al campo en el mes de octubre, a razón de 90 transplantes por tratamiento en cada variedad.
El diseño utilizado fue una parcela dividida con 3 repeticiones. Las subparcelas contaban con 2 surcos de 15 plantas cada uno, con un marco de plantación de 0,60 x 1,50 m.
Se realizó un chequeo de población para determinar la cantidad de hijos por plantón y chequeos fitopatológicos periódicos para detectar la posible presencia de carbón.
A los 8 meses de edad se tomaron 10 tallos por subparcela a los cuales se les extrajo el jugo utilizando una bomba de vacío y mediante la técnica de contraste de fase se analizaron 50 campos

microscópicos por muestra para el diagnostico de la enfermedad. Se analizaron las variables porcentaje de propagación, porcentaje de intensidad y número de células de Leifsonia xyli subsp xyli por campo microscópico.
Los datos obtenidos se procesaron estadísticamente mediante el análisis de varianza y la prueba de Duncan para detectar las posibles diferencias entre los tratamientos y las variedades utilizadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Utilizando como fuente de variación las réplicas, variedades y tratamientos se analizaron de manera independiente las variables porcentaje de propagación, porcentaje de intensidad, número de células por campo y el ahijamiento mediante un análisis de varianza. Los resultados de éste se reflejan en la tabla I.

Tabla I.- Resultados del ANOVA

Variable	Fuentes de Variación		
	Réplicas	Variedad	Tratamientos
Propagación (%)	N.S	N.S	***
Intensidad (%)	N.S	N.S	***
# Células/campo	N.S	N.S	***
Ahijamiento	N.S	N.S	N.S

Como puede apreciarse no se observan diferencias significativas entre las réplicas, ni entre las variedades para ninguna de las variables analizadas, lo contrario ocurre al analizar los diferentes tratamientos, donde a excepción del ahijamiento, el análisis arrojó diferencias altamente significativas para el resto de las variables.
Para determinar cuál o cuáles eran los tratamientos que mejor control ejercían sobre Leifsonia xyli. Subesp. Xyli se realizaron pruebas de Duncan para cada una de las variables analizadas. En las fig.1, 2 y 3 se muestran los resultados de esta dócima para el porcentaje de propagación, porcentaje de intensidad y número de células por campo microscópico respectivamente.

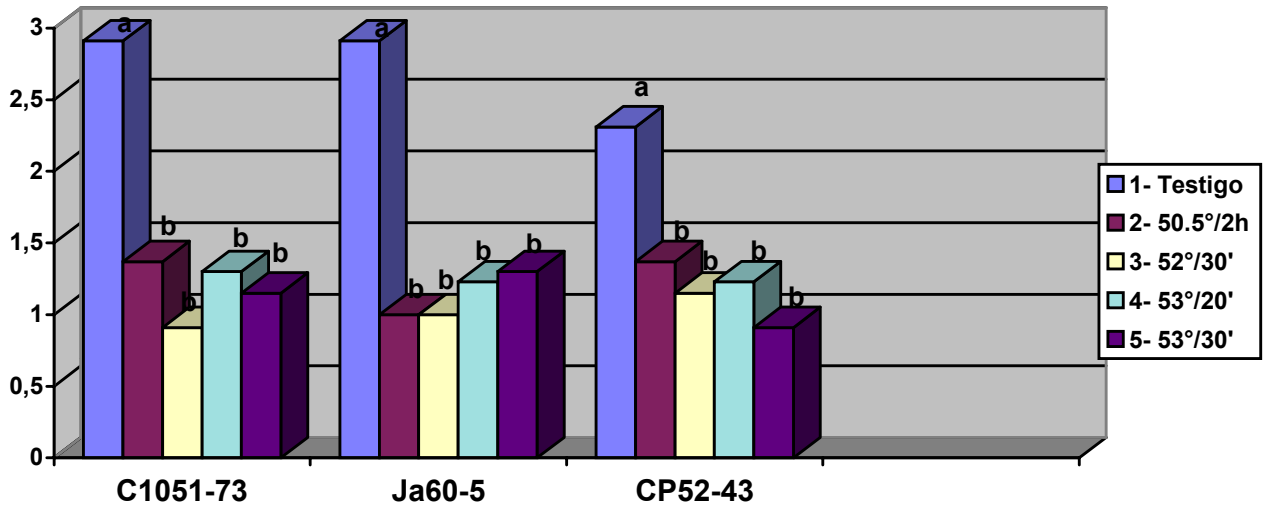


Fig.1 Resultados aportados por las diferentes combinaciones de temperatura y tiempo en lo referente al porcentaje de propagación.

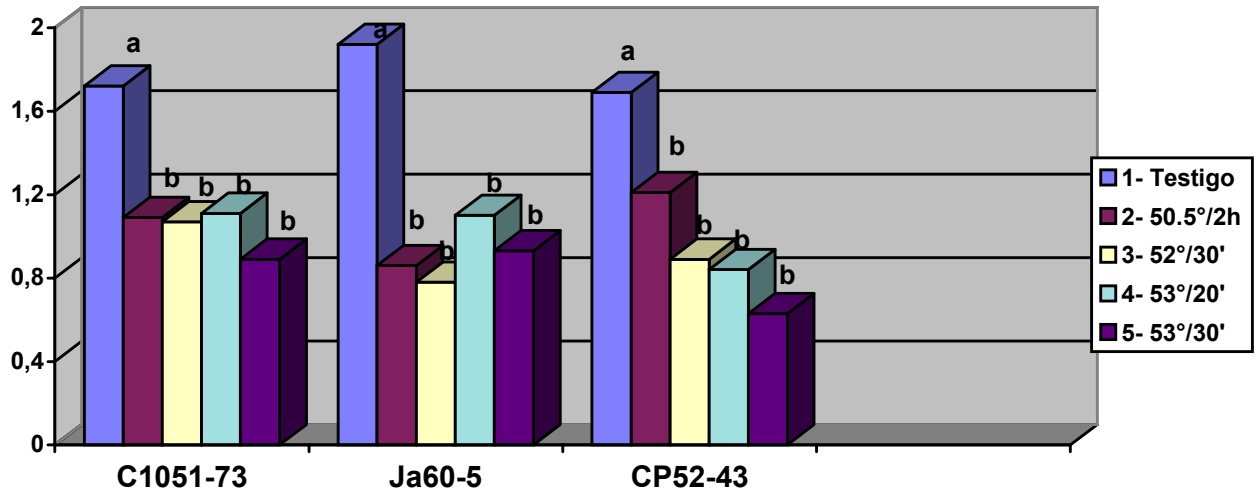


Fig.2 Comparación del porcentaje de intensidad en las diferentes variantes analizadas

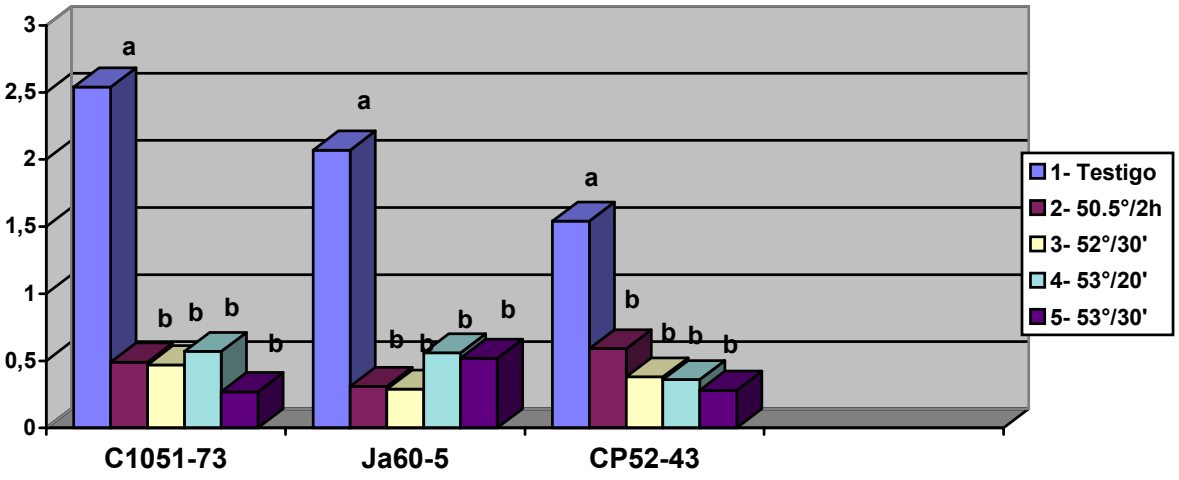


Fig.3 Número de células por campo microscópico detectadas en el diagnóstico por microscopía de contraste de fases.

En todos los casos se observa claramente la diferencia existente entre los testigos y cada uno de los tratamientos, lo que denota que cualquiera de los métodos utilizados ejerce de alguna manera un control sobre el R.S.D. (Copersucar, 1983; Chinea y Rodríguez, 1994; Benda, 1975; Pérez et al, 1981).

Otros autores han utilizados diferentes tiempos de exposición de la semilla agámica a distintas temperaturas para el control de la enfermedad con resultados satisfactorios (Copersucar, 1981; Hughes y Steindl, 1955; Victoria et al, 1984; Frison y Putter, 1993; King et al, 1968; Steindl, 1961; Benda, 1975; Pérez et al, 1981).

Podemos ver además que en todos los casos existen escapes de células viables en mayor o menor cuantía, por lo que pensamos que es muy importante el estricto cumplimiento del tratamiento con hidrotermoterapia en varias etapas del esquema de producción de semilla.

La termoterapia y el saneamiento son las principales medidas empleadas para prevenir la reinfección y posterior diseminación de L. .x subsp xyli (Harrison et al, 1986).

El tratamiento térmico en cualquiera de sus variantes resulta indispensable, siguiendo el ya tradicional principio de exponer los trozos de caña de semilla a una temperatura letal para el

organismo patógeno pero no para la yema. En Cuba se empleava casi exclusivamente la HTT de trozos de tres yemas o más, en tanques de aproximadamente 20000 lts de capacidad. Se recomienda además, de modo general, el uso de tratamientos largos, hasta dos horas con una temperatura de 50.5° C, no obstante existen escapes de células viables de algunos organismos patógenos como L. x subsp xyli, que garantizan la reinfección a largo plazo (Singh, 1977). Con el tratamiento convencional los escapes se ven favorecidos por las siguientes razones:

- **Los tallos de caña dentro de una misma variedad tienen diámetro variable.**
- **El calor no se trasmite de modo eficiente a través de tallos de caña.**
- **Variedades de crecimiento muy erecto, forman volúmenes muy compactos.**
- **Inadecuado control de la temperatura cuando se opera con grandes volúmenes de agua. Es importante significar que la temperatura debe ser estable para que haya un mínimo de escape.**

Como puede apreciarse, las mayores dificultades para garantizar un control efectivo giran en torno al volumen de material tratado y al estricto control de la temperatura en grandes tanques de tratamiento. Reducir ambas dificultades solo podría lograrse con el uso de la HTT de yemas individuales, dicho método, según afirmaciones de algunos autores es más eficiente que el tratamiento convencional de trozos y proporciona un aumento de hasta 28.8 t/ha en relación a los testigos no tratados (Magro, 1980, 1987), además presenta las siguientes ventajas:

- **Reducción del material a tratar: 1/40**
- **Relación mínima entre el volumen de material a tratar y el volumen de agua: 1/6**
- **Control efectivo de la temperatura**
- **Tratamiento más profundo en el control de patologías transmisibles por la semilla.**
- **Posible aplicación de tratamientos cortos sin afectar el estricto saneamiento de la semilla, lo que significa un considerable ahorro de tiempo.**

Al analizar el ahijamiento se pudo observar que el tratamiento hidrotérmico no influyó, pues no se aprecian diferencias en ninguna de las fuentes de variación (Fig. 4), aunque en la variedad CP52-43 se notó cierto estímulo, alcanzando en algunos casos más de 14 hijos por planta.

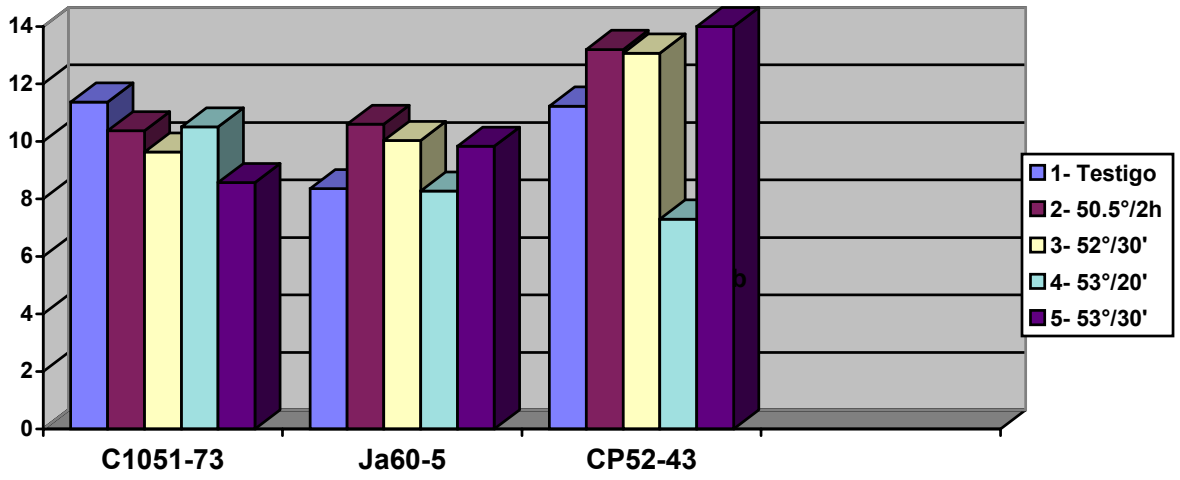


Fig.4 Resultados del ahijamiento en las distintas combinaciones de temperatura y tiempo.

En lo referente al Carbón de la caña de azúcar podemos plantear que todos los tratamientos fueron efectivos ya que no encontramos afectaciones dignas de mencionar.

CONCLUSIONES

- **Los tratamientos analizados difieren del testigo en las variables relacionadas con la enfermedad del raquitismo de los retoños.**
- **Con sólo un tratamiento hidrotérmico no es suficiente para controlar el RSD.**
- **No se observaron diferencias en el ahijamiento.**
- **El tratamiento de yemas individuales presenta ventajas sobre el tratamiento convencional al controlar eficazmente la temperatura y utilizar tanques con volúmenes pequeños.**
- **Los tratamientos cortos pueden ser utilizados sin dificultad en el control del RSD cuando se trabaja con yemas individuales.**

RECOMENDACIONES

- **Utilizar los tratamientos cortos de yemas aisladas lo que nos permitiría un considerable ahorro de tiempo, incrementando los rendimientos mediante el uso de una semilla mejor desde el punto de vista fitosanitario .**
- **Continuar el estudio del tratamiento hidrotérmico de yemas aisladas y su influencia en el rendimiento agrícola, así como en el correcto saneamiento de la semilla.**

BIBLIOGRAFIA

1. **Baudin, P. (1984). L. Agronomie Tropicale 39(3). 262-268.**
2. **Benda, G.T.A. (1975). Short-hot-water treatment for the control of ratoon stunting disease, Sug. Azuc.70 (7):59**
3. **Chagas, P.R.R. y Matsuoka, S. (1988). Brasil acucareiro, Rio de Janeiro 105 (1): 40-44.**
4. **Chinea A. y Rodríguez E. (1994). Enfermedades de la caña de azúcar. INICA, 100 pp.**
5. **COPERSUCAR (1983). Producao de mudas sadias de cana de acucar pela formacao de viveiros a partir de termoterapia em yemas isoladas. Reuniao Técnica agronómoca, 30-42.**
6. **Frison, E.A. and Putter, C.A.J. (1993).Technical Guidelines for the safe movement of sugarcane Germplasm FAO/IBPGR. Roma, 44 pp.**
7. **Harrison, N.A.Davis, M.J. and Dean, J. L. (1+986).Infectivity titrations of Clavibacter xyll subsp xyll and sugarcane cultivars differing in susceptibility to ratoon stunting disease. Plant disease 70:556-558.**
8. **Magro, J.A. (1980). Efeito dio tamanho dio tolete no tratamento térmico para controle do raquitismo da soqueira. Serrana, SP. Usina de Pedra 3 pp.**
9. **Magro, J.A. (1987). Formacao de viveiro de mudas. In:, Cana de acucar. Cultivo e utilizacao. Vol. 1 p 260-267.**
10. **Martin, J.P. (1935). Proceedings XIV ISSCT Congress p 525-529.**
11. **Pérez, J.; López, M y Castro M. (1981). Un método para el control de la enfermedad del raquitismo de los retoños (RSD) de la caña de azúcar. Memorias 45 Conferencia de la ATAC. Tomo IV. La Habana, 46-61**
12. **Pérez, L. Y Mauri, F. (1986). Agrotecnia de Cuba 18 (20): 81-98.**
13. **Sing K. (1977). Sugarcane diseases and the three tier seed Programme. Sugar News. Vol 9 N: 6-7. India.**
14. **Steindl S.P. I. (1971). Proceedings XIV ISSCT Congress. 525-529.**
15. **Thompson, G.M. (1970). Sugarcane Pathologists newsletter 5:48.**

16. **Victoria, J.L., Ochoa, O. Y Casscalett, C. (1984). Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. CENICAÑA. Serie Técnica N.2. 27 pp.**

USO DEL GLIPHOSATO PARA EL SANEAMIENTO DE LA ESCALDADURA FOLIAR DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN ÁREAS COMERCIALES.

Osmany de la C. Aday Díaz, Héctor García Pérez, Francisco Barroso Medina y Félix R. Díaz Mujica.

ETICA Villa Clara-Cienfuegos, Autopista Nacional; Km 246; Apartado 20 Ranchuelo, Villa Clara, CP 53100; Fax: 451520;Teléfono: 451132 y 451520;
Correo electrónico: epica@civc.inf.cu.

RESUMEN.

Se estudió el empleo del Gliphosato para el saneamiento de la Escaldadura foliar de la caña de azúcar (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson) en plantaciones comerciales. Fueron comparadas diferentes combinaciones de dosis y altura de las plantas en el momento de la aplicación, para conocer cual de ellas elimina totalmente el plantón de caña. Se desarrollaron dos ensayos, uno en parcelas experimentales en plantas sanas y otro en áreas comerciales con plantas enfermas. Los resultados mostraron que, el Gliphosato al 3 % aplicado a cañas con altura de 60 cm, produce los mejores resultados con un 99 % de efectividad, para alturas iguales o mayores de 120 cm se necesitan dosis superiores al 4 %. Se recomienda la introducción de este método de saneamiento de la Escaldadura foliar en áreas comerciales, preferiblemente en campos con altos rendimientos y que el número de hasta plantones enfermos no sobrepase el 1 %, de aquí en adelante la cantidad de producto sería muy grande y se elevaría considerablemente los costos, por tanto al sobrepasar este porcentaje deben aplicarse medidas de cuarentena.

Palabras Claves: Escaldadura, *Xanthomonas albilineans,* Gliphosato, caña de azúcar.

USE OF GLIPHOSATE FOR CONTROLLING LEAF SCALD IN SUGAR CANE COMMERCIAL AREAS.

ABSTRACT.

The use of Gliphosate for controlling sugar cane leaf scald (*Xanthomonas alblilineans* (Ashby Dowson) in commercial plantations was studied. Different combinations of doses and plant height at the application time were compared, to know which of them is capable to eliminate completely the stool of cane. Two assays were developed, one in trial plots with healthy plants and the other in commercial areas with sick plants. The results showed that Gliphosate at 3% applied to 60 cm canes has a 99% of effectiveness, for taller canes >= to 1.20 m it is needed doses superior to 4%. This method is suggested for commercial areas with high yields.

Key wods: Leaf scald, ***Xanthomonas albilineans,*** Gliphosato, sugar cane.

INTRODUCCIÓN.

La Escaldadura foliar (leaf scal) de la caña de azúcar, enfermedad bacteriana vascular provocada por *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson, es considerada una enfermedad de importancia para este cultivo. Rott *y otros* (1995) plantea que la enfermedad se ha identificado en 61 países y diferentes localidades geográficas. Recientemente la incidencia de la enfermedad ha llamado poderosamente la atención debido a su incremento, lo que pudiera estar relacionado el surgimiento de nuevas variantes del patógeno, ya sea por mutaciones de las cepas establecidas o por la introducción de cepas exóticas (Davis, 1992 y Davis *y otros* 1993). En Cuba fue reportada por primera vez en el año 1979, manteniéndose en su fase asintomática hasta 1997, en

que se detectaron focos en algunas localidades del país, (Piñón, 1997). Por otro lado la encuesta realizada en 1998, mostró la susceptibilidad de la mayoría de las variedades comerciales.
En general no hay suficiente número de variedades resistentes para controlar la enfermedad, por lo que es necesario aplicar el mayor número posible de medidas preventivas para evitar su propagación. CENICAÑA 1995, en su informe anual expone resultados que revelan la efectividad del tratamiento hidrotérmico en el control de la escaldadura, cuando se tratan yemas aisladas a una temperatura de 50 ^{0}C durante 3 horas o 51 ^{0}C durante 1 hora, logrando 0 % de incidencia y la reducción notable de la enfermedad en las áreas de producción con el uso del Gliphosato al 3 % para erradicar las cepas infectadas, así como la desinfección de las herramientas de corte. Este herbicida ha sido utilizado para matar las cepas de caña cuando se práctica el laboreo mínimo del suelo (Anon, 1976) y los fabricantes lo recomiendan contra mezclas varietales o plantones afectados por carbón en áreas de caña para semilla a una concentración de 1-1.5 % i.a (i.a 480 g/l).

Valorando la aparición sistemática en los últimos años en Cuba de brotes de enfermedad y el posible uso del Glifosato dentro del grupo de medidas para el control esta, se desarrolló el presente estudio con vistas a determinar las dosis y la altura del cultivo más adecuada para eliminar los plantones con síntomas.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Se desarrollaron dos ensayos, uno con plantas sanas donde se evaluaron cuatro dosis (3, 4, 5 y 6 % del producto comercial) y cuatro alturas del cultivo (0 cuando la aplicación se realiza inmediatamente después del corte del plantón, 30, 60 y 120 **cm,**), empleando para ello parcelas de 48 m^2 de la variedad Ja60-5 en un diseño de bloques con 5 repeticiones, sobre un suelo Pardo con carbonato en áreas experimentales de la ETICA Centro Sur de Villa Clara, realizándose las evaluaciones a los 10, 20, 30 y 60 días de la aplicación. En el otro ensayo se utilizaron plantas con síntomas de la enfermedad, donde se probaron dos alturas del cultivo (0 y 120 **cm**) con la dosis 4 % de Gliphosato. En este caso la plantación correspondió a un retoño comercial de la variedad C120-78 en áreas del CAI "Chiquitico Fabregat" y las evaluaciones se realizaron a los 15 y 60 días de la aplicación.

El efecto del Gliphosato sobre el cultivo fue determinado por el grado de afectación según la escala visual de 9 grados de la EWRC (Johannes y Schuh, 1971 y CIBA – GEIGY, 1981), donde el número 1 indica cero daño, 9 la muerte de los plantones y 4 el límite máximo de daño permisible. También fue evaluado el porcentaje de plantones afectados con el máximo grado de la escala observado. El tratamiento estadístico empleado fue el análisis de varianza bifactorial y Prueba Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En el ensayo 1, de acuerdo con el resultado de las evaluaciones y el análisis estadístico de las variables grado de afectación y porcentaje de plantones muertos, la altura de 60 cm parece ser la más apropiada, para eliminar los plantones enfermos con Escaldadura usando el Gliphosato, ya que con ésta se logró un 99 % de efectividad con cualquiera de las dosis empleadas, sin embargo, para alcanzar el mismo efecto en alturas mayores de 120 cm se necesitan dosis superiores al 4 % del producto comercial. Con alturas igual o inferior a 30 cm, no se logra la muerte de los plantones de caña, esto puede estar relacionado con el área foliar expuesta al contacto con el producto aplicado. En las tablas I y II se describe el listado de la prueba de comparación de medias obtenidas de la última evaluación, realizada a los 60 días.

En el ensayo 2, la evaluación realizada a los 14 días de efectuado el tratamiento, mostró en las cepas con síntomas de la enfermedad, tratadas inmediatamente después del corte, clorosis y necrosis de los brotes, pero estos síntomas de intolerancia fueron desapareciendo con el transcurso del tiempo, hasta producirse una recuperación total del cultivo sin posibles afectaciones en la cosecha. Esto no sucedió así cuando el Gliphosato se aplicó a plantas con 120 cm de altura, en este caso se produjo un incremento de los síntomas de intolerancia de forma progresiva, hasta la muerte total de los plantones después de los 60 días de realizada la aplicación. En la tabla III se describen los resultados de la última evaluación realizada.

Tabla I. Listado de medias para la variable Grado de afectación.

Combinación		Comparación de medias
Dosis (%)	Altura (Cm)	
3	60	9 a
4	60	9 a
5	60	9 a
5	120	9 a
6	60	9 a
6	120	9 a
3	120	7.4 b
4	120	6.6 b
4	0	1.4 c
3	0	1.0 c
3	30	1.0 c
4	30	1.0 c
5	30	1.0 c
6	0	1.0 c
6	30	1.0 c
5	0	1.0 c

Sx = 0.37
Desviación standard = 1.67
Coeficiente de variación = 0.27 %

Tabla II. Listado de medias para la variable % de plantones con intolerancia.

Combinación		Comparación de medias
Dosis (%)	Altura(cm)	
3	60	100 a
3	120	100 a
4	60	100 a
4	120	100 a
5	60	100 a
5	120	100 a
6	60	100 a
6	120	100 a
4	0	10.8 b
3	0	1.0 c
3	30	1.0 c
4	30	1.0 c
5	30	1.0 c
6	0	1.0 c
6	30	1.0 c
5	0	1.0 c

Sx = 2.53
Desviación standard = 17.37
Coeficiente de variación = 0.20 %

Tabla III. Resultados de la última evaluación en el ensayo 2.

Altura (cm)	Plantones tratados	Grado de afectación	% de plantones con intolerancia
0	149	1	0
120	115	9	98

Los resultados de ambos ensayos coinciden con las experiencias de CENICAÑA en Colombia y ofrecen un método, para disminuir la incidencia de la escaldadura foliar en áreas comerciales y con ello evitar su propagación, aspecto importante si tenemos en cuenta que la enfermedad puede producir caídas en los rendimientos en el campo de 15 a 20 % en variedades susceptibles (Rott *y otros*, 1995). Según Victoria citado por Rozeff (1999), en Colombia se han producido mermas en los rendimientos de 10 a 30 % y Flores (1997) plantea que la enfermedad en su fase aguda, mata alrededor del 10 % de la población de los tallos en caso de variedades susceptibles, afectándose además la calidad de los jugos a causa de la acción de las bacterias, el daño es mayor cuando la escaldadura está asociado con el carbón de la caña.

En cuanto a los gastos de solución final aplicada a los plantones de caña, el promedio este fue diferente en los ensayos realizados, variando de 0.05 l/plantón en el primero a 0.1 l/plantón en el segundo, este gasto varía en dependencia de la técnica de aplicación, de cualquier manera debe lograse una aplicación que moje totalmente el plantón, para lograr su eliminación total. En el tabla IV se proponen la posible cantidad de producto necesario para efectuar el saneamiento de acuerdo al porcentaje de plantones enfermos por caballería.

Tabla IV. Cantidad de solución final y producto comercial necesario para el saneamiento atendiendo al porcentaje de plantones enfermas.

% de Plantones enfermos	Plantones enfermos/Cab.	Solución Final a aplicar (L)	No. de Mochilas de 16 L	Cantidad de Producto Comercial (L)
0.5	700	32 - 80	2 - 5	0.96 - 2.4
1	1 400	64 - 144	5 - 9	2 - 4.32
2	2 796	144 - 304	9 -19	4.32 -9.12
3	4 194	208 - 448	13 - 28	6.24 -13.44
4	5 592	277 - 608	17 -38	8.31 - 18.24

Cuando se trata de una medida para el control de una plaga o enfermedad, los costos iniciales por lo menos en los dos primeros años es alto y en la mayoría de los casos puede sobrepasar al valor de las pérdidas causadas por el agente biológico en las etapas iniciales, pero de no aplicarse es muy probable de que la enfermedad cause perdidas importantes en los cultivos en una forma progresiva y llegar a su aniquilación completa, esto es claro está si se dan las condiciones favorables para su desarrollo entre las que se destaca el clima, la naturaleza del patógeno y la existencia de variedades susceptibles. Por otro lado es importante determinar cuando se debe aplicar un tipo de medida y cual es la que debe seguir de acuerdo con el aumento del grado de afectación.

En el caso Escaldadura foliar, hay que tener en cuenta que la aparición resiente de un nuevo serovar del patógeno en Cuba y la agresividad que este ha mostrado, así como la existencia de un grupo importante de variedades con determinada susceptibilidad, no cabe la menor duda de que es necesario aplicar cuantas mediadas estén a nuestro alcance hasta tanto no se conozca más del comportamiento de la enfermedad para las condiciones de Cuba.

En el tabla V, a modo de ejemplo se describe, el efecto de los costos por la utilización del Gliphosato en el saneamiento de los plantones enfermos con Escaldadura foliar en áreas comerciales, en relación con las pérdidas que pueden causar la enfermedad. Se toman dos niveles de rendimiento 30 000 y 60 000 @ /Cab, un precio del azúcar de $200.00 USD y $4.18

USD el costo del litro de Gliphosato según datos de 1999. Como se puede apreciar las pérdidas se pueden producir en forma progresiva de acuerdo con porcentaje de plantones enfermos en cada año, económicamente sería factible aplicar este método hasta un 1 % de plantones enfermos ya que de aquí en adelante la cantidad de producto sería muy grande y se elevaría considerablemente los costos, por tanto al sobrepasar este porcentaje deben aplicarse medidas de cuarentena y preferiblemente debe ser aplicado a campos con altos rendimientos. Es conveniente explicar, que si no se aplica en el primer año, el saneamiento de los plantones con síntomas de la enfermedad, el valor de las pérdidas superaría entonces en el segundo año al costo del producto necesitado en el primero.

Tabla V. Evaluación de los costos de aplicación del Gliphosato.

Año	% P.E	R= 30 000@ /Cab Pérd. (USD/Cab)	Costo del Producto (USD)	R= 60 000@ /Cab Pérd. (USD/Cab)
1	0.5	3.00	4.01 --10.032	6.00
2	1	6.00	8.36 -- 18.06	12.00
3	2	12.00	18.06 --38.12	24.00
4	3	18.00	26.08 -- 56.18	36.00
5	4	24.00	34.73 -- 76.24	48.00

CONCLUSIONES

- Los mejores resultados en el saneamiento de plantones enfermos con escaldadura foliar se logran cuando se aplica el Gliphosato a una concentración del 3 % y plantas con altura de 60 cm. Con alturas igual o inferior a 30 cm, no se logra la muerte total de los plantones de caña.
- El gasto de solución final depende de la experiencia del empleo de esta técnica y puede oscilar entre 5 y 10 l por cada 100 plantones tratados.

RECOMENDACIONES.

- Aplicar este método en áreas comerciales, preferiblemente en campos con altos rendimientos y que el número de hasta plantones enfermos no sobrepase el 1 %, al sobrepasar este porcentaje deben aplicarse medidas de cuarentena.
- Aplicar el Gliphosato al 3 % a plantones con síntomas de Escaldadura cuando la caña tenga 60 cm de altura. Cuando la altura de los plantones es 120 cm o más, se recomiendan dosis iguales o superiores al 4% de Gliphosato.
- Debe lograse una aplicación con Gliphosato que moje totalmente el plantón, para lograr su eliminación.

BIBLIOGRAFÍA.

- CENICAÑA. (1995). Escaldadura de la hoja (LSD). Informe anual “CENICAÑA”, Fitopatología: pp. 13.
- CIBA- GEIGY. (1981): Manual para ensayos de campo. Segunda Edición. Basiles, pp 205.
- Davis, M. J. (1992). Increased incidence of leaf scald disease in Florida associated with a genetic variant of *Xanthomonas albilineans*. Sugar Cane 87(6): 34.
- Davis, M. J. ; C. J. Warmuth and P. Rott. (1993). Genetic variation in *Xanthomonas albilineans*. Abstract of papers presented at The 6th Internacional Congress of Plant Pathology, July 98, Canada: pp.35.

- Dolores Piñón. (1997). La Escaldadura foliar. Una enfermedad potencialmente peligrosa. Rev. Cañaveral, Cuba, Vol. 3, No. 2: 28-30.
- Intyre, G. Mc, J. Pitchen, C. Barbe and M. Yerriah. (1983). Uso del Roundup (Gliphosato) para el control de las malas hierbas en campos de caña de azúcar. Procceding XVIII Congress, 21-26 de Febrero, 1983. Volumen 1, Ciudad de la Habana, Cuba: 273-276.
- Johannes, H. and J.Schuh. (1971). Das Bobitierungsschema 1-9. In: European Weed Research Council (EWRC), Begbroke Hill, Kidlington, Oxford.
- Rott, P. ; D. Soupa; J. Brunet; P. Feldmann and P. Letourmy. (1995). Leaf scald (*Xanthomonas albilineans*) incidence and its effects on yield in seven sugarcane cultivars in Guadeloupe. Plant Pathology 44: 1075-1084.

Agradecimientos:
Javier Barroso Melillo, Maritza Dueñas Juvier y Yandi H. Estévez Martín.

EVALUACIÓN DE LA APTITUD FÍSICA DE LAS TIERRAS DEDICADAS AL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR. SUS RESULTADOS EN LAS TUNAS.

NILVA OSORIO PEÑA, SERGIO CASTRO PÉREZ, EDELMAR PUPO LABRADA, VICTOR TEJEDA MARRERO, LORENZO RODRÍGUEZ PABLO GUNDÍN MAREY, ENIVIS REYES PEREZ Y ELIA SAO PEÑA

Instituto Nacional de Investigaciones de la caña de Azúcar (INICA), EPICA Las Tunas. E- mail: nilva@epica.ltunas.inf.cu

Resumen: Se presentan los resultados de la primera etapa del estudio de la evaluación de la aptitud física de las tierras dedicadas a caña de azúcar en Las Tunas en cada bloque cañero. Para este estudio. Se emplearon los criterios del Sistema de evaluación AGRO24, del Ministerio de la Agricultura, la unidad cartográfica del mapa nacional de suelos en escala 1:25000, los perfiles de suelos a él asociados y las precipitaciones medias anuales del territorio. Los principales factores edáficos que limitan el desarrollo del cultivo fueron la baja profundidad efectiva, la pedregosidad y el mal drenaje. Solo el 39 por ciento fueron tierras sumamente y moderadamente aptas, para las no aptas y marginalmente aptas se recomendó un conjunto de medidas. El hecho de dar otro destino productivo a las tierras no aptas significó un ahorro de $ 6 703988.30, para el Ministerio del Azúcar (MINAZ) que era el costo adicional de reposición anticipada de la caña de azúcar para un ciclo de siete años.

Palabras claves

Evaluación de tierras, factores limitantes, caña de azúcar

THE EVALUATION OF PHYSICAL APTITUDE OF THE LAND DEDICATED TO SUGAR CANE IN LAS TUNAS.

NILVA OSORIO PEÑA, SERGIO CASTRO PÉREZ, EDELMAR PUPO LABRADA, VICTOR TEJEDA MARRERO, LORENZO RODRÍGUEZ PABLO GUNDÍN MAREY, ENIVIS REYES PEREZ Y ELIA SAO PEÑA

Abstract. The productive aptitude of lands for sugarcane productions was evaluated in each block. This study was used in cartographic unit of the soil national map in scale 1:25 000, soil profiles associated and precipitations annual average. Depth effective, store quantity and had drainage were the principal problems only 39 percent of land is adequated for sugarcane production. For another areas uncapables was recomended a group of measuring a saving of 6 703988.30 was reached for Sugar Ministery caused for planting more early.

Key works. Sugar cane, lands aptitude, evaluation

Introducción

Gran parte de las tierras en el mundo han sido utilizadas sin estudios previos que muestren cuál es el tipo de uso más adecuado y cuál es el efecto ambiental de los diferentes usos. Muchos tipos de uso de la tierra, agrícolas o no, son hechos de forma y en lugares inadecuados, lo que ha resultado en pobreza, degradación ambiental y pérdida de los recursos naturales como suelo y agua. La mejor forma de uso de la tierra depende de las condiciones económicas, sociales, políticas y culturales, además de las características del suelo y su respuesta al uso (Streck, 1992).

Con el examen integral de los usos de la tierra, se puede lograr el equilibrio más eficaz y alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible, así como el desarrollo social y económico con la protección y el mejoramiento del medio ambiente.

Seleccionar su mejor uso posible de acuerdo con las características del suelo, así como la conservación de los recursos ambientales, es el principal objetivo de la Evaluación de la Aptitud de las Tierras que por primera vez se realiza en las áreas cañeras de Las Tunas. Esta evaluación constituye la base del proceso de diversificación que lleva a cabo el MINAZ y permite conocer a los productores cañeros el manejo de las tierras, las consecuencias de las prácticas actuales, las posibles mejoras a introducir y decidir otros usos para sus tierras.

Materiales y Métodos

Se empleó el procedimiento metodológico descrito por Balmaseda y Ponce de León (2000) en cada bloque cañero, pero limitada a la evaluación física por lo que es una primera aproximación de la aptitud de las tierras para el cultivo de la caña de azúcar. Además se utilizó el modelo de evaluación desarrollado por Mesa y Mesa (1993), constituido en el Sistema Automatizado AGRO24 para determinar las categorías de aptitud de las tierras. La información se adquirió, principalmente, del Mapa Nacional de Suelos en escala 1:25 000, y sus perfiles asociados, mientras las precipitaciones fueron tomadas de los pluviómetros instalados en los Complejos Agroindustriales de la provincia. Para la creación de la base de datos se empleó el sistema automatizado PreAgro24 (INICA, 2000)

Fue realizada una evaluación económica tomando como principio que cuando se dice que la tierra es físicamente no apta para el cultivo de la caña de azúcar se le está atribuyendo una cualidad negativa, desde este punto de vista que tiene un significado técnico en el hecho que el cultivo alcanza rendimientos muy bajos en las cosechas y la duración media de la cepa es inferior que cuando la caña se planta en suelos aptos. En el primer caso solo se pueden hacer tres cortes por ciclo de reposición y a veces solo dos mientras que en plantaciones normales se hacen cinco cortes y si la agrotecnia es buena y el clima favorable se pueden hacer más.

Resultados

El comportamiento de los principales factores edáficos que limitan el normal desarrollo de la caña de azúcar en la provincia se refleja en la figura 1. La baja profundidad efectiva afectaba el 52 por ciento de área evaluada y atribuible a los suelos Fersialíticos los que ocupan alrededor de un 15 por ciento de la superficie agrícola cañera de la provincia. Este factor tiene un efecto importante para el cultivo pues influye en su establecimiento, durabilidad de las cepas, reservas de humedad, contenido de nutrientes disponibles para la planta porque las raíces no pueden profundizar y explorar la masa de suelo. Según Humbert, (1965) los sistemas radicales profundos que se nutren de un mayor volumen de suelo sostienen un mayor tonelaje de caña, principalmente en períodos de seca.

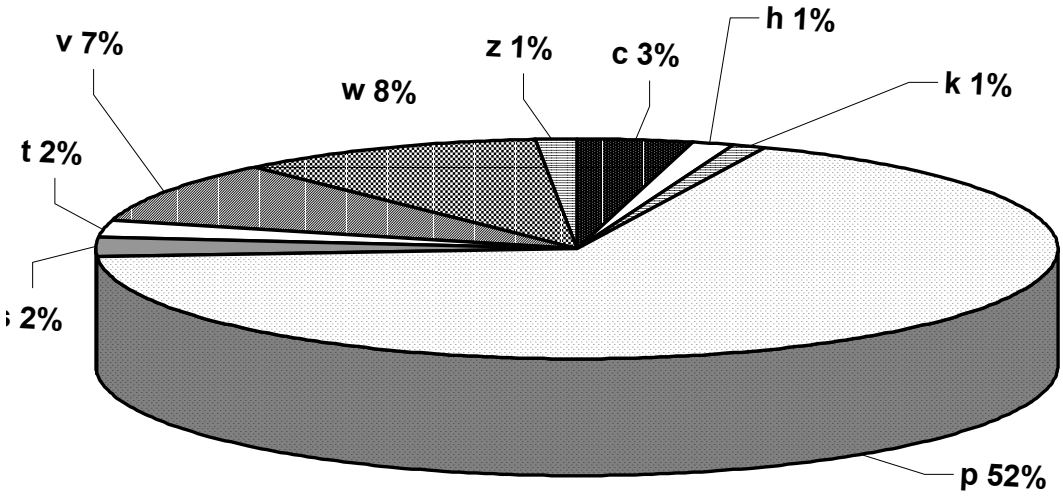


Fig. 1. Principales factores limitantes que afectan la producción de la caña de azúcar.

c: capacidad intercambio catiónico h: acidez k: compactación p: profundidad efectiva
s: salinidad t: pendiente v: drenaje w: pedregosidad z: rocosidad

El exceso de pedregosidad es el segundo factor en importancia pues afectaba el 8 por ciento del área también vinculado a los suelos Fersialíticos y los Pardos los cuales abarcan alrededor del 34 por ciento de la superficie dedicada a caña de azúcar. Según García et al, (2000) tanto la presencia de gravas como de piedras, limitan el volumen de suelo que exploran las raíces y a su vez constituyen un freno a su

penetración, sobre todo si los mantos pedregosos aparecen a poca profundidad lo que además dificulta la mecanización.

El mal drenaje (Fig. 1), afectaba el 7 por ciento de las tierras, vinculado a los suelos Oscuros plásticos que se ubican, principalmente, en la Zona Norte de la provincia y Sur de Majibacoa y que ocupan alrededor del 29 por ciento del área agrícola cañera. Dillewinjn, (1967) plantea que el mal drenaje se vincula con la disponibilidad de oxígeno para la respiración de las plantaciones, cuando el aire del suelo es sustituido por agua que provoca trastornos en el desarrollo del cultivo.

El porcentaje por categorías de la aptitud de las tierras, por cada empresa y la provincia se muestra en la figura 2. Las áreas aptas que podrían dedicarse para caña de azúcar ocupaban el 86 por ciento, lo cual supera el área actual que se dedicaba al cultivo. Esto significa que entre las áreas que se están dedicando a otros usos hay más aptas que las no aptas detectadas al evaluar las tierras que se están dedicando a dicho cultivo.

El 13 por ciento del total de fondo de tierra de las empresas no era apto para caña de azúcar y el 48 por ciento marginalmente apto, lo que implica que solo el 39 por ciento eran tierras sumamente y moderadamente aptas. Esto reafirma la necesidad de adoptar medidas agrotécnicas encaminadas a frenar el deterioro de dichos suelos por su continuo laboreo e introducir un sistema conservacionista como contribución a la defensa del medio ambiente.

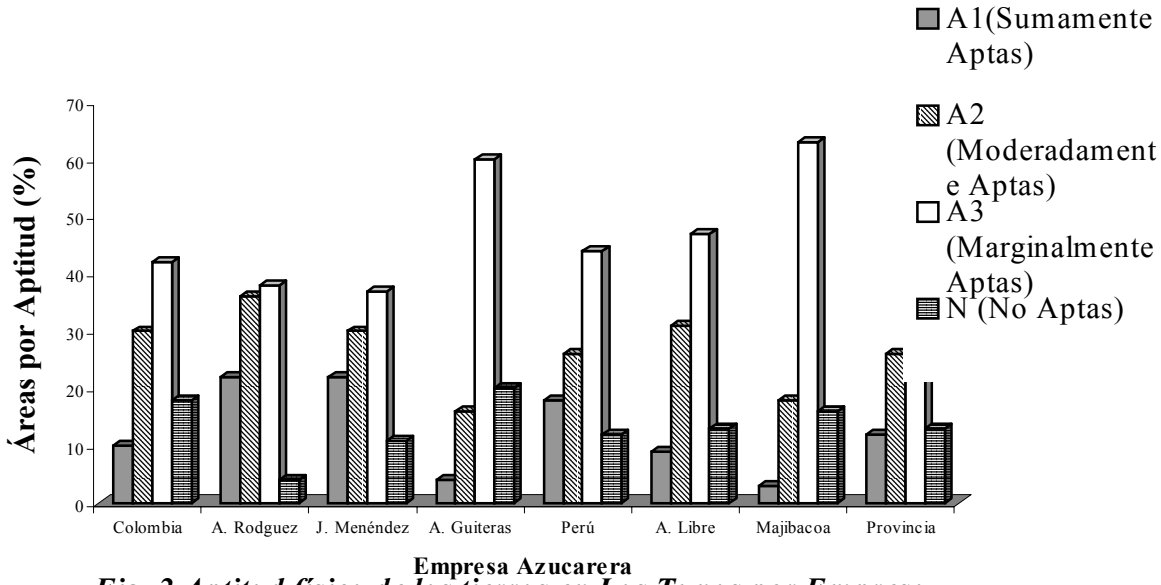


Fig. 2 Aptitud física de las tierras en Las Tunas por Empresa Azucarera

Cuando se evaluaron las tierras dedicadas a otros usos se encontró que el 12 por ciento no eran aptas para la caña de azúcar. En la tabla I se muestran las cifras de áreas por cada empresa azucarera y el total provincial las que pudieran calificarse de mal empleadas desde el enfoque de esta evaluación. Esto significa que si estas áreas se reordenan para su uso según su aptitud no se afectaría el balance provincial de tierras dedicadas a producir caña.

Tabla I. Resumen de áreas aptas con otro uso y de áreas no aptas con caña.

Empresas Azucareras	Apta con otro uso (ha)	No apta con caña (ha)
Colombia	1025.40	3001.10
A. Rodríguez	11482.40	663.30
J. Menéndez	2070.80	2519.80
A. Guiteras	2103.4	5619.40
Perú	3535.80	3080.50
A. Libre	316.20	3752.60
Majibacoa	565.70	2187.30
Provincia	21099.70	20824.00

En muchos casos el área no apta no corresponde al bloque completo, sino a porciones de bloques, por lo que conviene hacer un análisis de la organización territorial por cada empresa azucarera a la luz de estos resultados.

A partir de este trabajo los directivos de las empresas azucareras cuentan con los elementos necesarios para reorganizar sus áreas y ubicar la caña, que es su cultivo principal, en las mejores unidades de tierra y con esto incrementar sus rendimientos agrícolas. Además al conocer los factores edáficos que limitan el desarrollo del cultivo pueden aplicar tecnologías que posibiliten la recuperación y conservación de los suelos.

Según la FAO, (1990) una conservación del suelo bien planificada permite elecciones de uso de la tierra, mejora las prácticas agrícolas y la conservación de la humedad del suelo. Además posibilita aplicar medidas destinadas a incrementar la producción agrícola y a elevar de ese modo la capacidad de carga de la población de la tierra, a la vez que podrían crear oportunidades de empleo. Por tales razones y de acuerdo al factor limitante respectivo para cada unidad de tierra se hicieron las recomendaciones siguientes.

Para suelos con profundidad efectiva baja

- Utilización de variedades de caña de azúcar que se adapten a esta condición.
- Realizar labores sin inversión del prisma y en sentido perpendicular a la pendiente en zonas con topografía ondulada así como realizarlas con la humedad óptima para evitar la compactación.
- Empleo de abonos verdes y orgánicos y mantener la cobertura de paja.
- Aplicación de fertilizantes minerales de forma balanceada.
- Asegurar porcentajes altos de población.

Para suelos con problemas de salinidad

- Utilización de variedades de caña de azúcar resistentes a la salinidad.
- Realizar drenaje profundo y establecer sistemas de drenaje para evitar que se eleve el manto freático.
- Aplicar riegos que posibiliten el lavado de las sales.
- Utilización de abonos orgánicos y verdes.
- Realizar repoblación forestal.

Para suelos con problema de drenaje

- Utilización de variedades de caña de azúcar resistentes a esta condición.
- Realizar subsolación.y drenaje parcelario y soterrado.
- Aplicar riego racional en áreas irrigables.
- Realizar las labores de preparación de suelo sin humedad para evitar la compactación.
- Empleo de abonos verdes y orgánicos

Para suelos compactados

- Realizar las labores culturales con la humedad óptima.
- Utilización de la tracción animal.
- Realizar laboreo mínimo y localizado.
- Empleo de abonos orgánicos y verdes.
- Empleo del cultivo intercalado.

En la tabla II se presenta la evaluación económica desglosada por cada empresa azucarera. Si se consideran cinco cortes como media normal y tres para suelos no aptos, la reposición en estos últimos hay que hacerla 1.67 veces en comparación con los suelos aptos en un periodo de siete años. Si además el costo medio de la reposición $ 372.58 /ha, entonces cada ha de tierra no apta cuesta $ 622.21, o sea, $ 249.63/ha más que las tierras aptas. Durante muchos años han ocurrido estas pérdidas económicas por la falta de claridad que se ha logrado con la evaluación que se presenta en este trabajo.

Tabla II. Evaluación económica. Situación de la provincia desglosada por cada empresa.

Empresa Azucarera	Area No Apta (ha)	Costo adicional de reposición ($/ha)
Colombia	3079.70	76800.48
A. Rodríguez	1099.50	274468.18
Jesús Menéndez	2752.10	686991.74
Antonio Guiteras	9670.80	2414134.20
Perú	3642.50	909267.28

Argelia Libre	3861.50	963938.75
Majibacoa	2749.60	686387.64
Provincia	26855.70	6703988.30

El costo adicional de reposición (Tabla II), constituye íntegramente una pérdida real ($ 6703988.30), a la que se suman otras por los bajos rendimientos debido a la utilización de tierras no aptas y el mal manejo agrotécnico.

Conclusiones

- De acuerdo con la evaluación productiva de las tierras el 86 por ciento resultaron aptas, de ellas el 39 por ciento sumamente y moderadamente aptas. El 48 por ciento marginalmente aptas y no aptas el 13 por ciento.

- Cuando se evaluaron las tierras dedicadas a otros usos se detectó que el 12 por ciento otros usos eran aptas para la caña de azúcar.

- La profundidad efectiva, el mal drenaje y la pedregosidad son los factores que más limitan el desarrollo de caña de azúcar en la provincia.

- La evaluación realizada a cada unidad de tierra y sus factores limitantes para caña de azúcar constituye una vía importante para la toma de decisiones y el reordenamiento territorial en las unidades de producción y en las empresas azucareras.

- El costo adicional de reposición ($ 6703988.30) constituye íntegramente una pérdida, a la que se suman otras por los bajos rendimientos debido a la utilización de tierras no aptas y el mal manejo agrotécnico.

Recomendaciones

- Emplear las consideraciones tecnológicas correspondientes a cada tipo de suelo y utilizar los resultados del trabajo como base para el reordenamiento de las áreas del MINAZ.

Bibliografía

1. Balmaseda, C. y D. Ponce de León.(2000) Evaluación de la Aptitud de las Tierras dedicadas al cultivo de la Caña de Azúcar. Manual de Procedimientos. INICA. 54 .

2. Dillewinjn, C. Van (1967). Botánica de la caña de azúcar. Ed. Rev. Instit. Libro, La Habana: 275-334.

3. FAO (1990). Conservación de suelos para los pequeños agricultores en las zonas tropicales húmedas. Boletín de suelos 60. Roma, Italia. 96.

4. García del Risco E. y A. Vázquez (2000). Los suelos y fertilización de la caña de azúcar. INICA. Ciudad de La Habana, 11

5. Humbert, R. (1965). Manual para el cultivo de la caña de azúcar. Ed. Universitaria. Cuba. 565

6. INICA (2000). PreAgro24. Programa para la preparación de datos de entrada al AGRO24. Grupo de Evaluación de Tierras, INICA.

7. Mesa, A. y A. Mesa (1993), AGRO24. Sistema para el cálculo del potencial productivo de los suelos. Versión 4.0. Agrosoft, CNSF. MINAG.

8. Streck, H. (1992). Sistema de evaluación de la aptitud agrícola de las tierras. Internet.

PROPUESTA VARIETAL CON ADAPTABILIDAD MADURATIVA PARA INICIOS DE ZAFRA.

Yandi H. Estévez[1], Félix R. Díaz Mujica[1], Héctor García[1], Héctor Jorge[3], Rolando González[3], José R. Gómez[1], Osmany Aday[1], Luis Aguilera[1], María Manresa[1], Francisco Barroso[1], Sergio Guillen[2], Alberto Linares[2], Heriberto del Rio[2], Lisbet Rodríguez[1], Nicolás Fernández[1], Rigoberto M. García[1], José L. Pérez[1], Luis F. Machado[1], José Rosa[1], Susana Reyes[1], Ailyn Gallardo[1], Mario García[1], Roberto Álvarez[1], Iroel Rodríguez[1], Javier Barroso[1], Maritza Dueñas[1] , Miriam Melillo[1] y Ana R. Hernández[1].

1. ETICA Villa Clara –Cienfuegos. Autopista Nacional, Km 246, Ranchuelo, Villa Clara, Cuba. e-mail: fitomejoramiento@epica.vc.minaz.cu
2. Grupo Empresarial Agrícola. Villa Clara.
3. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar

RESUMEN

Para lograr las producciones altas que necesita hoy la economía cubana, la zafra azucarera debe extenderse de noviembre hasta abril, siendo los períodos extremos los más complejos, ya que pocas variedades responden a las exigencias de un alto contenido azucarero en el primer período de cosecha sin presentar deterioro por la floración. El presente trabajo constituye una solución a este problema, ya que las variedades SP70-1284, C86-12, Co997, C85-214 y B78505 han demostrado en los resultados de validación, ratificados por el escalado comercial, respondiendo positivamente a este ciclo de cosecha, en los distintos tipos de suelos cultivados las variedades SP70-1284 y C86-12, en Sialitizados y Ferralitizados cálcicos la Co997 y en Vertisuelos los genotipos C85-214 y B78505 igualando o superando a variedades comerciales como C1051-73, C87-51, C323-68 y CP52-43 en los principales indicadores agroazucareros y con un mejor cuadro fitosanitario al comportarse resistente a las principales plagas y enfermedades del cultivo, lo que ha posibilitado alcanzar en la actualidad más de 13 000 ha en las 13 Empresas de la provincia con una proyección de alcanzar más del 40% en la composición varietal lo que representaría más de 50 600.00 ha del territorio. Tomando la experiencia desarrollada en Villa Clara con estas variedades, se reproducen también en las provincias de Matanzas, Cienfuegos, Ciego de Ávila, Guantánamo y Camagüey. Además se trabaja con la incorporación de nuevos genotipos que muestran resultados satisfactorios para inicios de zafra en estudios experimentales y de extensión.

Palabras claves: Variedades, contenido azucarero

VARIETAL PROPOSAL WITH MATURING ADAPTABILITY FOR BEGINNINGS OF HARVEST.

ABSTRACT

To achieve high sugar productions, that Cuban economy needs today, sugar harvest should extend from November to April, being the extreme periods the most complex, since few varieties respond to the demands of a high sugar content in the first period of harvest without presenting deterioration due to flowering. The present work constitutes a solution to this problem, since the varieties SP70-1284, C86-12, Co997, C85-214 and B78505 are satisfactorily adapted to begin the harvest, demonstrated in the validation results, ratified by the commercial-scaled tests, responding positively to this crop cycle, in the different types of soils where

they were cultivated. They equaled or overcame the commercial varieties in the main agricultuaral and sugar indexes and they were more resistant to the main pests and diseases. Taking into account the experience developed in Villa Clara with these varieties, they are also reproduced in the counties of Matanzas, Cienfuegos, Ciego Ávila, Guantánamo and Camagüey. Besides that we are working with the incorporation of new genotypes that show satisfactory results for beginning the crop season in experimental studies and of extension.
Key wods*:* Varieties, sugar content

Introducción:

En los últimos años, caracterizados por una situación económica desfavorable, ha ocurrido una sensible reducción de la producción azucarera, la cual reportó una caída de más del 60% entre los años 1993 y 1995, en comparación con 1992 (Díaz, 1996). Este sector se ha visto afectado por: un incremento de los costos de producción, lógicas implicaciones del reordenamiento de sus exportaciones, y desfavorables precios del mercado mundial.

El empleo comercial de nuevas variedades con elevado contenido azucarero y adaptadas a diferentes momentos de cosecha, ofrece la posibilidad de obtener éxitos económicos en este sentido. Es conocido que la liberación de variedades con mayor potencial azucarero para los diferentes períodos de zafra permite la producción adicional de azúcar, utilizando para ello igual volumen de materia prima. También se posibilita extender el período de zafra y por tanto una mayor utilización de la capacidad industrial instalada y explotación de toda la infraestructura agrícola disponible. Gálvez (1992) se refirió a la insuficiencia de genotipos para iniciar zafra en la estructura de variedades y propuso un programa integral de mejoramiento genético para enfrentar este grave problema.

Para maximizar los beneficios económicos en la producción de azúcar, es preciso contar con una estructura de variedades que permita el establecimiento de una estrategia de cosecha y capaz de asegurar materia prima de elevada calidad en los diferentes períodos de zafra.

Resultados y Discusión

Características botánicas y agroproductivas de la variedad SP70-1284

Variedad: SP70-1284

Progenitores: CB41-76 X Desconocido

Presenta tallos de color morado con matices amarillos de 2.6 cm de diámetro y una longitud de 279.6 cm. Los entrenudos son de forma conoidal de 11 cm de largo, las yemas ovaladas de tamaño normal que no llegan a tocar el anillo de crecimiento. La población en el momento de la cosecha puede oscilar entre 10-11 tallos por metro lineal. La vaina es de color violáceo con una longitud de 32 cm y un ancho de 5 cm**,** presenta pocas espinas, la lígula es deltoidea y las aurículas dentoidea. El limbo es de color verde normal con 5-6 hojas activas de 125 cm de largo y 5 cm de ancho. Su brotación es buena, tiene un rápido cierre de campo, hábito de crecimiento oblicuo y un despaje regular. No florece y su contenido de fibra oscila entre 12,5 – 13 %. Es una variedad de amplia adaptabilidad, que se enmarca desde las condiciones más restringidas por el estrés hidromórfico (mal drenaje o secantes), hasta los más productivos. No requiere de alto régimen pluviométrico. Su dinámica de maduración le permite ser cosechada desde el primer período en plantaciones de ciclo largo con buen comportamiento hasta finales de zafra.(Figura 1)

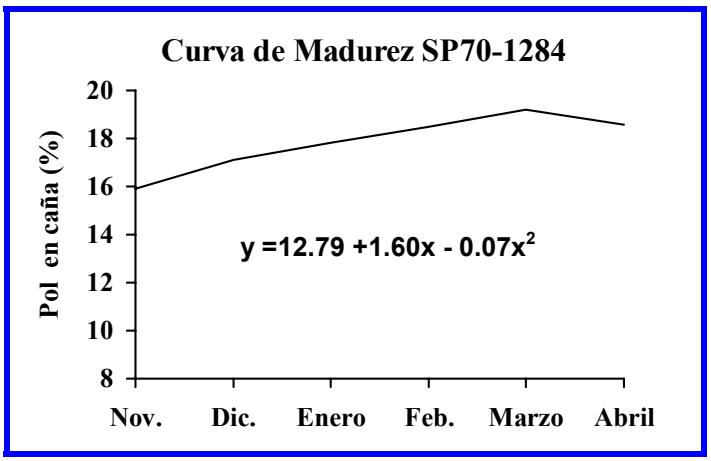


Figura 1. Dinámica del contenido azucarero

<u>Principales resultados de los estudios replicados y de validación comercial</u>

Resultados en los suelos Oscuros plásticos

En todas las cosechas efectuadas SP70-1284 se comportó similar a las variedades comerciales, en rendimiento en caña y en contenido azucarero, tanto en Primavera de ciclo largo (PCL), a inicios de zafra, como en Frío y en retoños. Por tales motivos se prevé la estrategia de que pueda sustituir a Ja60-5 y alcanzar alrededor de un 10% en la composición de variedades de la llanura costera del norte de las provincias Villa Clara, Santic Spíritus y Ciego de Ávila.

Resultados en los suelos Pardos con carbonatos.

Los resultados, tanto en los estudios replicados como de validación comercial, demostraron que en estos suelos esta variedad puede desarrollarse sin limitación, permitiendo su manejo como primavera de ciclo largo (PCL) para ser cosechada en el primer período de zafra, logrando volúmenes razonables de C1051-73, C87-51 y C86-12 en estas áreas.

- **Resultados de los suelos Pardos sin carbonatos.**

En estos suelos se demostró que puede competir con C87-51, ratificando su alto contenido azucarero en el primer período de zafra. Se corroboró que pueden lograrse resultados superiores con la explotación de SP70-1284, con mayor contenido azucarero que C266-70.

Al cierre del 2002 esta variedad ocupaba 2 889.59 ha, que representa el 3.66 % del área de la provincia, se prevé mediante el proyecto de variedades (SERVAS) su crecimiento paulatino hasta llegar a ocupar aproximadamente el 20 % del área plantada en el territorio.

Variedad	2002	%	2003	%	2004	%	2005	%	2006	%	Proyecto (%)
SP70-1284	5180.25	4.31	13087.59	9.70	17486.39	12.61	20132.68	14.30	22879.22	16.06	**19.19**

Características botánicas y agroproductivas de la variedad C86-12

Variedad: C86-12

Progenitores: Desconocidos
El tallo es morado con visos amarillentos, contenido de cera regular, entrenudos tienen forma Tumescente y la yemas son ovaladas. Buena calidad interna del tallo y ausencia de corcho. Se recomienda su plantación en suelos Aluviales, Gleyzados Ferralitizados y Sialitizados cálcicos, tanto en primavera (Marzo – Junio) para cosechar quedada en Diciembre o Enero con edad de 21-22 meses. De alto rendimiento agrícola y excelente contenido azucarero. Buena germinación, hábito de crecimiento erecto a ligeramente abierto, cierre de campo temprano, despaje regular, en algunos lugares florece hasta un 8%, buen retoñamiento, población de 12 a 14 tallos por metro. La variedad C86-12 es resistente al VMCA, moderadamente resistente a la roya y resistente al carbón.

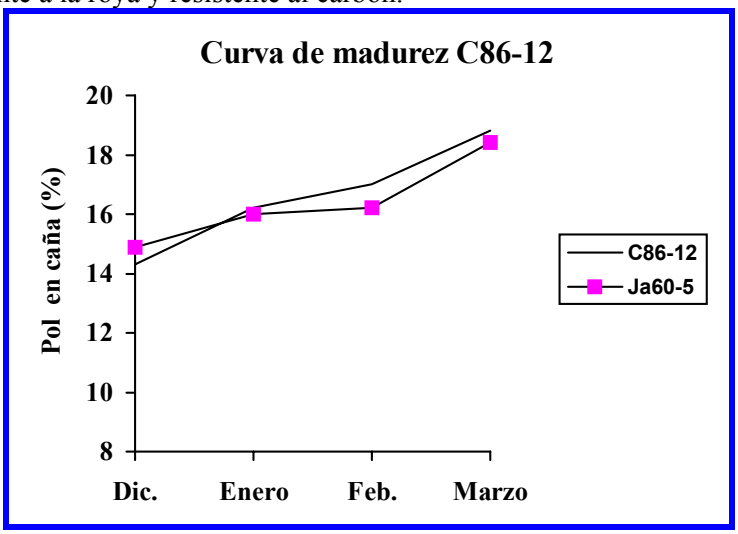


Figura 2. Dinámica del contenido azucarero de la variedad C86-12.

Al cierre del 2002 la variedad C86-12 ocupaba 868.95 ha en la provincia fundamentalmente toda el área plantada es para semilla, lo que permitirá su crecimiento acelerado a partir del 2003, llegando a ocupar entre un 15 – 20 % de la composición varietal de la provincia.

Variedad.	2002	%	2003	%	2004	%	2005	%	2006	%	Proyecto (%)
C86-12	868.95	0.72	4384.31	3.25	8796.27	6.34	14064.03	9.09	17937.98	12.59	**16.92**

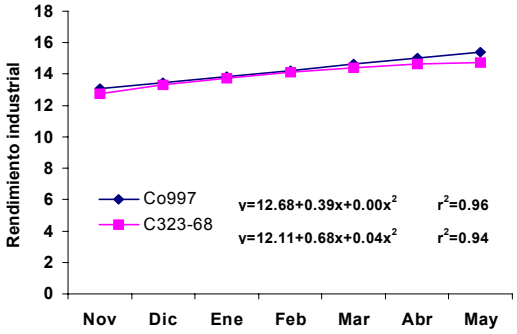
Características botánicas y agroproductivas de la variedad Co997

Progenitores: Co663 x C63-32
Presenta tallos de color verde con ligeros visos amarillentos de 2.8 **cm** de diámetro y una longitud de 280 **cm.** Entrenudos de forma obconoidal sin rajaduras de crecimiento, yemas ovadas separada de la cicatriz foliar. La vaina es de color verde normal con una longitud de 32.4 **cm** y un ancho de 13.4 **cm,** presenta pocas espinas, lígula en forma de cuarto creciente y la aurícula externa transicional y la interna lanceolada, *dewlap* triangular. El limbo es de color verde normal 162 **cm** de largo y 5.6 **cm** de ancho.

Brotación excelente, rápido cierre de campo debido a su peculiar desarrollo inicial. Hábito de crecimiento oblicuo y un despaje regular. La población en el momento de la cosecha puede oscilar entre 12-14 tallos por metro lineal. No florece y su contenido de fibra oscila entre 12,5 – 13 %.
Posee un alto contenido azucarero similar al testigo Ja60-5, apropiada para comenzar zafras por su madurez temprana y sostenida. No se recomienda para condiciones de estrés hidromórfico, adaptándose bien a los suelos Sialitizados (cálcicos y no cálcicos) y los Ferralitizados cálcicos donde ha superado o igualado a variedades como C323-68 y CP52-43 en condiciones agroecológicas diferenciadas del centro y sur de la provincia. Su cuadro fitosanitario ha sido satisfactorio, toda vez que presenta marcada resistencia a las dos principales enfermedades, Roya ***(Puccinia melanocephala, H. and P. Sydow)*** y al Carbón ***(Ustilago scitaminea, Sydow)*** tanto en condiciones naturales de campo como en pruebas artificiales estatales.
Su rendimiento agrícola a escala de producción supera a la variedad C323-68 cosechada en el primer periodo de zafra, incluso cuando esta ha sido tratada con maduradores, con mayor la resistencia a las patologías. Los mejores resultados productivos se han obtenido en plantaciones de frío y primaveras de ciclo corto.

Variedad	2002	%	2003	%	2004	%	2005	%	2006	%	Proyecto(%)
Co997	4739.14	3.94	4074.85	3.02	3627.29	2.62	3428.54	2.44	2856.58	2.01	**2.36**

Esta variedad ocupa al cierre del 2002 el 4.28 % del área y se proyecta manejarla hasta un 5 % de acuerdo a sus características productivas.



C Figura 3. Comportamiento industrial en áreas comerciales

Progenitores: C152-70 x C334-64
Variedad obtenida bajo las condiciones edafoclimáticas de la costa norte de la provincia. Presenta una brotación regular, hábito de crecimiento erecto, cierre de campo temprano, despaje bueno, no florece, buen retoñamiento, población de 10-11 tallos molibles por metro, contenido de fibra de 12-13%. Se adapta a suelos de mal drenaje, donde se han encontrado resultados muy favorables para este tipo de condiciones. Presenta alto rendimiento agrícola y aceptable contenido azucarero desde inicios de zafra hasta finales (Figura 4). Resistente a los herbicidas, VMCA, roya y carbón en las pruebas estatales, en lugares de alta fuente de inóculo (costa norte) y condiciones favorables para la enfermedad se ha observado afectada por el carbón. Esta variedad en fase de extensión, está llamada a jugar un importante papel en la sustitución de Ja60-5 en la costa norte de la provincia. Se proyecta que ocupe el 5 - 8% del área con posibilidades de incrementarse.

Variedad	2002	%	2003	%	2004	%	2005	%	2006	%	Proyecto(%)
C85-214	1304.42	1.08	1813.58	1.35	1916.51	1.38	2261.00	1.61	2512.76	1.76	**2.14**

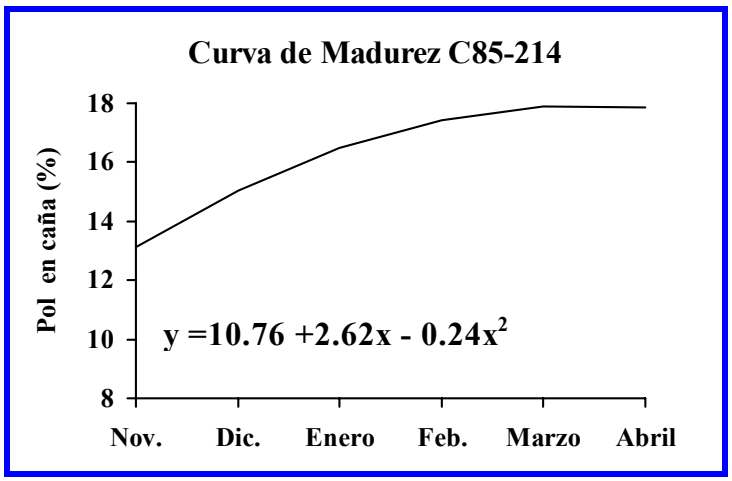


Figura 4. Dinámica del contenido azucarero de la variedad C85-214

<u>Características botánicas y agroproductivas de la variedad B78505</u>

Progenitores: Desconocidos

Presenta tallos de color morado con visos de color amarillento de 2.8 cm de diámetro y longitud de 280 cm como promedio, los entrenudos son de forma conoidal dispuestos en un ligero zig-zag de 12 cm de largo, yema triangular de tamaño normal que sobrepasan el anillo de crecimiento con un canal de la yema visible que sirve como elemento identificador. Vaina de color verde con ligeros visos morados, carece de espinas, lígula en forma de cuarto creciente y aurícula externa transicional y la interna lanceolada. El limbo es de color verde intenso con 9-10 hojas activas, su brotación es buena, cierre de campo temprano, habito de crecimiento ligeramente abierto y despaje regular. La población en el momento de la cosecha puede oscilar entre 11-12 tallos molibles/m. No florece y su contenido de fibra oscila entre 12.5-13.5 %.

En el contenido azucarero se pudo observar que es similar al testigo Ja60-5 en la cepas de caña planta y retoños comportándose de igual forma con la SP70-1284 (Figura 5). En la producción de azúcar por área se aprecian valores similares al testigo Ja60-5 en la cepa de caña planta, superando a la misma en la fase de retoños como se observa en la figura 3, al ser comparada con la SP70-1284 se pudo apreciar que presenta valores superiores a la misma en las cepas de caña planta y primer retoño no siendo así en el segundo retoño donde fueron similares, lo cual permite tener una variedad más a manejar como primavera de ciclo largo y ser cosechada desde el primer periodo de zafra hasta finales de la misma.

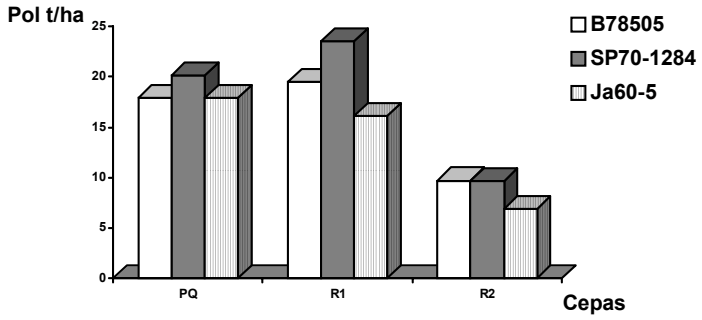


Figura 7. Comportamiento azucarero de B78505.

El comportamiento de la dinámica del pol en caña arrojó que la B78505 parte de valores similares a la Ja60-5 durante todo el ciclo por lo que se presenta como una variedad de maduración temprana y sostenida.
La variedad B78505 ocupa en la provincia el 1.7% del área plantada, y se proyecta crecer significativamente con ella en la zona de la Costa Norte hasta llegar a ocupar entre un 10-15 %.

Variedad	2002	%	2003	%	2004	%	2005	%	2006	%	Proyecto(%)
B78505	1582.35	1.32	2570.47	1.91	2700.24	1.95	4132.96	2.94	4419.61	3.10	**3.86**

Valoración económica:

Resultados encontrados en investigaciones realizadas por el Grupo de Fitomejoramiento de la ETICA Villa Clara-Cienfuegos informan que pueden lograrse incrementos entre 0.3 y 0.7 $t.ha^{-1}$ de azúcar cuando las variedades son correctamente manejadas y enmarcadas en los ciclos óptimos de plantación y cosecha contra su uso anárquico.
Se parte para este análisis de un incremento de 0.3 $t.ha^{-1}$ de azúcar como valor mínimo, motivado por el manejo correcto de las 5 nuevas variedades con características madurativas a inicios de zafras en la provincia de Villa Clara. Los análisis están realizados para el área que ocupa cada variedad en la provincia con cierre Dic./31 de 2002 (Tarea Álvaro Reynoso), la cual debe irse incrementando por año según disponibilidad de semilla, por lo que se consideran cálculos conservadores. De igual forma se toma como área a zafra solamente el 50 % del total, siendo mayor para muchas variedades.

Bases para el cálculo:

- Incremento promedio en azúcar tomado para el cálculo: 0.3 $t.ha^{-1}$
- Área a moler anual: 50 %
- Rendimiento agrícola promedio provincial: 40 $t.ha^{-1}$
- Rendimiento industrial promedio provincial: 10.5 %
- Valor actual de la tonelada de azúcar: 155.00 USD.

Variedad: SP70-1284

- Área a moler anual: 2 590.13 ha
- Producción agrícola total: 2 590.13 ha * 40 $t.ha^{-1}$ = 103 605.00 t.
- Producción azúcar: (103 605.00 t * 10.5)/100 = 10 878.53 t de azúcar.
- Incremento sobre la base de un aumento de 0.3 $t.ha^{-1}$ de azúcar: (103 605.00 t * 10.8)/100 =11 189.34 t.
- Incremento: 11 189.34 t – 10 878.53 t = **310.81 t.**
- Valor del incremento: 310.81 t * 155.00 USD = **48 175.55 USD**.

Variedad: C86-12

- Área a moler anual: 434.48ha
- Producción agrícola total: 434.48 ha * 40 $t.ha^{-1}$ = 17 379.20 t.
- Producción azúcar: (17 379.20 t * 10.5)/100 = 1 824.82 t de azúcar.
- Incremento sobre la base de un aumento de 0.3 $t.ha^{-1}$ de azúcar: (17 379.20 t * 10.8)/100 = 1 876.95 t.
- Incremento: 1 876.95 t – 1 824.82 t = **52.13 t.**
- Valor del incremento: 52.13 t * 155.00 USD = **8 080.15 USD.**

Variedad: Co997

- Área a moler anual: 2 369.57 ha
- Producción agrícola total: 2 369.57 ha * 40 $t.ha^{-1}$ = 94 782.80 t.

- Producción azúcar: (94 782.80 t * 10.5)/100 = 9 952.19 t de azúcar.
- Incremento sobre la base de un aumento de 0.3 $t.ha^{-1}$ de azúcar: (94 782.80 t * 10.8)/100 =10 236.54 t.
- Incremento: 10 236.54 t – 9 952.19 t = **284.35 t.**
- Valor del incremento: 284.35 t * 155.00 USD = **44 074.25 USD.**

Variedad: C85-214

- Área a moler anual: 652.21 ha
- Producción agrícola total: 652.21 ha * 40 $t.ha^{-1}$ = 26 088.40 t.
- Producción azúcar: (26 088.40 t * 10.5)/100 = 2 739.28 t de azúcar.
- Incremento sobre la base de un aumento de 0.3 $t.ha^{-1}$ de azúcar: (26 088.40 t * 10.8)/100 = 2 817.55 t.
- Incremento: 2 817.55 t – 2 739.28 t = **78.27 t.**
- Valor del incremento: 78.27 t * 155.00 USD = **12 131.42 USD.**

Variedad: B78505

- Área a moler anual: 791.18 ha
- Producción agrícola total: 791.18 ha * 40 $t.ha^{-1}$ = 31 647.00 t.
- Producción azúcar: (31 647.00 t * 10.5)/100 = 3 322.94 t de azúcar.
- Incremento sobre la base de un aumento de 0.3 $t.ha^{-1}$ de azúcar: (31 647.00 t * 10.8)/100 =3 417.88 t.
- Incremento: 3 417.88 t – 3 322.94 t = **94.94 t.**
- Valor del incremento: 94.94 t * 155.00 USD = **14 715.08 USD.**

Comentario:

Como puede apreciarse según cálculos conservadores ya que el área a zafra puede ir incrementándose hasta un 68 -72 % e ira en ascenso cada año el área plantada de cada variedad, se alcanzan incrementos totales de 820.50 t de azúcar, que importan al precio actual del azúcar 127 177.50 USD, por concepto del manejo correcto de las variedades y por su expresión genética de alto contenido azucarero a inicios de zafras, que por consiguiente, posibilita extender el período de cosecha y por tanto una mayor utilización de la capacidad industrial instalada y explotación de toda la infraestructura agrícola disponible.

Además la introducción de variedades de madurez temprana producto de su expresión genética, permite la conservación del medio ambiente y a un ahorro por no utilizar maduradores químicos.

Conclusiones:

- Se recomiendan 5 nuevas variedades de alto rendimiento agrícola e industrial a inicios de zafras y de resistencia a las principales plagas y enfermedades que atacan al cultivo.
- Los genotipos SP70-1284 y C86-12 se recomiendan para suelos Ferralíticos, Pardos y Oscuros Plásticos, adaptándose a cualquier ciclo de plantación y cosecha.
- Los Genotipos C85-214 y B78505 se recomiendan para suelos Oscuros plásticos enmarcándose su plantación de Enero – Abril, para ser cosechadas a inicios de zafra como primaveras de ciclo largo o del año.

Bibliografía:

- Alfonso, Isabel. 1996. Roya de la Caña de Azúcar un peligro latente para la agricultura cañera. Cuba & Caña, No. 3: 9-12.
- Darías M. y Carrazana L.: "Informe sobre evaluación industrial de variedades de caña en la Planta Piloto Azucarera", Universidad Central de las Villas, 1991.
- Díaz Mujica, F.R; H. García; L. Aguilera (2000). Variedad de caña de azúcar que aporta soluciones para la producción comercial cubana. Memoria XII Seminario Científicadel INCA : 144.

- Díaz Mujica, F.R. et al. Contribución económica e impacto ambiental de la recomendación, sustitución, manejo y protección fitosanitaria de las variedades de Caña de Azúcar en la provincia de Villa Clara. Premio CITMA Provincial 2002.
- García, H. et al. Clasificación de variedades por su contenido azucarero para su ubicación y manejo. Cuba & Caña (2002) Pag.2-4.
- González, R. 1996. Estimación de pérdidas y medidas alternativas para el control del Carbón en la Caña de Azúcar. Cuba & Caña , No. 2:14-18.
- González, R. Y colectivo de autores, 2001. Contribución al conocimiento y manejo de las variedades de caña de azúcar.
- Machado, O., A. Gutiérrez y Marilys López. 1995. Resistencia de variedades destacadas a diferentes períodos de inundación. XI Forum de Ciencia y Técnica.
- Recent Developments in the Sugar Industry, Int. Sugar JNL., 2001, Vol. 103, No. 12

LA EXTENSIÓN AGRÍCOLA, PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS TUNAS EN CANA DE AZUCAR

EDELMAR PUPO LABRADA, VÍCTOR M. TEJEDA MARRERO, ELIA SAO PEÑA, MORAIMA GUZMÁN ROMÁN, LORENZO RODRÍGUEZ ESTRADA, SERGIO CASTRO PERÉZ, NILVA OSORIO PEÑA, PABLO QUNTIN MAREY, EULALIO FARIAS RAMÍREZ, ERNESTO FONSECA SALAZAR, ENIVIS REYES PÉREZ, HERIBERTO DOMÍNGUEZ SALAZAR, REYNIER PEÑA PÉREZ.

Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), EPICA Las Tunas.
E-mail: pupo@epica.ltunas.inf.cu

RESUMEN: En este trabajo se exponen las principales acciones y resultados logrados en el territorio de Las Tunas por la aplicación del sistema de extensión agrícola para el cultivo de la caña de azúcar en el año 2002, implementado y conducido por la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), mediante el uso de técnicas participativas y métodos de extensión dirigidos al productor cañero, lo cual permitió la introducción acelerada de las nuevas tecnologías de preparación de suelos en 2995 ha, introducción en 2425 ha el programa de control integral de malezas, la plantación de 3412 ha con las nuevas variedades de caña de azúcar, se produjeron 180 toneladas de compost, entre otros resultados, además se capacitó al 100 porciento de los técnicos de las unidades de producción de toda la provincia, se realizaron 110 días de campo y se proyectaron 196 videos de diferentes temáticas con el móvil de extensión.

Palabras claves: Extensión Rural, Métodos de Extensión, Caña de Azúcar, Tecnología de Suelo

ADSTRAT

THE AGRICULTURAL EXTENSIÓN, PRINCIPALS RESULTS ODTAINED IN SUGAR CANE IN LAS TUNAS PROVINCE.

The principal actions and results obtained with the application of agricultural extension system in sugar cane in Las Tunas province are exposed in this work, this system has been implemented by sugar cane experimental station across the use of method and participative extension technical addressed to sugar cane producers. The implementation of the agricultural extension permitted the rapid introduction of new technologies for soil preparation with than 2995 ha that represent 97 % of the area bead in 2425 ha was introduced the a integral program for undesirable crops, was produced and applied 180 t of compost. The level of knowledge of the producer was increased of technical from the sugar cane unit received courses in different technical topics. More than 110 fields days was organized and 196 videos of different thematic refereed to sugar cane crop.

Key woks: Rural extension, Sugar cane, Sugar cane farmer, Extension methods, Soil technology

INTRODUCCIÓN.

La extensión agrícola para el cultivo de la caña de azúcar implementado y conducido por la Estación Provincial de Investigación de la Caña de Azúcar (EPICA), es el proceso mediante el cual los resultados científicos técnicos son llevados al productor para su adopción, además de corregir las técnicas incorrectamente aplicadas (Zumeta V, et al., 2002), es realizada por primera ves en esta provincia, y tiene como objetivo elevar los rendimientos agrícolas recuperando los volúmenes de producción con menos

dependencia de recursos materiales y menores costos, que permitan la sostenibilidad económica del sector y con ello el aumento de la calidad de vida de trabajadores y familiares.

Se platea que una de las vías fundamentales para incrementar los rendimientos agrícolas y lograr la sostenibilidad es hacer mejores las cosas como primer orden, la introducción de nuevas tecnologías y adopción de otras prácticas que por diferentes razones no se aplican, en segundo orden, constituye para el sistema la herramienta de trabajo fundamental, cuyo escenario de trabajo son nuestros productores cañeros.

El sistema de extensión agrícola es rectora de otras actividades fundamentales entre las que se destacan, la capacitación al productor, los servicios científicos técnicos, la asistencia técnica, la innovación tecnológica, la transferencia de tecnologías y la divulgación realizada y conducida mediante técnicas y métodos participativos

Es objetivo de este trabajo dar a conocer las principales acciones y resultados que en materia de extensión agrícola se han alcanzado en la provincia Las Tunas durante el año 2002.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de extensión agrícola encuentra su escenario en la provincia en 5 Empresas Azucareras y 2 Agropecuarias con 154 Unidades de Producción agrupadas en diferentes estructuras administrativas (UBPC, CPA, Granjas y CCS).

Como punto de partida para desarrollar el sistema de extensión agrícola se empleo la metodología del Diagnóstico Rápido Participativo (DRP), (March E, Socarras A., 2000), y consiste en determinar todos aquellos factores técnicos-productivos que limitan la producción, conociendo sus causas y sus posibles soluciones.

Esto se realizó con la confección de una guía de entrevistas que fue realizada de forma individual y colectiva a dirigentes, técnicos y trabajadores de las unidades, una ves conociendo las principales limitantes se elaboró el planeamiento estratégico que se desarrolló con la aplicación de las técnicas y métodos de extensión , estos fueron :

- Días de campo, que consistió en demostrarle a los productores como hacer bien las cosas con tecnologías conocidas y enseñarles nuevas tecnologías y su manejo.
- Montaje de parcelas demostrativas, se realizaron para demostrar el comportamiento de tecnologías existentes, comparándola con las nuevas, en condiciones edafoclimáticas similares y así acelerar su introducción.
- Divulgación de resultados científicos técnicos.
- Se Realizaron cursos y/o conferencias, seminarios, desarrollo de talleres y/o exposiciones.
- Proyección mediante el móvil de extensión de videos técnicos y/o materiales instructivos.

Estas y otras actividades desarrolladas por los extensionistas junto a los productores constituyeron las herramientas de trabajo fundamentales para obtener los resultados que se presentan a continuación.

RESULTADO Y DISCUSIÓN.

Dada la aplicación de esta técnica de extensión, que constituye la herramienta fundamental para lograr la introducción de los resultados científicos-técnicos en la producción en aras de resolver las limitantes técnico productivas que influyeron en el buen manejo de la agrotecnia del cultivo de la caña de azúcar, se realizaron las siguientes acciones en materia de extensión agrícola que constituye un resultado importante para alcanzar las 54 t/ha de rendimiento en este cultivo en la provincia Las Tunas.

El desarrollo de 110 días de campo al nivel de complejo y unidades de producción en los que se demostraron el uso y/o ventajas de variedades y tecnologías como fueron:

- Características y manejo de las nuevas variedades en extensión C: 128-83, C: 137-81, C: 90-530, C: 90-501, C: 86-12, C: 86-502, C: 85-102, C: 85-403, C: 86-533, C: 86-503, C: 82-105, B: 80250 y la variedad tunera C: 86-406.
- El uso de las nuevas tecnologías de preparación de suelos con los implementos C- 101, MAU- 250 y SP- 320, descripción del proceso tecnológico y características técnicas-explotativas de los mismos, así como de las tecnologías tradicionales empleadas en la provincia.
- El uso de técnicas conservacionista y sostenibles de mejoramiento de suelos (cobertura de paja, rotación y/o intercalamiento de leguminosas como el fríjol, soja, etc.; aplicación de abonos orgánicos como la cachaza, el compost, entre otros)
- El uso de las técnicas de cultivos (la fertilización mineral con el F-350 a ambos lados de la cepa, la descompactación a 1.10 y 1.60, control de malezas con métodos manuales, químicos y mecanizados).
- Las plagas y enfermedades de la caña de azúcar y métodos para su control, y la aplicación del servicio fitopatológico SEFIT.
- El uso de nuevas técnicas de riego (riego por goteo, los sistemas tradicionales de riego existente, su explotación y uso, así como el uso de los residuales como alternativa de riego.
- La estrategia, programación y cosecha de la caña de azúcar y el uso de maduradores y otros bioestimuladores de crecimiento y maduración, como el ENERPLANT.
- Organización de los pelotones de cosecha, pérdidas en cosecha y optimización del transporte.

Además como resultado del cambio de objeto social de dos de nuestros complejos se realizaron días de campo sobre manejo de los cultivos varios, yuca, boniato, maíz, fríjol y hortalizas.

Se desarrollaron 14 cursos a productores y especialistas específicamente del área agrícola, se impartieron 258 conferencias y seminarios en el que participaron más de 3000 productores de la base, además comenzaron a funcionar en las unidades de producción las aulas integrales de capacitación y se logró la capacitación integral de los 236 jefes de área de las unidades de producción y a 46 especialistas en cursos especiales de superación.

La divulgación, en su papel de difundir los resultados científicos técnicos se materializó con la realización de 5 entrevistas, se entregó 1 afiche y se proyectaron 196 videos de las variadas temáticas de interés para los productores.

- Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE), Tecnología CERES para la producción del compost, Laboreo localizado con el C-101, Bondades de la caña de azúcar, Capacitación Integral, Extensión agrícola, Pago por resultado, Vinculación del hombre al área, Huertos intensivos, Siembra directa a través del sistema yema a yema, Control, del marabú y aroma, Resultado del pastoreo por cuartones, Diferentes pastos y forrajes para la alimentación ganadera, Selección de semillas del arroz y producción arrocera en los movimientos populares.

Fueron confeccionados 24 plegables sobre las principales actividades del cultivo de la caña de azúcar, variedades, preparación de suelo, fertilización por el SERFE, control de plagas y enfermedades, producción de Semilla Categorizada, nuevos maduradores para la caña de azúcar, el pago por resultado, sistemas de riego, estrategia de corte, entre otros.

Otra acción realizada muy importante, fue el montaje de 51 parcelas demostrativas donde se demostraron los resultados científicos técnicos que se encuentran en etapa de extensión, otras sobre generalización y de los servicios científicos técnicos. Entre los resultados más importantes demostrados se encuentran:

- El uso de diferentes métodos de siembra
- Intercalamiento con fríjol
- Nuevas variedades.
- Fertilización por recomendaciones del SERFE
- Preparación de suelo con nuevas tecnologías (C-101, MAU-250)
- Empleo de la cobertura de paja
- Perdidas en cosecha

La combinación de todas estas acciones dieron lugar a que en la provincia se extendieran y/o generalizaran los siguientes resultados.

- ⇨ Realización de 2995 ha con las nuevas tecnologías de preparación de suelos, destacando que solo con la aplicación de una de ellas (la del C-101) en 1379 ha se tiene un impacto económico por concepto de ahorro de dinero de 53 mil pesos y 57.7 t de combustible, además el efecto de conservación de los suelos que posee al no invertirse el prisma de suelo con lo que se reduce la erosión y degradación de estos.
- ⇨ Se introdujo el programa de control integral de maleza en 24235 ha que posibilita un mejor uso de los recursos disponibles.
- ⇨ Se plantaron 41058.1 ha, con las nuevas variedades, 9225.49 ha más que en el 2001, que representa el 27.9 porciento del total de área plantada, mejorando la composición varietal de la provincia que proporciona la reducción de otras variedades susceptibles a plagas y enfermedades.
- ⇨ Se protegió contra el efecto de erosión y degradación y mejorando la fertilidad del suelo a 3200 ha con el empleo de la cobertura de paja.
- ⇨ Fue posible la producción de 180 t de compost a partir de los residuos de la agroindustria azucarera, que permite la sustitución de fertilizantes químicos.
- ⇨ Se aplico el fertirriego con aguas residuales del ingenio en 270 ha.
- ⇨ Se empleo el SERFE para la fertilización de la caña de azúcar proporcionó un mejor manejo de los fertilizantes.
- ⇨ La introducción de las nuevas variedades y la organización de la estrategia varietal se realizó con el empleo del Servicio de Recomendaciones de Variedades y Semillas (SERVAS), con lo que se aumentan, una vez establecido en todas la áreas cañeras, los rendimientos alrededor del 12 porciento.
- ⇨ La aplicación del Nuevo Bioestimulador de crecimiento ecológico ENERPLANT en 4 Empresas Azucareras, a un Área de 729.15 ha, que incrementó los rendimientos en 7.8 t/ha como promedio.

De gran importancia constituye este Sistema de Extensión Agrícola para el Cultivo de la Caña de Azúcar al permitir monitorear, controlar la aplicación de los servicios científicos técnicos, así como incrementar la introducción y mejorar el manejo y explotación de las nuevas tecnologías que se aplican y que se encuentran en fase de extensión o generalización. Tan solo citar un ejemplo, el empleo de laboreo localizado con el C-101 se incremento del año 1999 al 2001 en 1552 ha, la nuevas variedades crecieron del 2001 al 2002 en 9224.89 ha, en el año 2001 no se reporto la producción de Fertilizante Orgánico (COMPOST) por la tecnología CERES, existiendo en la provincia y para el Año 2002 se produjeron 180 t.

Estos y otros resultados demuestran el conocimiento que adquieren cada año nuestros productores sobre el uso de nuevas y mejores técnicas, así como con la aplicación de los conocimientos técnicos adquiridos a través del sistema de extensión agrícola llegando a convertirse en la herramienta más importante para elevar su cultura integral general y con ello su repercusión sobre el aumento de los rendimientos agrícolas que tan deteriorados se encuentran así como la mejora en la calidad de vida de sus familiares.

CONCLUSIONES

1. Se desarrollaron 110 días de campo, donde se demostraron las ventajas de nuevas tecnologías y el correcto manejo de las tradicionales.
2. Se capacitaron 236 Jefes de Área y 46 especialistas del área agrícola de nuestra industria azucarera, adquiriendo nuevos conocimientos técnicos sobre el cultivo de la caña de azúcar en aras de mejorar su desempeño.
3. Se divulgaron resultados importantes emanados de las investigaciones a través de la confección de 24 plegables y la proyección de 196 videos con el auxilio del móvil de extensión.
4. Se demostraron resultados científicos en diferentes condiciones edafoclimáticas con el montaje de 51 parcelas demostrativas.
5. Se extendieron y/o generalizaron numerosos resultados de investigaciones entre los que se destacan, la preparación de 2995 ha de suelo con nuevas tecnologías, se plantaron 41058.1 ha con las nuevas variedades, se produjeron 180 t de fertilizantes orgánico, se aplicó ENERPLAT en 729.15 ha incrementando los rendimientos en 7.8 t/ha como promedio, entre otros resultados.
6. Este Sistema de Extensión Agrícola monitorea, controla, la aplicación de los servicios científicos-técnicos, lo que permite un mejor uso de lo recursos disponibles.

RECOMENDACIÓN

Continuar el desarrollo del sistema de extensión agrícola en nuestra provincia como herramienta fundamental para la introducción de los resultados científicos técnicos a la producción y continuar la capacitación de los productores cañeros sobre las técnicas más elementales para el desarrollo del sector.

BIBLIOGRAFÍA

March E, Socarras A. fundamentos Metodológicos para la Extensión en la Agricultura Cañera. Cienfuegos, 2000.

Quintero R, et al., 2003. La Extensión Agrícola en la Caña de Azúcar durante el año 2001. Avnaces, Dificultades y Perspectivas. Cuba Caña, ISSN1028-6527 2001, PP 30-32.

Zumeta V, et al., 2001Sistema de Extensión Agrícola para la Caña de Azúcar. Manual de Procedimientos. INICA, 2001.

COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE SANEAMIENTO PARA LA ELIMINACIÓN DE LEIFSONIA XYLI SUBSP. XYLI EN CAÑA DE AZÚCAR (SACCHARUM SP. HÍBRIDO).

Lisbet Rodríguez Machado(1), Ricardo Hernández Pérez(2) , Yandi Estévez Martín(1) y Osmany Aday Díaz (1).

1- Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
Autopista Nacional, Km 246, Ranchuelo, Villa Clara, Cuba.
e-mail: fitomejoramiento@epica.vc.minaz.cu
2- CETAS, Universidad de Cienfuegos.
e-mail: risantaclara57@yahoo.es

Resumen

El raquitismo de los retoños, enfermedad producida por la bacteria *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, es una de las más generalizadas en las plantaciones cañeras cubanas y ocasiona notables pérdidas en el rendimiento agrícola. Una de las formas de combatirla es el tratamiento de la semilla para eliminar la bacteria del tejido, para lo cual se requiere de técnicas de saneamiento y un diagnóstico preciso para la obtención de donantes sanos, los que serán utilizados como base para los producción de semilla, mediante la propagación in vitro. Este trabajo tiene como propósito la comparación de diferentes técnicas de saneamiento aplicadas para el control de dicha enfermedad (termoterapia, cutlivo de ápices meristemáticos y electroterapia combinada con cultivo de ápices), utilizando para el diagnóstico del material vegetal la técnica inminoenzimática Dot-Blot. Los resultados demuestran que el saneamiento mediante termoterapia y el cultivo de ápices meristemáticos, por sí solos, resultan ineficientes para la eliminación de este patógeno. Si embargo, el empleo de la electroterapia combinada con el cultivo de ápices meristemáticos mostró posibilidades reales para lograr plantas sanas, obteniéndose de 84-100 % en la variedad Ja 60-5 y de un 25-80 % en CP 52-43 en los tratamientos evaluados (10, 15, 30 volt / 5 min.).

Palabras claves:

caña de azúcar, *Leifsonia xyli*, enfermedades, técnicas de eliminación

COMPARISON OF DIFFERENT TECHNIQUES TO ELIMINATE *LEIFSONIA XYLI* SUBSP. *XYLI* IN SUGARCANE (*SACCHARUM SP. HÍBRIDO*).

Abstract

The Ratoon Stunting Disease, caused by *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* bacteria, is one of the most widespread disease in Cuban sugarcane plantations and it causes remarkable losses in agricultural yield. One of the ways of combating it, is the treatment of the seed to eliminate the bacteria from the tissue, for which sanitation techniques and a precise diagnosis for the obtaining of healthy donors are required, those that will be used as base for the seed production, by means of *in vitro* propagation. The aim of this paper is to compare different sanitation techniques applied for the control of this desease (thermotherapy, culture of meristematic apexes and electrotherapy combined with cultivation of apexes), using for the diagnosis of the vegetable material the technical inmunoenzimatic Dot-Blot. The results demonstrate that the use of

thermotherapy and cultivation of meristematic apexes, by themselves, are inefficient for the elimination of this pathogen. However, the employment of the electrotherapy combined with the cultivation of meristematic apexes showed real possibilities to achieve healthy plants, being obtained a rate of 84-100% in the variety Ja 60-5 and of 25-80% in CP 52-43 in the evaluated treatments (10, 15, 30 volt/ 5min.).

Key words:

sugarcane, *Leifsonia xyli*, diseases, elimination techniques

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum sp. híbrido*) es el principal cultivo económico de muchos países. Se encuentra entre los diez primeros para la producción de alimento y proporciona entre el 60 y 70 % del azúcar que se elabora mundialmente (Ahlfeld, 1996). Su cultivo en Cuba ocupa una superficie de 1.6 millones de ha, que representa el 27 % de la tierra cultivable del país.

Las enfermedades de de este cultivo constituyen uno de los principales factores negativos para la producción azucarera mundial. Entre ellas, el raquitismo de los retoños (RSD), causado por la bacteria *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, (*Lx. xyli*) es una de más importante y propagada en la mayoría de las regiones cañeras del mundo (Gillaspie and Teakle, 1989; Roach, 1992; Chinea et al., 2002; Rott *et al*., 2002; Chinea y Rodríguez, 2003). Su importancia radica en la notable disminución del rendimiento agrícola ocasionando cuantiosas pérdidas en la cosecha, la alta eficiencia de su propagación mecánica y la amplia gama de variedades que afecta (Gillaspie and Teakle, 1989; Bailey y Bechet, 1995, Chinea *et al.*, 2003).

En Cuba fue detectada en 1953 (Fors, 1954) y ha llegado a alcanzar una propagación de un 81% y 63% de intensidad (Chinea *et al.,* 1992), causa pérdidas en la cosecha entre 19-30% y afecta, en mayor o menor grado, a todas las variedades comerciales y en extensión, así como clones destacados. El 81 % de los genotipos existentes en la colección de germoplasma han resultado susceptibles o intermedios ante el ataque del organismo causal (Chinea *et al*., 2003).

Su control depende fundamentalmente del uso de semilla sana, utilizando para ello el tratamiento térmico de la semilla y el saneamiento por cultivo de meristemos (Gillaspie y Teakle, 1989). Sin embargo, la efectividad de ambos es variable y en ocasiones insuficiente (Peralta *et. al.*, 1997), de ahí la necesidad de buscar nuevas técnicas o combinar las existentes con vistas a garantizar un material de siembra sano utilizable en los procesos de micropropagación.

Materiales y Métodos

Se utilizaron 20 plantas de la variedad Ja 60-5 procedentes del Banco de Semilla de "Ifraín Alfonso" diagnosticadas como enfermas (positivas) mediante de la técnica de Dot-Blot, para lo cual se utilizó anticuerpos monoclonales de producción nacional para el reconocimiento de *Lx. xyli* aplicándose el protocolo del CENSA (1994).

Saneamiento por cultivo de ápices meristemáticos

De cada planta se extrajo el ápice meristemático de 0.5 – 0.7 mm y se sembraron en medio de establecimiento. Para ello se utilizaron tubos de ensayos (145 mm x 25 mm) con 10 ml de medios de cultivos y en cada uno se colocó un ápice. Luego se mantuvieron en condiciones de oscuridad en la primera semana para reducir la fenolización y posteriormente fueron pasados a condiciones de iluminación solar durante cuatro semanas. Seguidamente pasaron a fase de multiplicación donde los

explantes fueron colocados en recipientes plásticos de 600 ml de capacidad que contenían 70 ml de medio y 10 explantes por frasco. Se realizaron 3 subcultivos cada 21 días y posteriormente pasaron a fase de enraizamiento y aclimatización. Las vitroplantas aclimatizadas se trasladaron a la Estación Territorial de la Caña de Azúcar (ETICA) para culminar su desarrollo.

Los medios utilizados para las tres fases de la micropropagación fueron los propuestos por Jiménez *et. al*. (1997) y las condiciones de luz solar de las cámaras de crecimiento eran de 48-62,5 µmol . m^{-2}. s^{-1} y temperatura de 26 + 2ºC. Cuando creció el primer canuto se le efectuó el diagnóstico siguiendo el procedimiento del CENSA.

Saneamiento por termoterapia

Se tomaron 6 yemas de cada planta y se dividieron en tres replicas para aplicarles los tratamientos siguientes:

Variante 1: Agua caliente a 50.5ºC por dos horas a dos yemas por planta = 40 yemas.
Variante 2: Agua caliente a 50.5ºC por tres horas a dos yemas por planta = 40 yemas.
Variante 3: Cámara húmeda a 44 ºC durante cuatro horas y seguidamente a 25 ºC por cuatro horas más a yemas por planta = 40 yemas.

Una vez concluidos estos tratamientos se sembraron las yemas en cajas de poliespuma con suelo estéril para llevarlas a la ETICA, donde culminaron su desarrollo. Se diagnosticaron a los 5 meses de sembradas, también por el procedimiento antes mencionado.

Saneamiento por electroterapia combinada con cultivo de ápices meristemáticos

Se emplearon vitroplantas de las variedades Ja60-5 y CP52-43 diagnosticadas como enfermas según análisis realizados en el CENSA mediante la técnica de Dot-Blot. Las mismas fueron sembradas en canteros. A los tres meses se cortaron los tallos, haciéndose el mondado correspondiente de las hojas, para ser utilizado el ápice de la planta más hojas envolventes (spindle), con unos 10 cm de longitud. Los cuales se lavaron con detergente (1%) y se dejaron en solución acuosa de ácido cítrico al 10 %, listos para ser tratados.

Los tratamientos eléctricos fueron aplicados a partir de una fuente de corriente directa construida al efecto (Hernández *et. al*., 1995). Midiéndose la corriente eléctrica de salida en (miliamperes) y voltaje aplicado (volt). Se estudiaron tres tratamientos de voltajes constantes de 30, 15, 10 volt por 5 min., un testigo sin tratar y 30 replicas por cada variante. El procedimiento *in vitro* se efectuó según el método tradicional de extracción de meristemos. Posterior a la aplicación de corriente se establecieron los ápices con aproximadamente 0.5 cm de longitud, en el medio de cultivo propuesto por Santana (1994) y luego se multiplicaron según Jiménez (1995).

A los 30 días se evaluó el porcentaje de regeneración y después del primer subcultivo se dividieron, tomándose una replica de cada vitroplanta para realizar el diagnóstico. Además de enviarse copias de las muestras negativas al CENSA, para su confirmación. El diagnóstico en ambos caso fue realizado por la técnica de Dot blot .

Los resultados obtenidos fueron procesados mediante el análisis de comparación de proporciones que brinda el paquete estadístico SATATGRAPHICS para Windows versión 4.1 con un nivel de significación del 95%.

Resultados y Discusión

Saneamiento por cultivo de ápices meristemáticos

De los 20 ápices sembrados se obtuvieron seis plantas para un 30 % de regeneración. En el diagnóstico a RSD todas resultaron positivas para un 100 % de muestras enfermas. Estos resultados muestran que el cultivo de ápices meristemáticos no es suficiente para la eliminación de este patógeno.

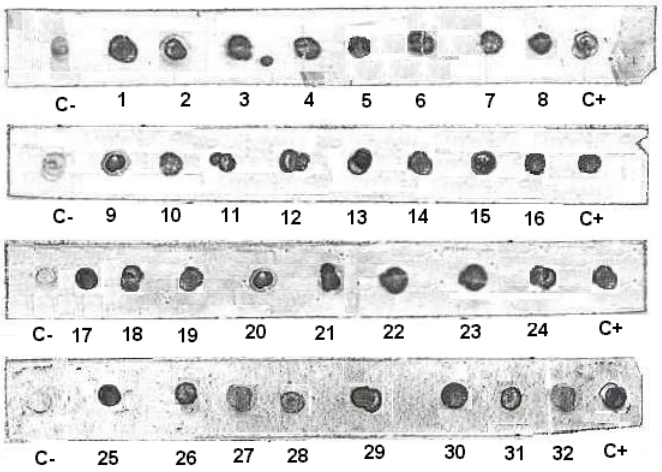
El empleo del cultivo de ápices meristemáticos es una técnica ya establecida para la micropropagación de la caña de azúcar, sin embargo, existen pocas referencias en la literatura de su uso como método de saneamiento a RSD. Victoria *et. al.* (1998) logró 0 % de incidencia de RSD al utilizar tratamientos combinados de hidrotermoterapia previo al cultivo de meristemos, logrando además un incremento en rendimiento agrícola. Similares resultados obtuvieron Peteira *et. al.* (1992) quienes alcanzaron de un 96-100% de saneamiento al combinar el cultivo de ápices con termoterapia (50º C durante 10 minutos) y quimioterapia (ácido giberélico 0.5 mg/L). La utilización de sistemas mixtos no solo ha logrado la eliminación del RSD sino también de otros patógenos de la caña de azúcar como los causantes de la escaldadura foliar y el VMCA (Matsuoka *et. al.,* 1988; Sordi y Tokeshi, 1988; Matos, 2002). Siendo recomendable realizar nuevos ensayos donde se combine esta técnica con variantes de termoterapia, quimioterapia, etc.

Saneamiento por termoterapia

Ante los tratamientos térmicos efectuados a las yemas los resultados de regeneración en el tratamiento con agua caliente a 50,5 ºC por tres horas fue 0 % ya que no se logró obtener ninguna planta por afectarse su germinación y en el resto de los tratamientos fue de un 40 % al obtenerse 16 plantas de las 40 yemas sembradas.

Estos resultados en la brotación, aunque puedan parecer bajos, coinciden con los reportados en la literatura para tratamientos largos pues se conoce que a medida que aumenta la temperatura disminuye la brotación de las yemas y la supervivencia de las plantas. Pérez y Mauri (1986) solo alcanzaron un 20% de brotación de yemas tratadas a 50 ºC/2 h. Asimismo Chinea y Pérez (1997) obtuvieron un 30% de germinación después de aplicar 50.5 ºC/2 h a yemas individuales y Pérez *et. al.* (1998) reporta de un 30 – 44 % utilizando ese mismo tratamiento sobre propágulos de una yema de diferentes tamaños y diversas variedades.

Al realizar el dot-blot se observó también una detección del 100 % de plantas enfermas no siendo efectivo el tratamiento térmico en ningún caso para la eliminación de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (figura 1).



Leyenda:

1-16 : Tto. Cámara húmeda C+ : Control Positivo
17-32 : Tto. Agua a 50.5 ºC 2 h C- : Control Negativo

Fig 1. Resultados del Dot-Blot en los tratamientos de Termoterapia

Dichos resultados coinciden con los reportados Ramallo y de Ramallo (2001) donde no obtuvieron saneamiento a RSD con el tratamiento hidrotérmico a 50.5ºC/2h, aplicado a propágulos de una yema, en la mayoría de las variedades estudiadas realizando la detección de la enfermedad mediante las técnicas de dot-blot e inmunofluorescencia indirecta (IFI), aunque lograron una atenuación de la bacteria. Resultados similares fueron obtenidos por investigadores de la EPICA de Jovellanos, Matanzas, quienes no consiguieron erradicar el patógeno con ningunos de los tratamientos hidrotérmicos estudiados, incluyendo el de 50.5ºC/2h, pero si disminuyó la concentración de células de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* según lo revelado por IFI (Pérez *et. al.,* 1998).

Esto refirma que para controlar el RSD es necesario que la semilla comercial haya recibido como mínimo tres tratamientos de hidrotermoterapia sucesivos, además de aplicar las medidas de control adecuadas, pues con uno solo no se logra la inactivación total del organismo causal de la enfermedad (Piñón, 2001; Chinea y Pérez, 1997).

Saneamiento por electroterapia combinada con cultivo de ápices meristemáticos

En la figura 2, se resumen los efectos de la corriente eléctrica sobre la regeneración de plantas por variedades. Se muestra una respuesta similar de ambas variedades ante los diferentes tratamientos, observándose una disminución de este parámetro al aumentar el voltaje.

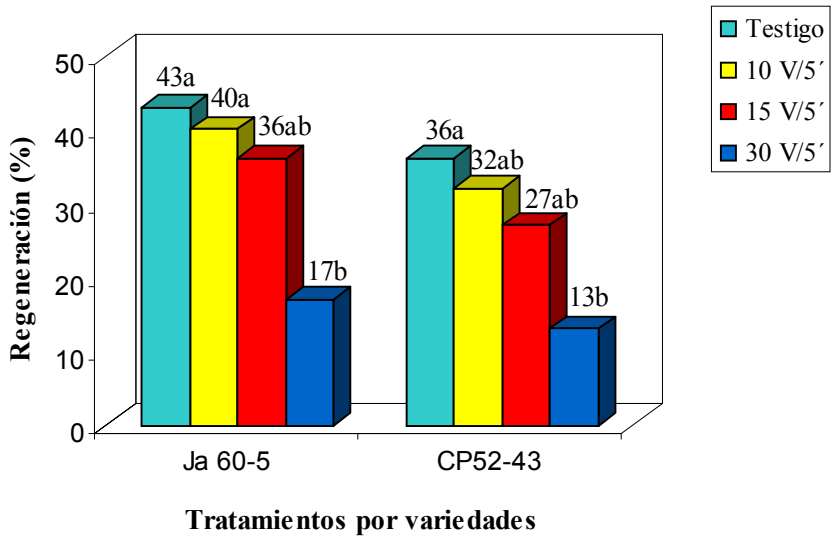


Fig 2. Efecto de los tratamientos de electroterapia sobre la regeneración.

* Letras minúsculas no coincidentes representan diferencias significativas entre tratamientos por variedad (P<0.05)

Luego de la aplicación de la corriente eléctrica se observó una respuesta evidente entre variedades (figura 3).

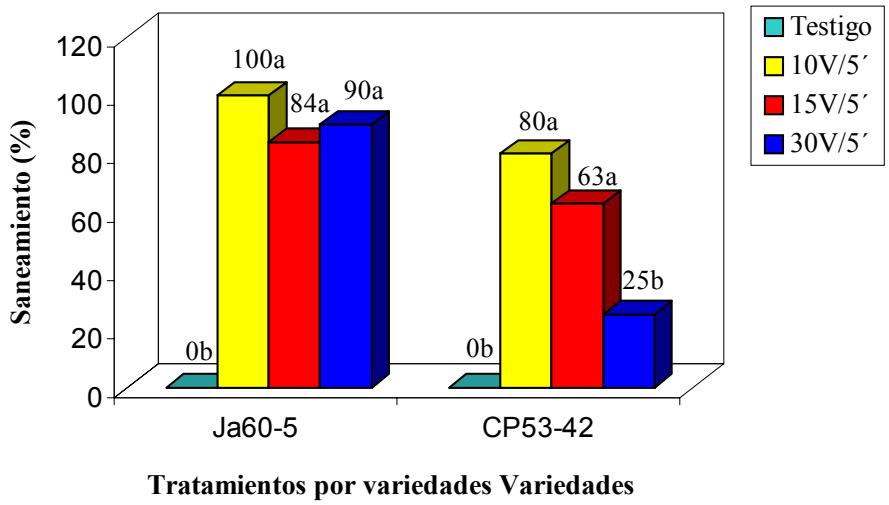


Fig 3. Efecto de los tratamientos de electroterapia sobre el saneamiento a RSD.

* Letras minúsculas no coincidentes representan diferencias significativas entre tratamientos por variedad (P<0.05).

El porcentaje de plantas sanas es mayor en todos lo tratamientos aplicados con respecto al testigo en ambas variedades. En Ja 60-5 no existieron diferencias en cuanto al saneamiento a RSD en las tres variantes empleadas, lográndose hasta un 100% de sanidad cuando se aplicó 10 V/ 5´. Mientras que en CP 52-43 hay una disminución de este parámetro cuando se somete al explante a 30V/5´, existiendo una

respuesta diferencial entre variedades para este tratamiento. Entre las alternativas utilizadas la aplicación 10V/5´ fue la de mejores resultados al combinar los mejores porcentajes de sanidad y regeneración, aunque no difieren mucho de lo logrado con 15V/5´ que es la que más se emplea en caña de azúcar. Además muestran niveles de sanidad muy superiores a las técnicas anteriores por lo que constituye un método útil para la obtención de explantes sanos.

Las plantas electroterapiadas pueden ser afectadas por los excesos de corriente y por la duración de los tratamientos disminuyendo la regeneración de los explantes y la efectividad de la terapia, por lo que debe buscarse una combinación optima para lograr una eficiencia adecuada (Hernández, 1997).

Esta técnica de saneamiento ha sido utilizada con alentadores resultados en varios cultivos para eliminar tanto virus como bacterias. Matos (2002) informa el empleo de 15V/5´ para obtener plantas de caña de azúcar libres de escaldadura, obteniendo un saneamiento de un 100% y 22% de sobrevivencia, resultados similares a los alcanzados por Cortezaga *et. al.* (2001) para esta enfermedad. En el cultivo de la malanga (Xanthosomas sagittifolium Schott) se logra la eliminación del virus DMV (virus del mosaico de la malanga) con 70-100% de saneamiento y 100% de plantas regeneradas (Igarza *et al.,* 1999).

Dichos porcentajes demuestran las posibilidades reales de saneamiento con electroterapia, corroborando los trabajos publicados hasta la fecha por Quaquarelli *et. al,* (1980) en Cactanucia, Hernández *et. al*. (1995) en Ajo, Lozoya *et al.* (1996) y Bernal (1997) en papa y Hernández *et. al.* (1999) en plátano.

Conclusiones

La electroterapia combinada con el cultivo de ápices meristemáticos resultó ser la técnica más efectiva en la eliminación del *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* obteniéndose de 100-60% saneamiento aplicando las variantes 10V/5´ y 15V/5´ en comparación con el cultivo de ápices meristemáticos y las variantes de termoterapias empleadas que no lograron eliminar la bacteria. .

Referencias

- Ahlfeld, H. (1996), F. O. Lichts, World Sugar and Sweeter Year Bokk and World Sugar Statistics. F.O. Linchts, Ratzeburg, Germany.
- Bailey, R.A. y Bechet, G.R. (1995), The effect of ratoon stunting disease on the yield of some South African sugarcane varieties under irrigated and rained conditions. Proceedings of the South African Sugar Technologists Association. pp. 74-78.
- Bernal, F. J. (1997), Técnicas de saneamiento para la obtención de papa (*S. tuberosum L.*) Var. Desirée libre del Virus del Enrollamiento de la Hoja. Tesis en opción al Grado de Maestro en Biotecnología Vegetal. UCLV. IBP. Santa Clara. Cuba. 56 pp.
- CENSA. (1994). Instructivo de uso para la detección del RSD mediante Dot-blot. Cuba.
- Chinea, A. y Pérez, J. R.(1997), Secuencia y manejo de la hidrotermoterapia para el control de enfermedades de la caña de azúcar. *ATAC 1*, 31-34.
- Chinea, M. A., Nass, H., Davoin, C. y Diez, M. D. (2002), Enfermedades y daños de la caña de azúcar en Latinoamérica. Edic. Imprecolor S. A. Barquisimeto, Venezuela, 108 pp.
- Chinea, M.A. y Rodríguez, L.E. (2003), Enfermedades de la caña de azúcar: Identificación y lucha. Publicaciones INICA C. de La Habana, 150 pp.
- Chinea, M.A., Escalona, J., Rodríguez, M. del C. y GARCÍA, M. (1992), Propagación del raquitismo de los retoños de la caña de azúcar en Cuba. Res. 46 Congreso ATAC, Stgo. de Cuba, 9 pp.
- Cortezaga, L., Santana, I., Matos, M., Nodarse, O., Pérez, J.R., Chinea, A., Pellón, Y. y Collazo, A. (2001), Saneamiento *in vitro* para el control de la escaldadura foliar en caña de azúcar. Resúmenes IV Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. pp 250.

- Fors, A.L. (1954), La posible presencia del raquitismo de los retoños. Mem. 27 Congreso ATAC, pp. 47-55.
- Gillaspie, A.G. Jr. y Teakle, D.S. (1989), Ratoon stunting disease. En: 'Diseases of sugarcane - major diseases' (Ricaud, C., Egan, B.T., Gillaspie, A.G. Jr, y Hughes, C.G. eds). Elsevier Publishing: Amsterdam. pp. 59–80.
- Hernández, P. R., González, Y. y Álvarez , J.M. (1999), Alternativa de saneamiento al BSV en *Musa sp*. I Reunión de Investigación y Desarrollo de red de bananos y Plátano en América Lat. y el Caribe. La Habana .Cuba.
- Hernández, P.R., Fontanella, R.J., Noa, C.J., Manso, M.R., Pichardo, T., Cárdenas, P.H. e Igarza, C. (1995), Electroterapia, nueva técnica para el saneamiento a virus en ajo (*Allium sativum L.*). Res. Tatent. 37/95 AO. 1C/08 Res. 1524/97. OPIC. Cuba.
- Hernández, R. (1997), Obtención de plantas libres de patógenos. Curso Teórico-Práctico de Propagación Masiva de Plantas. Instituto de Biotecnología de las Plantas, Santa Clara. Cuba.. pp 31-43.
- Igarza, J., Hernández. R. y Cruz, B. (1999), Alternativa para el saneamiento al virus DMV en malanga Reportes cortos, 5to Coloquio Internacional de Biotecnología Vegetal. pp 27.
- Jiménez (1995). Jiménez (1995). Jiménez E. 1995. Propagación *in vitro* de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum. híbrido*). Tesis Doctoral. UCLV. IBP. Santa Clara. 93 pp.
- Jiménez, E., García, L., Suárez, M. y Alvarado Y. (1997), Instructivo técnico para la micropropagación de la caña de azúcar. Instituto de Biotecnología de las Plantas, Santa Clara. Cuba.
- Lozoya, S.H, Abello, J. y García, K.G. (1996), Electrotherapy and shoot tip culture eliminate PVX in potato. *Rev. Amm .Pot. Jur. 73*, 149 - 154.
- Matos, M. (2002). Escaldadura foliar: Evaluación de métodos para el saneamiento y comportamiento de variedades comerciales de caña de azúcar. Tesis de Maestría. Universidad de la Habana, Facultad de Biología. Cuba. 60 pp.
- Matsuoka, S., Lee, T.S.G. y Masuda, Y. (1988), Proposal for international exchanges of sugarcane clones using meristem tip culture plantlets. Programa nacional de mejoramiento de la caña de azúcar. pp. 1-7.
- Peralta, E.L., Pedroso, M. y Martínez, Y. (1997), Diagnóstico de fitopatógenos. Manualteórico-práctico CENSA, 134 pp.
- Pérez, J.R., Montalbán, J., Figueredo, Y., Matos, M., Abrantes, I., Barroso, G. y Delgado, G. (1998), Evaluación del sistema tradicional de producción de semilla empleado en Cuba para el control de enfermedades de la caña de azúcar. Informe Final de Proyecto CITMA. Cod: 00101043. INICA. Cuba. 32 pp
- Pérez, L. y F. Mauri (1986), Efectividad del tratamiento con agua caliente a la semilla de caña de azúcar sobre las infecciones de *Ustilago scitaminea*. *Agrotecnia de Cuba 18 (2),* 81-82.
- Peteira, B., González, T., Orta, C., Lagomasino, I. y Maribona, R. (1992), Saneamiento de RSD por cultivo de meristemo. *Protección Vegetal 7 (2-3),* 97-101.
- Piñón, D. (2001), Hacia una fitoprotección ecológica de plagas en el SEFIT. En: Curso de actualización en temáticas de sanidad vegetal (SEFIT).. (Piñón, D. ed) INICA. Cuba. pp. 1-10.
- Quacquerelli, A., Gallitelli, O., Savinow, V. y Piazzolla, P. (1980), These of electric current (RACE) for obtaining mosaic free almonds. *Acta Phitopathologica Academiae Scientiarum Hungaricae. 15 (1- 4)*, 251 -255.
- Ramallo, J. y de Ramallo, N.E.V. (2001). Aplicación de la hidrotermoterapia para la obtención de caña semilla de sanidad controlada. *Avance Agroindustrial. Junio,* 16-18.
- Roach, B.T. (1992), Genetic control of ratoon stunting disease in sugar cane. Proc. Australian Soc. of Sugar Cane Technol. pp. 59-67.
- Rott et al., 2002; Rott, P., Bailey, R.A., Comstock, J.C., Croft, B. J. y Saumtally, S. (2002). Sugarcane producing countries and their diseases. Guide to S/C diseases. CIRAD, France, (10) 15 pp.

- Santana, I. (1994), Estudio de la variabilidad en las poblaciones de caña de azúcar obtenidas por el cultivo de tejido. Tesis Doctoral. INICA, 85 pp.
- Sordi, R. y Tokeshi, H. (1988), Cleaning leaf scald-infected sugarcane plants using *in vivo* thermotherapy plus meristem tip culture. Programa Nacional de Mejoramiento de la Caña de Azúcar. pp. 1-9.
- Victoria, J. I, Guzmán, M.L. y Jaramillo, A.D. (1998), Disease – free nurseries in sugarcane. RSD Conference/ Workshop. At the 7th International Congress of Plant Pathology. Edinburgh, Scotland.

COMPORTAMIENTO DE GENOTIPOS DE CAÑA DE AZÚCAR, INTRODUCIDOS Y CUBANOS, ANTE EL SÍNDROME DE LA HOJA AMARILLA.

Osmany de la C. Aday Díaz, Félix R. Díaz Mujica, Héctor García Pérez, y Francisco Barroso Medin.

ETICA Villa Clara-Cienfuegos, Autopista Nacional; Km 246; Apartado 20 Ranchuelo, Villa Clara, CP 53100; Fax: 451520;Teléfono: 451132 y 451520;
Correo electrónico: epica@civc.inf.cu.

RESUMEN: Se estudió el comportamiento de 14 variedades de caña de azúcar en explotación comercial en Cuba ante el Síndrome de la hoja amarilla (ScYLS), se evaluaron además otros 28 genotipos cubanos de interés y 60 genotipos introducidos en el país procedentes de EE.UU, Brasil, México, Barbados, Australia y Mauricio. La variedad en explotación comercial más afectada fue C87-51, esta exhibió los síntomas de la enfermedad y un brix de 14 en el raquis de la hoja; Ja60-5, C266-70 y My55-14 no mostraron síntomas y su brix fue inferior a 7. El 60.7% del resto de los genotipos cubanos evaluados en este estudio mostraron susceptibilidad a la enfermedad, en las variedades introducidas se encontró un 68.85%. En todos los grupos de variedades evaluadas se aprecia la existencia de posibles fuentes de resistencia a la enfermedad.

Palabras claves: amarillamiento foliar, ScYLS, caña de azúcar.

BEHAVIOUR OF INTRODUCED AND CUBAN SUGARCANE GENOTYPES AGAINST YELLOW LEAF SYNDROME.

ABSTRACT. The behaviour of 14 sugarcane varieties in commercial production were studied against Yellow Leaf Syndrome (ScYLS), besides other 28 cuban genotypes and 60 introduced genotypes coming from USA, Brazil, Mexico, Barbados, Australia and Mauricio were also analyzed. The most affected variety in commercial exploitation was C87-51, it showed the synthoms of the disease and a brix of 14 in the leaf, the varieties Ja60-5, C266-70 and My55-14 did not show synthoms and their brix was lower than 7. the 60% of the rest of the cuban genotypes in the study came to be suceptble to the disease, but in the introduced varieties showed the existence of possible sources of resistence to the disease.

Key words: Yellow leaf syndrome, ScYLS, sugar cane.

INTRODUCCIÓN

El síndrome del amarillamiento foliar de la hoja de caña de azúcar (ScYLS) fue reportado por primera vez en Hawai en 1989 (Schenck y Hu, 1991), poco después de 1991 a 1992 apareció en Brasil en la variedad SP71-6163 (Burnquist y Vega, 1996) y luego en 1994 la encontraron en Florida, Lousiana y Texas, (Comstock *y otros* 1994 y 1996). Victoria y otros (1998) citando a Ricaund (1968) plantea existen antecedentes de la sintomatología del YLS desde 1968 en el oriente de África. Hasta la fecha se ha observado en Argentina, Australia, Colombia, Cuba, El Salvador y México (Flores, 1997) y según informa Victoria (1998), la enfermedad se ha encontrado paulatinamente también en Sudáfrica, Mauricio, Zimbabwe y en 1998 en Colombia.

Investigadores de BSES en Australia, expresan que la enfermedad se presenta en plantas próximas a la madurez, manifestándose primero de la tercera a la sexta hoja del follaje. Pueden

observarse plantas con hojas verdes que posteriormente son afectadas por el YLS, así como cuando la enfermedad avanza las nuevas hojas formadas también muestran los síntomas de la enfermedad, (BSES Bulletin, 1994). Los jugos extraídos de la nervadura central de las cañas afectadas por el YLS, arrojan valores de brix 2 a 3 veces superiores a los que se observan en hojas de cañas sanas (valor del brix normal en la hoja: 6-11) (ComstocK *y otros* 1994; Chinea 1997; Matzuoka y Meneghin 1997; Vega *y otros* 1997).

En 1997 Scangliusi y Lockhart demostraron que la enfermedad es causada por un luteovirus, así mismo investigadores de un proyecto conjunto entre la Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP), Brasil y la Universidad de Minesota (EE.UU), encontraron una estrecha asociación entre el YLS y la presencia de un luteovirus (ScYLS), (Ramallo, 1998) y Rassaby *y otros* (1999) en la Isla Reunión reportó la presencia de luteovirus y la coincidencia con los síntomas característicos del YLS. Se ha involucrado la presencia de un fitoplasma asociado con la enfermedad, (Croje *y otros* 1997) y Arocha *y otros* (1999). De acuerdo con los últimos trabajos realizados, el virus del ScYLS es un Polerovirus que proviene de una recombinación entre Polerovirus y un Luteovirus, o de sus ancestros (Ángel 2002 y Moonan *y otros* 1999). El análisis por medio de Enzima Linked Assay (ELIZA) es el método de diagnóstico más confiable para detectar el YLS, sin embargo, una prueba muy sencilla y que puede realizarse directamente en el campo para apoyar el diagnóstico por medio de síntomas visuales, es la medición de los solutos totales (Brix) en la nervadura central de la hoja (Cavaría 2000).

MATERIALES Y MÉTODOS.

Las observaciones y evaluaciones fueron realizadas en el jardín de variedades de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de azúcar de Villa Clara-Cienfuegos, cada genotipo ocupaba un área de 96 m^2 y con edad de 12 meses. Se evaluaron 14 variedades que hoy se explotan de forma comercial en diferentes localidades del país, a los 12 meses del primer corte, entre ella dos extranjeras, un grupo de 28 variedades cubanas también fue contemplado, en este caso 14 a los 12 meses después de su plantación y 12 en primer corte.

La presencia del ScYLS fue evaluada en la etapa de soca en 25 genotipos de EE.UU, 16 de Brasil, 5 de México, 4 de Barbados, 4 de Mauricio y 6 de Australia.

Para evaluar la presencia de la enfermedad, se tubo en cuenta los síntomas visuales mostrados por las plantas y el brix refractométrico del nervio central de la tercera hoja con diwla visible, con esta información se consideró el grado de afectación de la enfermedad según la escala propuesta por Chinea (1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Según la escala empleada (Chinea 1999), el grado de la enfermedad puede considerarse a partir de las características evaluadas, como se explica a continuación:

Características evaluadas	**Grado**
- Planta sin síntomas, brix en las hojas menor de 7	1
- Coloración amarillo brillante del raquiz por el envés de la hoja, brix entre 7 y 14.	2
- Coloración amarillo brillante del raquiz por el envés de la hoja y que se abre hacia la lámina foliar, brix mayor de 14.	3
- Coloración amarillo brillante del raquiz que ocupa toada la superficie foliar, brix mayor de 14, en ocasiones se presenta necrosis y destrucción del sistema radical, los plantones pueden ser arrancados fácilmente.	4

Chinea (2002) citando a Arocha (1999) y Chevarría (2002), plantean que el valor del brix registrado en el raquiz de las hojas con síntomas, puede tomarse como carácter que refleja la presencia de la enfermedad el ScYLS y el grado de susceptibilidad de los genotipos a evaluar.

En el tabla I, aparece el comportamiento de 14 variedades comerciales, algunas de las cuales en esos momentos ocupan áreas importantes, es el caso de C1051-73, CP52-43, C87-51 C120-78. Los síntomas observados en las plantas con brix en el raquiz superiores a 7 coinciden con los descritos en la bibliografía consultada. La variedad con mayor grado de afectación en este estudio resultó ser C87-51, mientras que Ja60-5, C266-70 y My5514 mostraron valores de brix inferiores a 7, así mismo estas ultimas variedades no exhibieron síntomas de la enfermedad.

En el segundo grupo de genotipos cubanos evaluados (tabla II), correspondió a 28 variedades evaluadas a los 12 meses, 16 en caña planta y 12 en soca, en este grupo 17 variedades mostraron síntomas de ScYLS y alcanzaron el grado 2 y 3 de la afectación, las variedades más susceptibles fueron C88-380 y C88-382. De forma general, el 60.71% de estos genotipos cubanos mostraron susceptibilidad a la enfermedad, las variedades sin síntomas podrían constituir fuentes de resistencia ante el ScYLS.

En áreas de Estación, se evaluaron 60 genotipos introducidos en Cuba (tabla III), procedentes de diferentes países, los resultados por país de origen se describen en el Cuadro 3, el 68.85% muestran susceptibilidad al ScYLS. De los genotipos procedentes de EE.UU, siete mostraron las características de la enfermedad y se categorizaron por el grado de afectación, la variedad más afectada fue CP75-1091 seguida por CP62-258 y F46-240, de Brasil SP70-1284, SP71-1406 y SP71-82 alcanzaron los grados 3, 3 y 4 respectivamente, el resto no mostró síntomas.

Tabla I. Comportamiento de 14 variedades comerciales en explotación ante ScYLS.

Variedad	Maduración	**Síntomas de la enfermedad**	Brix	**Grado**
C87-51	Temprana	+	14	2
C1051-73	Temprana	+	12	3
C120-78	Intermedia	+	9	2
Ja60-5	Temprana	-	5.25	1
C751-75	Temprana	-	7.5	2
C266-70	Tardía	-	6.8	1
C111-79	Intermedia	+	10.3	2
C137-81	Intermedia	+	11.8	2
C132-81	Intermedia	+	10.4	2
CP52-43	Temprana	+	7.5	1
My5514	Tardía	-	6.75	2
Ty70-17	Intermedia	+	7.75	2
Co997	Temprana	+	10.85	2
SP70-1284	Temprana	+	12.5	2

Tabal II. Comportamiento ante ScYLS de un grupo de genotipos cubanos.

Variedad	**Cepa**	**Grado**	**Variedad**	**Cepa**	**Grado**	**Variedad**	**Cepa**	**Grado**
Ja64-19	Soca	1	C85-106	Soca	2	C86-455	Soca	2
C128-83	Planta	1	C85-108	Soca	2	C86-456	Planta	1
C236-51	Soca	2	C85-212	Planta	2	C87-234	Planta	2
C203-82	Soca	2	C85-214	Planta	2	C88-380	Planta	3
C323-68	Soca	1	C85-101	Planta	2	C88-382	Planta	3
C236-53	Soca	1	C85-393	Planta	1	C90-228	Planta	1
C236-28	Soca	1	C85-403	Soca	2	C90-229	Planta	2

C85-1	Planta	1	C86-12	Planta	1	C90-230	Planta	1
C85-103	Soca	2	C86-201	Soca	2	C90-501	Planta	2
						C90-530	Planta	2

Grupos reducidos de genotipos de México, Barbados, Australia y Mauricio, también fueron evaluados, y en estos casos las variedades Mex60-1466, Q136 y M13156 tuvieron un afectación por ScYLS de grado 3, 12 genotipos de estos países no exhibieron ninguna característica de la enfermedad.

Los resultados obtenidos en este estudio, muestran la existencia en el germoplasma cubano de posibles fuentes de resistencia al YLS, para lo cual es necesario profundizar en estudios posteriores, teniendo en cuenta la complejidad de esta patología, según señala Ángel (1999) y Sheck *y otros* (2001), esta enfermedad se transmite por la semilla vegetativa y por la acción del áfido *Melanaphis sacchari*. Victoria *y otros* (1999) plantea que el diagnóstico de la enfermedad es difícil debido a que no todas las variedades de caña muestran síntomas externos.

Shenck *y otros* (2001) se refiere a que se ha encontrado que algunos cultivares son universalmente infectadas mientras otras permanecen libres de virus, los resultados internacionalmente indican que la obtención de la resistencia puede ser posible. La resistencia puede ser debido a la total carencia de la infección o por ser incapaz el virus de multiplicarse e la planta, ha sido demostrado la existencia de variedades resistentes (Schenck *y otros* 2001).

Tabla III. Comportamiento de genotipos introducidos ante el ScYLS.

País: EE.UU					
Variedad	**Grado**	**Variedad**	**Grado**	**Variedad**	**Grado**
US53-20-8	2	CP61-81	1	CP85-1006	1
L55-5	2	CP64-388	1	CP63-588	1
L56-23	2	CP48-103	1	CP54-307	2
CP33-22	1	CP65-315	1	CP63-306	1
CP68-1154	1	CP67-412	1	CP29-106	1
CP72-356	1	CP82-1095	1	F46-240	3
CP75-1091	4	CP62-258	3	CL59-1052	1
C65-392	1	CP66-346	1		
CP68-1025	1	CP63-384	1		
País: Brasil					
Variedad	**Grado**	**Variedad**	**Grado**	**Variedad**	**Grado**
RB75-11	1	RB78-5148	2	SP71-82	4
RB83-5054	2	RB83-5489	1	SP71-6880	1
RB82-5336	1	RB83-5527	1	SP70-3370	1
RB72-454	1	SP71-6133	1	SP71-3501	1
RB83-5089	1	SP70-1284	3		
RB83-5529	1	SP71-1406	3		
País: México					
Variedad	**Grado**	**Variedad**	**Grado**	**Variedad**	**Grado**
Mex63-407	1	Mex60-1466	3	Mex55-295	1
Mex61-875	1	Mex54-174	1		
País: Barbados					
B67-128	2	B51116	1		
B7670	1	B80250	2		
País: Australia					
Q124	2	Q141	1	Q87	1
Q138	1	Q136	3	Q101	1

País: Mauricio					
M1227-62	1	M108-30	1		
M13156	3	M202-46	1		

CONCLUSIONES.

- La variedades en explotación comercial que mostró la mayor susceptibilidad al ScYLS fue C87-51
- Es evidente la existencia de genotipos cubanos y extranjeros resistentes al ScYLS.

RECOMENDACIONES.

- Someter a estudios más precisos a las variedades que en este estudio no mostraron los síntomas del ScYLS y confirmar su grado de resistencia.
- Los genotipos de mayor susceptibilidad pueden ser utilizados como testigos en estudios de búsqueda de resistencia ante esta enfermedad.

BIBIOGRAFÍA.

- Ángel, F. (2002). El Síndrome de la hoja amarillas, nueva enfermedad de la caña de azúcar en Colombia. *http.//orbita.starmedia.com*.
- Burnquist, W. L. and J. Vega (1996). Sugarcane Diseases in Southern Brasil: A Brief Reportt. ACIAR Proc. No. 67: 59-61.
- Cavaría, E. (2001). Consideraciones sobre la aparición del síndrome de la hoja amarilla (YLS) en Costa Rica. *http:www.agric.org/pmp/2001*.
- Chinea, A. (1997). Síndrome de amarillamiento foliar (YLS) de la caña de azúcar. Curso nacional para fitosanitarios del MINAZ, Cuba.
- Comstock, J. C.; Irvine and J. D. Miller (1994). Yellow Leaf Syndrome appears on the United States Mainland. Sugar Journal. March: 33-35.
- Croje, C.P.R; A. Timón; P. Yones and R. A. Bailey (1997). Asociation of a phytoplasma with yellow leaf syndrome of sugar cane. Abstrats ISSCT; Pathology and Molecular Workshop.
- Flores, S (1997). Las enfermedades de la caña de azúcar en México: pp. 285.
- Moonan F., M. Irey, b. E. L. Lockart and T. E. Mirkov (1999). Sugarcane yellow leaf virus is a new member of the Luteoviridae with properties of subgroup I and subgroub II. Lueoviruses. Plant and Animal Genome VII Conference. Tow and Country Hotel, san diego, C.A, January 17-21, 1999.
- Schenck, S., J. S. Hu and B. E. Lockhart (1991). Update on the cause of the Sugarcane Yellow Leat Síndrome. Proce. Haw Sugar Technol Assoc. 1991-A: 45.
- Vega, J. Scagliusi, S. and E. Ulian (1997). Sugarcane Yellow leaf disease in Brasil: evidente association with a luetovirus. Plan Dis. 812: 21-26.
- Victoria, J. I.; F. F. Garcés; María Luisa Guzmán y F. Ángel (1998). Síndrome de la hoja amarilla en Colombia ScYLV (Sugarcane Yellow Leaf Virus). Avance de Investigación, Colombia: 3-6.
- Yacqueline Ramallo; L. D. Ploper (1998) ¿Síntomas de amarillamiento en los cañaverales de Tucumán?. EEAOC-Avance Agroindustrial, Marzo: 16-18.
- Yaima Arocha, y otros (1999). Detección de Fitoplasmas asociados al Síndrome de Amarillamiento Foliar de la caña de azúcar. Resúmenes del 35 Aniversario del INICA, Cuba 1999: 84.
- BSES Bulletin (1994) Yellow leaf síndrome may be in Australia. BSES Bulletin, No. 38. October 1994, Australia: 14-15.

DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE COCONES DE COTESIA FLAVIPES CAM. POR MASA Y VARIACIÓN EN EL TIEMPO DE SU NÚMERO POR GRAMO DE PESO.

Francisco Barroso Medina, Osmany de la C. Aday, Félix R. Díaz Mujica, Yandi H. Estévez Martín y Maritza Dueñas Juvier.

ETICA de Villa Clara-Cienfuegos, Autopista Nacional; Km 246; Apartado 20 Ranchuelo, Villa Clara, CP 53100; Fax: 451520; Teléfono: 451132 y 451520;
Correo electrónico: epica@civc.inf.cu.

RESUMEN.

Para el estudio fueron tomadas 208 orugas de *Diatrea saccharalis* (Fab.), del V al VI estadío procedente de la cría en laboratorio y líneas de *Cotesia flavipes* Cam. de Brasil y Venezuela, en su reproducción se empleó como hospedante a *D. Saccharalis*. Se pesaron los cocones cada 24 horas durante 6 días consecutivos, determinándose el número de pupas por masa de cocón en cada oruga parasitada y la variación del peso de las masas de cocones de acuerdo al tiempo trascurrido. En la cría de orugas se utilizaron jaulas de malla de 50x50x50 cm y como alimento mazorcas tiernas de maíz (*Zea maiz*). Los resultados mostraron que el 72% de los casos se pueden obtener entre 27 y 41 cocones (pupas) por cada larva parasitada (por masa) y un 97 % de emersión, la proporción de sexos favoreció a las hembras con una relación de 2.27:1. Fue obtenida una ecuación para determinar el número de estos por gramo de peso, de acuerdo con el tiempo transcurrido a partir de su formación. En cada gramo de peso de las masas de cocón formadas se pueden estimar aproximadamente de 1040 a 1150 pupas, su variación de acuerdo con el tiempo transcurrido en horas después de haberse formado no es significativa.

Palabras claves: ***Cotesia. Flavipes*** Cam., Bórer, *Diatraea saccharalis*, caña de azúcar.

DETERMINATION OF QUALITY OF COCOONS OF *COTESIA FLAVIPES* CAM. BY MASS AND VARIATION IN TIME OF ITS NUMBER PER GRAM.

ABSTRACT.

This study was carried out with 208 caterpillars of ***Diatrea saccharalis*** Fab. from the V to VI stage coming from laboratory rearing and lines of ***Cotesia flavipes*** Cam. from Brazil an Venezuela, for their reproduction ***D. saccharalis*** was used as host. The cocoons were weighed every 24 hours during 6 consecutive days. The number of pupae per mass was determined in each parasited caterpillar so as the weight variation of the mass of cocoons according to the passing time. The results show that in the 72% of the cases it is possible to obtain between 27 and 41 cocoons for each parasited larvae and a 97% of emersion, sex proportion favored the female individuals.

Key words. ***Cotesia. Flavipes*** Cam .,Borer, *Diatraea saccharalis,* sugar cane.

INTRODUCCIÓN.

Cueva *y otros* (1980), refiriéndose a ***Cotesia flavipes*** (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae), expresa que este es un parásito de piralidos y noctuidos, barrenadores de caña de azúcar procedente de la región Indo-Australiana, (Mohyuddin, 1971; Skoroszewski y Van Hamburg, 1987; Polaszek y Walker, 1991; Overholt *y otros*, 1994; Kfir *y otros*., 2002), abordan a ***C. flavipes***, como el principal miembro de una compleja especie que es usado en el control biológico del bórer del tallo en cereales. Macedo *y otros* (1984) refiriéndose a los beneficios de ***C. flavipes*** en Brasil, afirma que este ha posibilitado reducir significativamente el rango de ataque de los barrenadores e incrementar el rango de parasitismo así como también mejorar la calidad del azúcar producido y David *y otros* (1991), plantea su introducción como un agente biocontrolador del bórer de la caña de azúcar en varios países incluyendo Brasil, Perú, Madagascar, Indonesia y Estados Unidos, Acosta (1999) cita además el éxito en Colombia, Trinidad, México, Venezuela, Costa Rica y Argentina.

A partir de 1991 en Cuba se realizó una introducción de ***C. Flavipes*** procedente de Brasil y Venezuela, teniendo en cuenta su éxito en el área de Latinoamérica y el Caribe, desarrollándose el presente estudio que persiguió los siguientes objetivos:

- Determinar el número de cocones por orugas parasitadas.
- Definir la relación entre el número de cocones y la edad, por gramo de peso.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Para el estudio se tomaron 208 orugas de *Diatrea saccharalis* (Fab.), del V al VI estadío procedente de la cría en laboratorio y líneas de *Cotesia flavipes* (Cam.) de Brasil y Venezuela, en su reproducción se empleó como hospedante a *D. Saccharalis*. En la cría de orugas se utilizaron jaulas de malla de 50x50x50 cm, en las cuales se depositan mazorcas de maíz (Zea maiz), tiernas y abiertas, sobre ellas se alimentan y crecen las orugas.

En la cría de las orugas parasitadas por *C. flavipes* se empleó el método de cría en "tubos de ensayo de 3 x 8 cm", dentro de los tubos se coloca el hospedante parasitado el cual se alimenta con tallos tiernos de maíz, por un período de 10 a 13 días el alimento y los tubos se sustituyen hasta la formación de los cocones. Después de formados los cocones se procedió a pesar los mismos cada 24 horas durante 6 días consecutivos, los cocones se mantuvieron en una incubadora a 26 C^0 y de 95 a 100 % de humedad relativa. Se determinó:

- El número de pupas por masa de cocón en cada oruga parasitada.
- Variación del peso de las masas de cocones de acuerdo al tiempo trascurrido después que estos se forman hasta que emergen los adultos.
- El número de individuos adultos por masa de cocón teniendo en cuenta el sexo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Estudios realizados por Cueva *y otros* (1980), tratan de la biología y comportamiento de este parasitoide, según estos autores, en lugares húmedos, el cocón es más denso que cuando lo hace en lugares secos, también se refieren al promedio de 21 cocones por masa obtenidos en dichos

estudios. Los resultados en el presente estudio mostraron que se pueden obtener como promedio 46.23 cocones por cada oruga parasitada, un 97.47 % de emersión en las pupas de *C. Flavipes* permitió entonces el nacimiento de 45.06 adultos por masa de cocón, la proporción de sexos favoreció a las hembras con una proporción de 2.27:1.

En la Figura 1, se muestra el histograma que describe el comportamiento de la variable número de cocones por larvas de *D. Saccharalis* parasitadas. El mayor número de casos muestra que generalmente pueden obtenerse entre 28 y 42 cocones por larvas, aunque en algunos casos es posible lograr hasta 138.
La variación del número de cocones por gramo de peso, desde su formación hasta que emergieron los adultos, no fue significativa, este estudio demuestra que el número de pupas que puede concebirse en un gramo está entre 1041 y 1152, Figura 2. Desde el punto de vista comercial podría asumirse 1000 pupas o individuos en cada gramo, puede tenerse en cuenta la edad o tiempo transcurrido desde la formación de los cocones hasta el momento de su comercialización, solo para evaluar la rapidez con que se debe proceder a la liberación en el campo, atendiendo al ciclo biológico de *C. Flavipes* y al método de liberación a emplear. Para el caso de investigaciones sobre el tema, que requieran determinada exactitud y precisión, pueden emplearse la ecuación obtenida en este estudio (Figura 3), para calcular el número de cocones o pupas contenidas en un gramo de peso, de acuerdo con el tiempo transcurrido en horas después de la formación de los cocones y hasta la emersión de los individuos adultos.

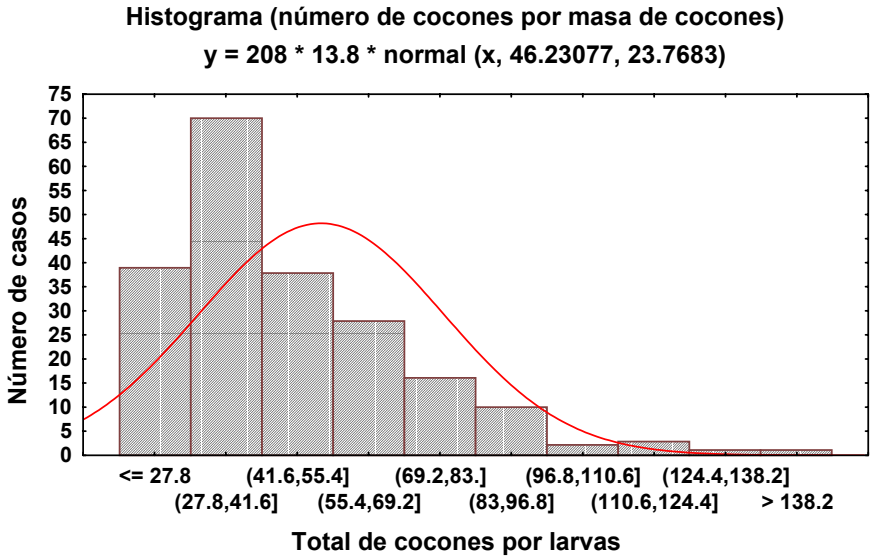


Figura 1. Histograma para el comportamiento de la variable número de cocones.

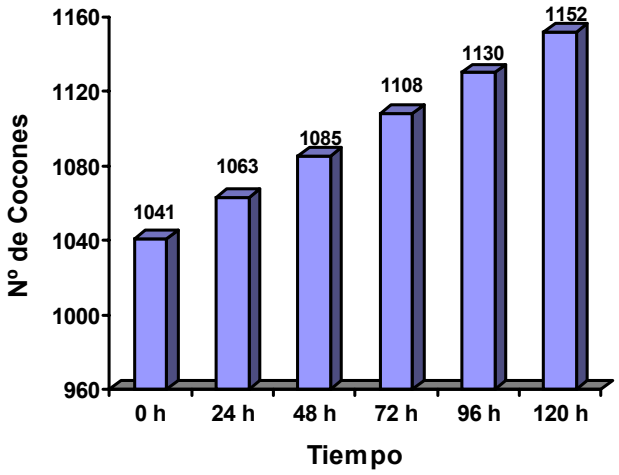


Figura 2. Variación en el tiempo del número de cocones por gramo de peso.

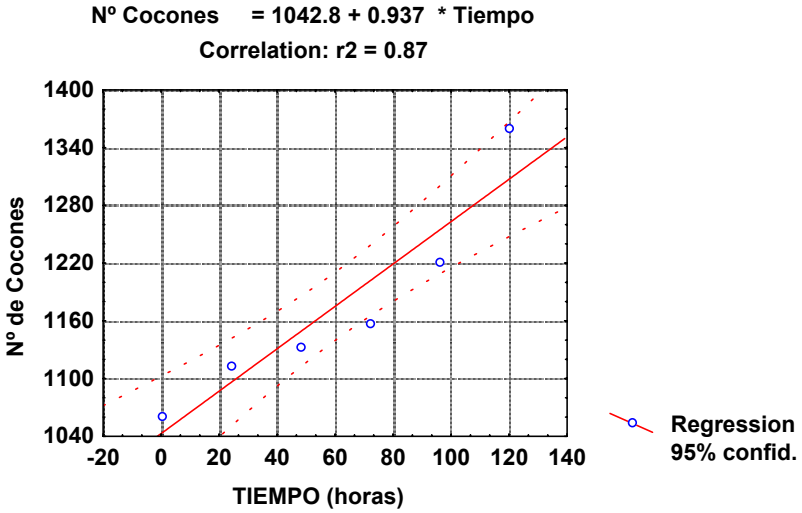


Figura 3. Análisis de Regresión y ecuación obtenida.

CONCLUSIONES

- Se pueden obtener generalmente entre 27 y 41 cocones (pupas) por cada larva parasitada.
- En cada gramo de peso de las masas de cocón formadas se pueden estimar aproximadamente de 1040 a 1150 pupas, su número varía para un gramo de acuerdo con el tiempo transcurrido en horas después de haberse formado, pero sin una diferencia significativa.
- Se definió una formula para determinar el número de pupas en un gramo de peso y su variación de acuerdo con las horas transcurridas.

RECOMENDACIONES

- Emplear la formula obtenida en el presente estudio para estimar el número de pupas para un gramo de peso, de acuerdo con el tiempo transcurrido en horas después de haberse formado la masa de cocón, cuando los estudios requieran de determinada precisión.

- Desde el punto de vista práctico se puede asumir que por cada gramo de peso de pupas, con un 96.0- 97.0 % de emersión de los adultos, pueden obtenerse aproximadamente 1000 individuos.

BIBLIOGRAFÍA:

- Cuevas, M, G. Ayquipa y V. Mescua. (1980). Estudios sobre ***Apanteles flavipes*** (Cameron) introducidos para controlar ***Diatraea saccharalis*** (F.) en el Perú. Rev. Peruana de Entomología 23 (1): 73 - 76.
- David *y otros* .(1991). "Biocontrol Technology for Sugar Pest Manegement" Eds David & Easwaramoorthy, Sugarcane Breeding Institute, Coimbatore, India: 147-164.
- Kfir, R., W. A. Overholt, Z. R. Khan, and A. Polaszek. (2002). Biology and management of economically important lepidopteran cereal stem borers in Africa. *Annual Review of Entomology* 47: 701-731.
- Macedo *y otros* .(1984). Ent. Newsl., 1984,16: 9-10.
- Mohyuddin, A. I. (1971). Comparative biology and ecology of *Apanteles flavipes* (Cam.) and *A. sesamiae* Cam. as parasites of graminaceous borers. *Bulletin of Entomological Research* 61:33-39.
- Overholt, W. A., J. O. Ochieng, P. Lammers and K. Ogedah. (1994). Rearing and field release methods for *Cotesia flavipes* Cameron (Hym: Braconidae), a parasitoid of tropical graminaceous stemborers. *Insect Science Appl.* 15: 253-259.
- Polaszek, A. and A. K. Walker. (1991). The *Cotesia flavipes* species-complex: parasitoids of cereal stem borers in the tropics. *Redia* 74: 335-341.
- Skoroszewski, R. W. and H. Van Hamburg. (1987). The release of *Apanteles flavipes* (Cameron) (Hym: Braconidae) against stalk-borers of maize and grain-sorghum in South Africa. *Journal of the Entomological Society of South Africa* 50: 249-255.

Agradecimientos: Héctor García, Lisbet Rodríguez, Javier Barroso y Miriam Melillo.

COMPUESTOS BIOACTIVOS AISLADOS DE ECHIUM WILDPRETII SUBSP. WILDPRETII PEARS & HOOK FIL. (BORAGINACEAE) E HIPPEASTRUM PUNICEUM LAM. (AMARILLIDACEAE). RELACIONES ESTRUCTURA ACTIVIDAD.

BIOACTIVE COMPOUNDS FROM ECHIUM WILDPRETII SUBSP. WILDPRETII PEARS & HOOK FIL. (BORAGINACEAE) AND HIPPEASTRUM PUNICEUM LAM. (AMARILLIDACEAE). STRUCTURE-ACTIVITY RELATIONSHIP.

Omar Santana[1], Leidys Cortegaza[1], Mislaidys López[1], Madyú Matos[1], Azucena González-Coloma[2], Matías Reyna[2] y Cármen Gutiérrez[2].

[1]Intituto Nacional Investigaciones de la Caña de Azúcar, Cuba. Email: epica@atenas.inf.cu [2]Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Ciencias Medioambientales, España. Email: azu@ccma.csic.es

RESUMEN

La realización de este trabajo pretende aportar conocimientos básicos relativos a estructuras químicas de origen natural cuyas actividades biológicas puedan servir de modelo para el desarrollo de plaguicidas biorracionales con mecanismos de acción alternativos y mínimos efectos sobre el medio ambiente. Los extractos etanólico y alcaloidal de *E. wildpretii* e *H. puniceum* se sometieron a un fraccionamiento químico guiado por bioensayos frente a diferentes insectos y malas hierbas obteniéndose tres Δ^5 esteroles (β-sitosterol; 7α-hidroxi-β-sitosterol y 7α-metoxi-β-sitosterol) y dos alcaloides (equimidina y 3-O Acetilnarcissidina). Estos productos se caracterizaron sobre la base de sus propiedades espectroscópicas y sus actividades se compararon con otros derivados y/o productos comerciales. Los compuestos 7α-hidroxi-β-sitosterol y 7α-metoxi-β-sitosterol tuvieron actividad antialimentaria importante frente a *Leptinotarsa decemlineata* Say. (Coleoptera:Chrysomelidae). El estudio de sus relaciones estructura-actividad puso de manifiesto que la presencia, en la molécula del β-sitosterol, de un sustituyente oxigenado en C-7 (α-OH y/o α-OMe) determinó la actividad antialimentaria frente a *L. decemlineata* (escarabajo de la papa). En el caso de los alcaloides, la equimidina mostró gran actividad antiamentaria frente a *L. decemlineata* mientras que la 3-O Acetilnarcissidina resultó muy activa en la reducción de la alimentación de *Spodoptera littoralis* Boisd. (Lepidoptera:Noctuidae). Además la 3-O Acetilnarcissidina tuvo una actividad significativa en cuanto a la inhibición del crecimiento radicular de *Amaranthus hypocondriacus* L., *Echinocloa cruz*-galli (L.) y *Lycopersicum esculentum* (L.). La especificidad de acción de los compuestos aislados, su baja toxicidad y su abundancia en la naturaleza, hacen de ellos una alternativa interesante en programas de desarrollo de agroquímicos naturales específicos.
Palabras Claves: Antialimentario, *Echium*, *Hippeastrum*, agroquímicos naturales

ABSTRACT

The proposal of this paper is to bring basics knows about natural bioactive products in order to used then to developed save chemicals that can play a decisive roll in sustainable agriculture systems. The bioassay-guided fractionation of the ethanolic and alkaloidal extracts of *E.* wildpretii and *H.* puniceum against insects and weeds afforded the following bioactive components: three Δ^5 phytosterols (β-sitosterol, 3β 7α-hydroxysitosterol and 7α-methoxysitosterol) and two alkaloids (echimidine and 3-O

acetilnarcissidina). These compounds have been characterized based on their spectroscopic and physic data, and their biological effects have been compared with those of structurally-related compounds. The study of the phytosterols showed that a C-7 oxygenated substituent (α-OH and /or α-OMe) in the β-sitosterol moiety determined the antifeedant activity of these molecules against *L. decemlineata*. The echimidine show strong antifeedant activity against *L. decemlineata* while 3-O Acetilnarcissidine result very active in the feeding reduction of *Spodoptera littoralis* Boisd. (Lepidoptera:Noctuidae). 3-O Acetilnarcissidine show activity in the inhibition of root grow of *Amaranthus hypocondriacus* L., ***Echinocloa cruz-***galli (L.) and *Lycopersicum esculentum*. In conclusion, we have demonstrated that the strong activity of *E·. wildpretii* and *H. puniceum* are due to a wide array of chemical components with strong species- and structure-specificity that can be used as alternative in agroecosystems.
Key words: Antifeeding, ***Echium*, *Hippeastrum*,** natural agrochemicals

INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de plaguicidas ha dado lugar a la aparición de líneas de insectos y hongos fitopatógenos resistentes a los principales plaguicidas, efectos negativos sobre parasitoides y depredadores (Edwards, 1993) y graves consecuencias para la salud humana (Metcalf, 1993). Por ello, se realizan considerables esfuerzos para desarrollar plaguicidas biorracionales con mecanismos de acción alternativos y mínimos efectos secundarios para la salud humana y el ambiente (Duke *et al.*, 1993).
Los productos naturales, sintetizados mayoritariamente por plantas y microorganismos, son sustancias de bajo peso molecular (<3000 Da) y de una gran variabilidad estructural, asociada a una gran multifuncionalidad (repelentes, fagoestimulantes, antialimentarios, tóxicos) como consecuencia de su capacidad de interaccionar con receptores específicos presentes en distintos organismos (Williams *et al.*, 1989). Por tanto, cada uno de estos productos es potencialmente activo frente a una amplia gama de dianas y capaz de producir interacciones sinergistas con otros componentes de la planta (Rhodes, 1994; Cordell, 1995). En los últimos años, muchos autores han reconocido el papel de los metabolitos secundarios en la coevolución de plantas e insectos (defensas químicas de las plantas) y específicamente en la conducta alimentaria de los insectos (fagoestimulantes y/o antialimentarios) (Khalid *et al*., 1997; Bernays, 1998; González-Coloma *et al*., 1999).
La realización del presente trabajo pretende aportar conocimientos básicos relativos a estructuras químicas de origen natural cuyas actividades biológicas puedan servir de modelo para el desarrollo de plaguicidas biorracionales con mecanismos de acción alternativos y mínimos efectos secundarios para el medio ambiente. Teniendo en cuenta esto se pretende cumplimentar los siguientes objetivos:
General:

- Estudio químico biodirigido del *Echium wildpretii* Pears. & Hook fil. subsp. w*ildpretii* (Boraginaceae) e *Hipeastrum* puniceum Lam. (Amarillidaceae).

Específicos:

- Aislamiento y caracterización estructural de los compuestos activos y determinación de sus niveles de actividad.
- Determinación de la relación estructura-actividad mediante la cuantificación de los niveles de actividad de derivados estructurales y compuestos relacionados.
- Valoración de la actividad mutagénica en procariontes (bacterias) de los compuestos activos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal
Este trabajo se centró en el estudio de las siguientes especies vegetales (figura 1)

- *Echium wildpretii* Pears. & Hook fil. subsp. w*ildpretii* (Boraginaceae)
- *Hippeastrum puniceum* Lam. (Amaryllidaceae)

Fig. 1: Especies vegetales empleadas en el estudio: *Echium wildpretti* (izquierda) e *Hippeastrum puniceum* (derecha).

Insectos diana

De forma general, los insectos se seleccionaron por la importancia económica de su incidencia sobre cultivos hortícolas, el desarrollo de resistencia a insecticidas de síntesis, sus adaptaciones tróficas y hábitos alimentarios, así como su disponibilidad y facilidad de cría y mantenimiento en el laboratorio.

Dentro de los masticadores los insectos elegidos como dianas son: el crisomélido olífago *Leptinotarsa decemlineata* (Say). (escarabajo de la papa) y el lepidóptero polífago *Spodoptera littoralis* Boisd, ambos de gran importancia económica. En el caso del crisomélido es importante destacar que ha desarrollado resistencia frente a la mayoría de los insecticidas empleados para su control, lo que convierte a esta plaga en una de las más importantes en cuanto al estudio de sistemas alternativos de control (Cloutier y Baudin, 1995; Domek *et al.*, 1995).

Cría y mantenimiento de los insectos

Todas las poblaciones de insectos se mantuvieron en cámaras climatizadas en las siguientes condiciones ambientales: 22 ± 1 ºC, 60-70 % de humedad relativa y un fotoperíodo de 16:8 horas (luz:oscuridad). Las larvas de *S. littoralis* se alimentaron con una dieta artificial general para noctuidos (Poitout y Bues, 1970) y los adultos con una solución azucarada. En el caso de *L. decemlineata* las poblaciones se alimentaron de partes aéreas de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L. cv Desirée) cultivadas en invernadero.

Bioensayos con insectos

- Bioensayos de comportamiento

En este tipo de ensayos se determina la capacidad repelente o antialimentaria de los productos y/o extractos:

a) Bioensayo de elección (dos vías): Este ensayo tiene como objetivo analizar la capacidad repelente de un producto a corto plazo. Se basa en la preferencia de larvas del sexto estadio (L6) de *S. littoralis* y/o adultos de *L. decemlineata* por discos de hojas (tratados y control) de planta huésped (*C. annuum* y *S. tuberosum* respectivamente) colocados en la misma placa. Los discos (1 cm^2) se trataron superficialmente con la sustancia a probar. Cada tratamiento consistió de 5 placas petri y tres insectos por placa. Los discos se colocaron en las placas de acuerdo a la metodología descrita por González-Coloma *et al.* (1995, 1996). Una

vez consumido entre 50% y 75% de la superficie de los discos control, las áreas foliares no consumidas se midieron de acuerdo a la metodología de Escoubas *et al.* (1993). Posteriormente se calculó el índice de consumo (%FR) mediante la ecuación FR= 1 - (consumo del tratamiento / consumo del control) x 100% (Bentley *et al.*, 1984). Para proceder a su fraccionamiento, se considera que un extracto es activo cuando su FR>75%. Los extractos crudos se ensayaron a una dosis inicial de 100 $\mu g/cm^2$ (Kubo, 1991). En el caso de los productos puros, aquellos que resultaron en un índice de repelencia significativo a 50 $\mu g/cm^2$, se sometieron a experimentos de dosis-respuesta para calcular sus dosis efectivas (EC_{50} = dosis para la cual se produce un 50% de inhibición de la alimentación) mediante análisis de regresión lineal (paquete estadístico STATGRAPHIC Plus v. 2.0)

b) Bioensayos de no elección (una vía)*:* Estos ensayos nos indican la capacidad del insecto para habituarse a un repelente. En este caso los insectos se pusieron en contacto con los discos tratados y control colocados en diferentes placas. El resto del experimento se realizó de igual forma que en el ensayo de dos vías.

- Bioensayos de toxicidad

Este tipo de ensayo tiene como objetivo diferenciar los compuestos repelentes de los tóxicos y/o inhibidores del crecimiento:

a) Canulación oral de *S. littoralis*: Este ensayo se llevó a cabo con larvas de *S. littoralis* L6 (de 24 h), de 400 mg aproximadamente según la metodología descrita por González-Coloma *et al.* (1999). Al final del experimento (72 h) se calculó el consumo (RCR) y el crecimiento relativo (RGR) (Farrar *et al.*, 1989).

b) Inyección de *L. decemlineata*: El compuesto disuelto en DMSO (10 μg/insecto) se inyectó a través de la sutura metacoxal de 20 escarabajos adultos (*L. decemlineata*) (González-Coloma *et al.,*1999). determinándose los porcentajes de mortalidad.

Bioensayos de mutabilidad

La actividad mutagénica de los compuestos se valoró mediante el ensayo de mutación reversa de *Salmonella typhimuriun* o test de Ames en presencia o ausencia de un sistema de activación metabólica (Ames *et al.*, 1975; Barrrueco *et al.*, 1991). Se utilizaron las cepas TA98, que detecta desplazamiento de marco de lectura que afecta a un par de bases (G-C), y la TA100 que detecta sustitución de pares de bases (G-C). Los mutantes TA98 y TA100 de *S. typhimuriun* proceden del Profesor B.M. Ames de la Universidad de California, Berkely, USA. Los genotipos, marcadores genéticos, así como sus respuestas a controles positivos y número de revertantes espontáneos se comprobaron según Maron y Ames (1983).

Bioensayos con semillas de malas hierbas

Se utilizaron semillas de *Amaranthus hypochondriacus* L., *Echinocloa cruz-galli* L., *Lycopersicum esculentum* L., *Panicum maximum* L. (Guinea) y *Rottboellia cochinchinensis* L. (Zancaraña). Se emplearon papeles de filtro impregnados con 1.5 ml de la solución a tratar (100 μg/ml de los extractos y/o productos puros) en placas petri entre 5-9 cm de diámetro. Después de evaporado el disolvente de la solución, se humedecieron con agua destilada. Las placas control contenían sólo agua destilada. Se colocaron 10 semillas por placa directamente sobre el papel de filtro humedecido. Las placas se mantuvieron en la oscuridad a 27°C. Después de pasadas entre 24-72 horas se procedió a medir la longitud y estado de desarrollo de la raíz (Anaya y del Olmo, 1999). Los datos se procesaron mediante un diseño completamente aleatorizado.

Fraccionamiento químico biodirigido. Aislamiento de productos activos

- Obtención de extractos crudos

EL material vegetal seco y molido se extrajo con etanol en un aparato soxhlet. El extracto etanólico obtenido, después de eliminar el disolvente a vacío se sometió al fraccionamiento guiado por bioensayos.

- Fraccionamiento químico biodirigido

Una vez obtenido el extracto crudo se procedió a comprobar su actividad mediante los bioensayos anteriormente descritos. Una vez determinados los tipos y niveles de actividad del extracto se comprobó que presentaba una actividad significativa tanto frente a las especies de insectos diana , por lo que se decidió proceder a su fraccionamiento químico mediante diferentes técnicas cromatográficas: cromatografía líquida de vacío (VLC), cromatografía en columna (CC), cromatografía en sephadex (SPH), cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y cromatografía en capa fina analítica (TLC) y preparativa (PTLC). Los productos puros con actividad biológica se caracterizaron sobre la base de sus propiedades físicas y espectroscópicas.

Datos físicos y espectroscópicos de los compuestos puros. Derivados estructurales y/o productos comerciales.

Esteroles

β-sitosterol (**1**) ($C_{29}H_{51}O$)
Los datos físicos y espectroscópicos de este compuesto coincidieron con los publicados previamente (Goad, 1991).

7α-hidroxi-β-sitosterol (**2**) ($C_{29}H_{50}O_2$)
$[\alpha]_D$ = - 32.7º (c, 0.2184 x 10^{-2}; $CHCl_3$)
^{1}H NMR ($CDCl_3$, 500MHz): δ: 3.60 (1H, m, H-3); 3.83 (1H, m, H-7β); 5.58 (1H, d, J=5.2 Hz, H-6); δ 0.67 (3H, s, Me-18); 0.81 (3H, d, J= 7.0 Hz, Me-27); 0.82 (3H, d, J= 7.0 Hz, M-26); 0.85 (3H, d, J= 7Hz, Me-29); 0.91 (3H, d, J= 6.5 Hz, Me-21); 0.99 (3H, s, Me-19).
^{13}C NMR($CDCl_3$, 125 MHz): δ: 37.0 (t, C-1); 31.2 (t, C-2); 71.3 (d, C-3); 41.9 (t, C-4); 146.1 (s, C-5); 123.6 (d, C-6); 62,3 (d, C-7); 37.4 (d, C-8); 42.2 (d, C-9); 37.4 (s, C-10); 20.6 (t, C-11); 39.1 (t, C-12); 42.0 (s, C-13); 49.3 (d, C-14); 24.3 (t, C-15); 28.2 (t, C-16); 55.6 (d, C-17); 11.5 (q, C-18); 18.1 (q, C-19); 36.0 (d, C-20); 18.1 (q, C-21); 33.8 (t, C-22); 26.2 (t, C-23); 45.7 (d, C-24); 29.0 (d, C-25); 18.7 (q, C-26); 18.9 (q, C-27); 22.9 (t, C-28); 11.8 (q, C-29).
EIMS (FAB): **(70 eV, m/z, int. rel.%):** 453 $[M+23]^+$; 429, (12.1); 413 (56.1); 395 (25.9); 381 (10.9); 187 (11.1); 176 (19.2); 154 (20.7); 131 (18.7); 117 (25.2); 105 (27.9); 79 (38.5); 69 (63.4); 55 (100).

7α-metoxi-β-sitosterol (**3**)
$[\alpha]_D$ = -31º (c 0.21, $CHCl_3$)
^{1}H NMR ($CDCl_3$, 500MHz): δ: 0.64 (3H, s, H-18), 0.79 (3H, d, J=6.7 Hz, H-27), 0.82 (3H, d, J=6.9 Hz, H-26), 0.83 (3H, t, J=7.4 Hz, H-29), 0.90 (3H, d, J=6.4 Hz, H-21), 0.96 (3H, s, H-19), 3.33 (3H, s, OMe), 3.60 (1H, m, H-3α), 3.29(1H, m, H-7β), 5.71 (1H, dd, J=4.9, 1.6 Hz, H-6).
^{13}C NMR ($CDCl_3$, 125 MHz): δ: 36.7 (t, C-1); 31.4 (t, C-2); 71.3 (d, C-3); 42.3 (t, C-4); 146.0 (s, C-5); 120.7 (d, C-6); 73.6 (d, C-7); 42.7 (d, C-8); 49.0 (d, C-9); 37.3 (s, C-10); 20.7 (t, C-11); 39.0 (t, C-12); 42.3 (s, C-13); 37.1 (d, C-14); 25.9 (t, C-15); 28.1 (t, C-16); 55.6 (d, C-17); 11.4 (q, C-18); 18.2 (q, C-19); 36.1 (d, C-20); 18.7 (q, C-21); 33.9 (t, C-22); 24.2 (t, C-23); 45.8 (d, C-24); 29.1 (d, C-25); 18.9 (q, C-26); 19.7 (q, C-27); 23.0 (t, C-28); 11.9 (q, C-29).
EIMS (70 eV, m/z, int. rel.%): 444 $[M]^+$ (7.8); 426 (20.2); 413 (27.3); 412 (82.6); 401 (11.5); 398 (25.6); 383 (11.3); 269 (12.7); 147 (31.2); 91 (100); 73 (93); 57 (51).
MS de alta resolución: 444.395767 correspondiente a un $C_{30}H_{52}O_2$.

Derivado estructural
4- 3β-acetil-6oxo-stigmastano (sintetizado y facilitado por el Prof. B.M. Fraga)

Alcaloides

Equimidina (**5**)
$[\alpha]_D$ = + 11.5º (c, 3.3 x 10^{-1}; EtOH)

^{1}H NMR ($CDCl_3$, 500MHz): δ 1.12 (3H, s, H-16); 1.15 (3H, d, H-13); 1.20 (3H, s, H-15); 1.71 (3H, br s, $w_{1/2}$ =4.5, H-21); 1.85 (1H, dq, J= 7.2, 1.4 Hz, H-20); 2.04 (2H, m, H-6); 2.59 (1H, q, J= 8.4 Hz, H-5β); 3.24 (1H, m, H-5α); 3.31 (1H, m, H-3β); 3.87 (1H, d, J=15.1 Hz, H-3α); 4.06 (1H, q, J= 6.2 Hz, H-12); 4.34 (1H, br s, H-8); 4.54 (1H, d, J= 13.2 Hz, H-9u); 4.81 (1H, d, J=13.2 Hz, H-9 d); 5.34 (1H, d, J= 3.4 Hz, H-7α); 5.76 (1H, s, H-2); 5.99 (1H, dq, J= 7.2, 1.4 Hz, H-19).
^{13}C NMR($CDCl_3$, 125 MHz): δ 132.9 (s, C-1); 128.2 (d, C-2); 62.4 (t, C-3); 53.6 (t, C-5); 34.2 (t, C-6); 73.4 (d, C-7); 75.5 (d, C-8); 62.0 (t, C-9); 174.07 (s, C-10); 83.24 (s, C-11); 69.4 (d, C-12); 18.3 (q, C-13); 73.2 (s, C-14); 25.9 (q, C-15); 24.6 (q, C-16); 166.6 (s, C-17); 127.2 (s, C-18); 139.1 (d, C-19); 15.6 (q, C-20).
EIMS (70 eV, m/z, int. rel. %): 398 $[M]^+$ (2.0); 300 (1.0); 220 (67.0); 120 (76.0); 59 (100)
MS de alta resolución: 397.212051 correspondiente a un $C_{20}H_{31}NO_7$.

3-O-Acetilnarcissidina (6)
$[\alpha]_D$ = -46º (c, 0.5; $CHCL_3$)
^{1}H NMR ($CDCl_3$, 500MHz) (ver Quirion y Husson, 1991)
^{13}C NMR($CDCl_3$, 125 MHz (ver Quirion y Husson, 1991)
EIMS (70 eV, m/z, int. rel. %): 375 $[M]^+$; 374 (8); 314 (19); 315 (59); 301 (7); 298 (10); 285 (31); 284 (100); 266 (56); 228 (20); 162 (9).
MS de alta resolución: 375.1660 correspondiente a un $C_{20}H_{25}NO_6$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad de los extractos crudos
- Actividad sobre insectos-plaga (actividad insecticida)
La tabla I. muestra la actividad insecticida de los extractos ensayados frente a las diferentes dianas biológicas, referida como porcentaje de inhibición de la alimentación (insectos masticadores) y porcentaje de inhibición del asentamiento (insecto chupador). Todos los extractos crudos resultaron activos frente al crisomélido olífago *Leptinotarsa decemlineata* (Say.), no así frente al lepidóptero polífago *Spodoptera littoralis* (Boisd.).Estos resultados sugieren la presencia de mezclas y/o productos puros en los extractos responsables de la actividad biológica encontrada. No se había descrito antes este tipo de actividad para estas especies de plantas.

Tabla I. Actividad de los diferentes extractos frente a insectos-plaga

Extracto	Inhibición de la alimentación (%FR)			
	L. decemlineata (10μg/cm^2)		***S. littoralis*** (10μg/cm^2)	
	Una vía	**Dos vías**	**Una vía**	**Dos vías**
E. wildpretti	78.38	73.21	<50	-
H. puniceum	79.00	82.74	<50	-

- Actividad sobre malas hierbas (actividad herbicida)
En la tabla II. se muestra el porcentaje de germinación y las características de la misma para *Rottboellia cochinchinensis* (L.) y *Panicum maximum* (L.) en presencia de los diferentes extractos vegetales.
Como se puede observar ninguno de los extractos inhibió significativamente el porcentaje de germinación de las malezas estudiadas. Sin embargo sí se observaron germinaciones anormales. En el caso de *R. cochinchinensis* todos los extractos provocaron porcentajes significativos de germinación anormal frente al control siendo mayor la actividad del extracto de *C. alba*. En el caso de *P. maximun* sólo los extractos de *C. alba* e *H. puniceum* tuvieron porcentajes significativos de germinación anormal, siendo mayor en este último.

Tabla II. Actividad de los diferentes extractos frente a dos especies de malezas.

Tratamientos	*R. cochinchinensis* (2 mg/placa)			*P. maximun* (2 mg/placa)		
	m	**gn**	**gan**	**m**	**gn**	**gam**
Control (agua destilada)	77.5	77.3	0.2	57.5	57.5	0.0
C. alba	82.5	7.5	75.0**	55.0	7.5	47.5**
H. puniceum	87.5	22.5	65.0**	52.5	0.0	52.2**
P. rubra	72.5	37.5	35.0**	70.0	65.0	5.0
E. wildpretii	77.5	57.5	20.0**	50.0	45.0	5.0

m, media del porcentaje de la germinación total; **gn,** porcentaje de germinación normal; **gan,** porcentaje de germinación anormal; ** Diferencias significativas con el control $p<0.05$

En la tabla III se muestra la actividad de los diferentes extractos en cuanto a la inhibición del crecimiento de la raíz de *Amaranthus hipochondriacus* (L.) y *Echinocloa crus-galli* (L.). El extracto de *H. puniceum* redujero significativamente el crecimiento de la raíz de *A. Hipochondriacus* y *E. crus-galli* .

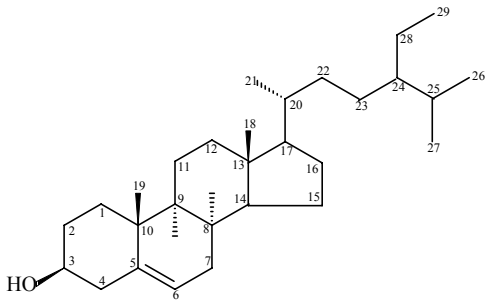
Tabla III. Inhibición del crecimiento radicular de los extractos ensayados en 2 especies de malezas ($p>0.05$)

Tratamientos	**Crecimiento de la raíz (%) (150 μg/placa)**	
	A. hipochondriacus	***E. crus-galli***
1.- Control (agua destilada)	100.0	100.0
3.- Extracto de *H. puniceum*	57.0**	58.0**

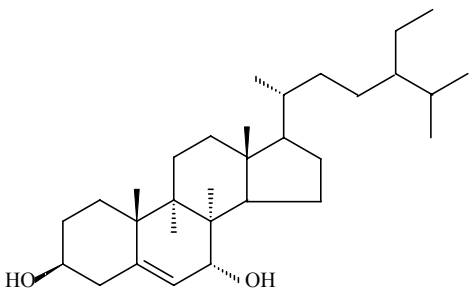
Estudio fitoquímico de los extractos crudos (determinación de la naturaleza del extracto)

Extracto de E. wildpretii:

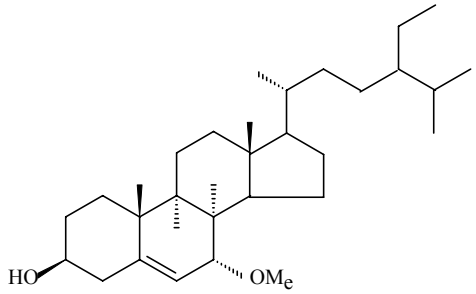
De una parte del extracto, con actividad repelente frente al escarabajo de la papa, se aislaron tres Δ^5 esteroles caracterizados por poseer un grupo etilo en C-24: el β-sitosterol (**1**), el 7α-hidroxi-β-sitosterol (**2**) y el 7α-metoxi-β-sitosterol (**3**). Este último no había sido descrito en plantas hasta el momento. Con el objetivo de estudiar sus relaciones estructura-actividad se compararon sus efectos con el acetato de 3β-hidroxi-6oxo-estigmastano (**4**) preparado a partir de una muestra comercial del compuesto **1** (Prof. B. M. Fraga, comunicación personal).



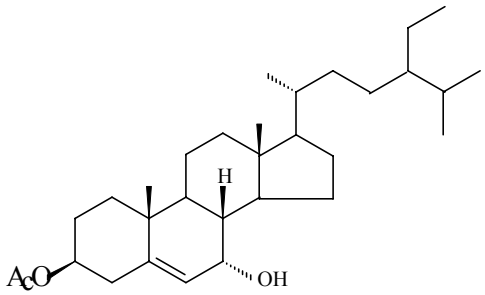
β-sitosterol (**1**)



7α-hidroxi-β-sitosterol (**2**)



7α-metoxi-β-sitosterol (**3**)



acetato de 3β-hidroxi, 6-oxo estigmastano (**4**)

Actividad biológica

En la tabla IV se muestra la actividad fagorrepelente de los compuestos **1**, **2**, **3** y **4** frente a *L. decemlineata*. Los esteroles **2** y **3** inhibieron significativamente la alimentación de este insecto, siendo **3** tan activo como el repelente modelo silfineno (EC_{50}=0.72μg/cm^2) (Mullin *et al.*, 1997), mientras que **1** y **4** resultaron inactivos. Ninguno de estos compuestos resultó tóxico para *L. decemlineata* o *S. littoralis* ni mutagénico frente a las cepas de *S. typhimurium* ensayadas.

Tabla IV. Inhibición de la alimentación (FR %) y dosis efectivas (EC_{50}, 95% límites inferior y superior) de los compuestos 2, 3, 4 y 15 frente a *L. decemlineata* en ensayos de dos vías

Producto	EC_{50} (μg/cm^2)
1	>50
2	7.63 (3.49,16.7)
3	0.39 (0.05,2.86)
4	>100

La mayoría de las plantas, algas y hongos producen gran cantidad de esteroles alquilados en C-24 (Goad, 1991) con un doble enlace en posición 5 (Δ^5 esteroles) ó 7 (Δ^7 esteroles), en presencia o ausencia de un doble enlace en C-22. Entre los Δ^5 esteroles, el β-sitosterol (**1**) y/o sus derivados suelen ser, en la mayoría de los casos, los más abundantes al ocupar entre el 40-80% de la fracción esteroidal (Behmer *et al.*, 1999). El 7α-hidroxisitosterol (**2**) también se ha aislado de plantas superiores y esponjas marinas (Guerriero *et al.*, 1993), mientras que esta es la primera vez que se aisla el derivado 7α-metoxi (**3**).

De forma general, en todos los organismos eucariotas, los esteroles juegan un papel muy importante como componentes estructurales de las membranas y como precursores de hormonas esteroides (Behmer *et al.*, 1999). Además, pueden intervenir en procesos de crecimiento vegetal (Goad, 1991), actuar como citotóxicos y/o antitumorales (Bok *et al.*, 1999) y actuar como agentes estrogénicos ambientales (Lehtinen *et al.*, 1999). Concretamente, el compuesto 3 se ha descrito como un agente antitumoral moderado; sin embargo, esta es la primera descripción del efecto antialimentario de **2** y **3** frente a *L. decemlineata*.

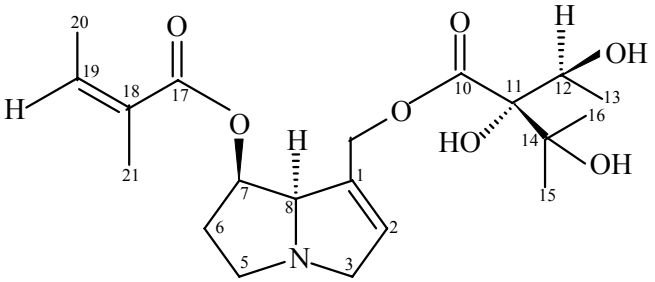
Del estudio de sus relaciones estructura-actividad se deduce que la presencia en la molécula de β-sitosterol (**1**) de un sustituyente oxigenado en C-7 (α-OH, **2** y/o α-OMe ,**3**) determina la actividad repelente de estas moléculas, con una reducción de la alimentación más significativa en el caso del grupo metoxilo (**3**).

Existen pocas referencias respecto a la presencia de esteroles antialimentarios. Los estudios de Champagne y Bernays (1991) sugieren que la quimiorrecepción no determina el reconocimiento de fitoesteroles en *Schistocerca americana* (Drury), sino que ésta ocurre post-ingestivamente, activándose un mecanismo de retroalimentación que actúa sobre los centros neuronales que regulan la alimentación.

Sin embargo, la actividad antialimentaria de los compuestos **2** y **3** (fitosteroles útiles por ser de esqueleto Δ^5) frente a *L. decemlineata* junto con la ausencia de efectos tóxicos y post-ingestivos nos hace pensar en un proceso de quimiorrecepción pre-ingestiva como mecanismo de detección de estos compuestos. Es más, el hecho de que ciertos alcaloides esteroidales sean capaces de inhibir la respuesta electrofisiológica

fagoestimulante de la sacarosa en células quimiorreceptoras de las papilas gustativas de *L. decemlineata* (Mitchell, 1987), sugiere que este insecto es capaz de reconocer químicamente la presencia de este tipo de moléculas (esteroides).
No se detectaron efectos tóxicos, post-ingestivos ni mutagénicos de los compuestos ensayados. Shroeder *et al.* (1980) encontraron muy baja citoxicidad de los compuestos **1** y **2** aislados de *Euphorbia fisheriana* (EF). En conclusión, se han aislado dos fitoesteroles activos de *E. wildpretii* cuya acción depende del sustituyente oxigenado en C-7. Su especificidad de acción y su baja toxicidad hace de estos compuestos una alternativa interesante como parte del manejo integrado de plagas**.**

Alcaloides pirrolizidínicos
La extracción alcaloidal se realizó a partir de la fracción más polar del extracto aislándose posteriormente el alcaloide pirrolizidínico (PA) equimidina (**5,** diéster no cíclico).



En la tabla V se muestra la actividad antialimentaria de equimidina (**5**) sobre dos especies divergentes de insectos herbívoros: *L. decemlineata* (no incluye en su dieta PAs) y *S. littoralis* (incluye en su dieta plantas con PAs). Los valores de las dosis efectivas de inhibición de la alimentación (EC_{50}) fueron mayores para *S. littoralis.* La equimidina mostró una fuerte actividad antialimentaria frente a *L. decemlineata* en ensayos de dos vías; no siendo así en el caso de *S. littoralis*
Este compuesto no resultó tóxico para *L. decemlineata* en inyección abdominal ni afectó los índices nutricionales de *S. littoralis*.

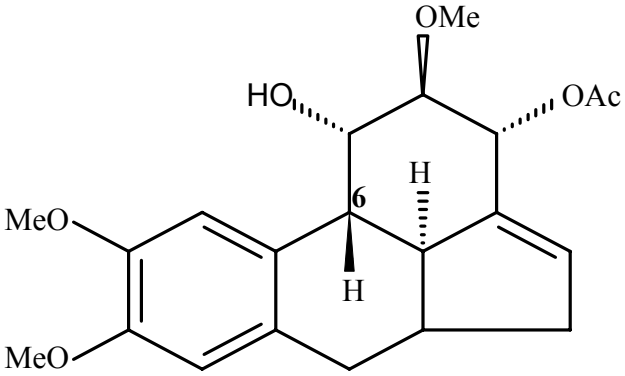
Tabla V. Dosis efectivas de inhibición de la alimentación (EC_{50}, 95% límites inferior y superior) del compuesto 5 frente a *L. decemlineata* y *S. littoralis* en ensayos de dos vías.

Clase química	Compuesto	*L. decemlineata* EC_{50} (μg/cm^2)	*S. littoralis* EC_{50} (μg/cm^2)
Diéster de cadena abierta	**5**	1.4 (0.8,2.1)	>50

Dadas las propiedades antialimentarias e insecticidas de los PAs parece claro que éstos juegan un papel defensivo, contra insectos herbívoros. Sin embargo, se conoce muy poco acerca de los mecanismos moleculares que intervienen en la interacción entre estos compuestos y los posibles receptores químicos reguladores del gusto de los insectos.
No se encontró actividad mutagénica para equimidina (**5**), aunque existen evidencias de mutagenicidad para algunos de estos alcaloides (Rubiolo *et. al.,* 1992).
Los PAs tienen efectos antialimentarios muy específicos, dependiendo de la especie de insecto y de la estructura química, con un amplio espectro de acción relacionado con su capacidad de interaccionar con varios receptores moleculares. Así, la acción sobre neuroreceptores (muscarínicos, serotonina, GABA) sería una de las principales causas de los efectos a corto plazo sobre los insectos, siendo la formación de metabolitos tóxicos el mecanismo responsable de los efectos tóxicos a largo plazo (alquilación del ADN, proteínas, etc.).

Extracto de H. puniceum:
Para el trabajo con este extracto se centró el estudio en la fracción alcaloidal (parte más polar de la planta) teniendo en cuenta que esta planta pertenece a la familia Amaryllidaceae rica en alcaloides bioactivos (Ghosal *et al.,* 1985).

Como resultado de este fraccionamiento se aisló el alcaloide 3-O Acetilnarcissidina.(**6**)



El compuesto **6** inhibió significativamente la alimentación de *S. littoralis* (EC_{50} baja) resultando inactivo frente al escarabajo de la papa (tabla VI). No se observaron efectos tóxicos ni post-ingestivos frente a *L. decemlineata* y *S. littoralis* respectivamente.
En la tabla VII se puede observar la actividad de la 3-O Acetilnarcissidina en cuanto al crecimiento de la raíz en especies de malas hierbas y plantas beneficiosas. El compuesto **6** inhibió significativamente el crecimiento de la raíz en todas las especies analizadas

Tabla VI. Dosis efectivas de inhibición de la alimentación (EC_{50}, 95% límites inferior y superior) del compuesto 6 frente a *L. decemlineata* y *S. littoralis* en ensayos de dos vías.

Producto	EC_{50} ($\mu g/cm^2$)	
	L. decemlineata	***S. littoralis***
3-O Acetilnarcissidina	<50	11.56 (10.3, 14.7)

Tabla VII. Actividad del compuesto 6 frente *A. hipochondriacus, E. crus-galli* y *L. sculentum*

Producto	% crecimiento de la raíz (150 μg/placa)		
	A. hipochondriacus	***E. crus-galli***	***L. sculentum***
Control	100.0	100.0	100.0
3-O Acetilnarcissidina	35.8**	53.8**	27.9**

** $p<0.05$

Quirion y Husson (1991) aislaron por primera vez este alcaloide de *H. puniceum*. Nuestros datos espectroscópicos coinciden con los informados por estos autores lo que nos posibilitó identificar inequívocamente este producto. Los alcaloides de la familia Amaryllidaceae se conocen por sus propiedades analgésicas, inhibidores de la fertilidad y mutágenos del ADN. Sin embargo esta es la primera vez que se describen efectos antialimentarios y herbicidas de este tipo de compuestos. En este estudio no se detectaron efectos tóxicos ni mutagénicos sobre las especies y/cepas estudiadas.

CONCLUSIONES

1. En el estudio fitoquímico de *E. wildpretii* se aislaron tres Δ^5-esteroles (β-sitosterol, **2**; 7α hidroxi-β-sitosterol, **3** y 7α-metoxi-β-sitosterol, **4**) y un alcaloide pirrolizidínico del tipo diéster de cadena abierta (equimidina, **5**).
2. En el estudio fitoquímico de *H. puniceum* se aisló un alcaloide del tipo narcissidina (3-Oacetilnarcissidina, **6**).
3. Los extractos crudos de las especies vegetales estudiadas resultaron activas frente insectos-plaga, hongos fitopatógenos y malas hierbas.

4. Los esteroles 7α hidroxi-β-sitosterol (**3**) y 7α-metoxi-β-sitosterol (**4**) inhibieron significativamente la alimentación de *L. decemlineata*, siendo el compuesto **4** tan activo como el repelente modelo silfineno. La presencia, en la molécula de β-sitosterol (**2**), de un sustituyente oxigenado en C-7 (α-OH, **3** y α-OMe, **4**) determina la actividad repelente de estas moléculas frente a *L. decemlineata*.
5. El alcaloide equimidina (diéster de cadena abierta, **5**) mostró una fuerte actividad antialimentaria frente a *L. decemlineata*, no así en el caso de *S. littoralis*. La actividad antialimentaria de los PAs depende de su estructura química y de la especie de insecto, siendo *S. littoralis* menos sensible a los efectos de estos compuestos que *L. decemlineata*, de acuerdo con sus adaptaciones tróficas.
6. El alcaloide 3-OAcetilnarcissidina inhibió la alimentación del lepidóptero polífago *S. littoralis* y redujo el crecimiento radicular de *A. hipochondriacus*, *E. crus-galli* y *L. esculentum*.
7. Ninguno de los compuestos aislados de *E. wildpretii* resultó mutagénico frente a las cepas TA 98 y TA 100 de *S. typhimurium* a las dosis ensayadas.
8. La especificidad de acción de los compuestos aislados, su baja toxicidad y su abundancia en la naturaleza, hacen de estos compuestos una alternativa interesante en programas de desarrollo de agroquímicos naturales específicos.

BIBLIOGRAFÍA

Anaya , A.L. and S. del Amo. 1999. Searching for New Biocides in the Tropical Forests in the El Eden Ecological Reserve, Quintana Roo, Mexico. Final Report. Project. USDA MX-AES-6, Grant: FG-Mx-107. Pp 135.

Ames, B. N.; McCann, J.; Yamasaki, N. Methods for detecting carcinogens and mutagens with the *Salmonella*/mammalian-microsome mutagenicity test. *Mutat. Res.* 1975, *31,* 347-364.

Barrueco, C.; Herrera, A.; De la Peña, E. Mutagenic evaluation of trichlorfon using different assay methods with *Salmonella typhimurium*. *Mutagenesis*. 1991, *6,* 71-76.

Behmer, S.T.; Elias, D.O.; Grebenok, J.R. Phytosterol metabolism and absorption in the generalist grasshopper, *Schistocerca americana* (Orthoptera: Acrididae). *Arch. Insect Biochem.Physiol.* 1999, *42*, 13-25.

Bernays, E.A. Evolution of feeding behavior in insect herbivores. *BioScience*. 1998, *48*, 35-44

Bok, J. W.; Lermer, L.; Chilton, J.; Klingeman, H. G.; Towers, G. H. Antitumor sterols from the mycelia of *Cordyceps sinensis. Phytochemistry*. 1999, *51*, 891-898.

Champagne, D.E.; Bernays, E.A. Phytosterols unsuitability as a factor mediating food aversion learning in the grasshoper *Schistocerca americana. Physiol.Entomol*. 1991, *16*, 391-400.

Cloutier, C.; Bauduin, F. Biological control of the Colorado Potato Bettles *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Crysomelidae) in quebec by augmentative releases of the two-spotted stinkbug *Perillus bioculatos* (Hemíptera: Pentatomidae). *Can. Entomol.* 1995, *127,* 195-212.

Domek, J.M.; Cantelo, W.W.; Wagner, R.M.; Li, B.W.; Miller-Ihli, N.J. Nutritional composition of potato foliage. *J. Agric. Food Chem*. 1995, *43,* 1512-1515.

Duke, S.O.; Menn J.J.; Plimmer J.R. Challenges of pest control with enhanced toxicological and enviromental safety. pp. 1-13 en: *Pest Control with Enhanced Enviromental Safety* (Duke S.O., Menn J.J. and Plimmer J.R. eds) ACS Symposium series nº 524. Washintong D.C. 1993.

Edwards, C.A. The impact of pesticides on the environment. Pp. 13-46 en: *The pesticide Question. Environment, Economics and Ethics* (D. Pimentel and H. Lehman eds.). Chapman and Hall. 1993.

Escoubas, P.; Lajide, L.; Mizutni, J. An improved leaf-disk antifeedant bioassay and its application for the screening of Hokkaido plants. *Entomol. Exp. Appl*. 1993, *66,* 99-108.

Farrar, R. R.; Barbour, J.J.; Kennedy, G. Quantifying food consumption and growth in insects. *Ann. Entomol. Soc. Am*. 1989, *82,* 593-598.

Goad, J. L. Phytosterols. Pp. 369-434 en: *Methods in Plant Biochemestry*. Academic Press. 1991, *7.*

González-Coloma, A.; Cabrera R.; Castañera P.; Gutiérrez C. Antifeedant and toxic effects of sesquiterpenes from *Senecio palmensis* to Colorado potato beetle. *J. Chem. Ecol*. 1995, *21,* 1255-1270.

González-Coloma, A.;Terrero D.; Perales A.; Escoubas P.; Fraga B.M. Insect antifeedant ryanodane diterpenes from *Persea indica*. *J. Agric. Food Chem*. 1996, *44,* 296-300.

González-Coloma A.; Fraga B.M.; Gutiérrez C.; Achenbach H. Selective insect antifeedant and toxic action of ryanodane diterpenes. *J. Agric. Food Chem.* 1999, *49*, 4419-4424.

Guerriero, A.; D'Ambrosio, M.; Prietas, F. Pteridines, sterols and indole derivates from the lithistid sponge Corallistes undulatus of the coral sea. *J. Nat.Prod*. 1993, 5*6*, 1962-1970.

Khalid, A.; Charles, D.; Perry, T.L.; Wilkins, S.P.; Hamann, M.T. Marine natural products as prototype insecticidal agents. *J. Agric. Food Chem*. 1997, *45,* 2735-2739.

Kubo, I. Screening Techniques for plant-insect interactions. pp:179-193 en: *Methods in Plant Biochemestry.* 1991**,** *vol. 6*. Assays for Bioactivity (K. Hostettman ed.). Academic Press, New York.

Lehtinen, K-J.; Mattson, K.; Tana, J.; Engström, C.; Lerche, O.; Hemming, J. Effects of wood-related sterols on the reproduction, egg survival, and offspring of brown trout (*Salmo trutta lacustris* L.). *Ecotoxicol. Envirom. Safety*. 1999, *42*, 40-49.

Maron, D. M.; Ames, B. N. Revise methods of *Salmonella* mutagenicity test. *Mutat. Res*. 1983, *113,* 173-215.

Metcalf, R.L. An increasing public concern. Pp. 426-430 en: *The pesticide Question. Environment, Economics and Ethics* (D. Pimentel and H. Lehman eds.). Chapman and Hall, New York. 1993.

Mitchell, B. K. Interactions of alkaloids with galeal chemosensory cells of Colorado potato beetle. *J. Chem. Ecol*. 1987, *13*, 2009-2022.

Mullin, C.; González-Coloma A.; Gutiérrez C.; Reina M.; Eichenseer H.; Hollister B.; Chyb S. Antifeedant effects of some novel terpenoids on Chrysomelidae beetles: Comparisons with alkaloids on an alkaloid-adapted and non-adapted species. *J. Chem. Ecol*. 1997, *23,* 1851-1865.

Poitut,S.; Bues, S. Elevage de plusieursespeces de Lepidopteres Noctuidae sur milieu artificiel simplifié. *Ann. Zool. Ecol. Anim*. 1970, *2,* 79-91.

Quirion, J-C.; Husson, H-P. (-)-3-O-Acetylnarcissidine, a new alkaloid fron *Hipeastrum puniceum*. *J. N. Products*. 1991, *54* (4), 1112-1114.

Rhodes, M.J.C. Physiological roles for secondary metabolites in plants: some progress, many outstanding problems. *Plant Molecular Biol*. 1994, *24,* 1-20.

Rubiolo, P.; Pieters, L.; Calomme, M.; Bicchi, C.; Vlietinck, A.; Berghe, V. D. Mutagenicity of pyrrolizidine alkaloids in the *Salmonella typhimurium*/mammalian microsome system. *Mutat. Res*. 1992, *281*, 143-147.

Schroeder, G.; Rohmer, M.; Beck, J.P.; Anton, R. 7-oxo-, 7α-hydroxi- and 7β-hydroxisterols from Euphorbis fischeriana. *Phytochemistry*. 1980, *19*, 2213-2215.

Williams, D.; Stone, M..J.; Hauck, P.; Rahman, S.K. Why are secondary metabolites (natural products) biosynthesised?. *J. Nat Prod*. 1989, *52*, 1184-1208.

SELECCIÓN DE VARIEDADES DE MADUREZ TEMPRANA Y ALTO CONTENIDO AZUCARERO EN CONDICIONES DE ESTRÉS AMBIENTAL POR SEQUIA.

EARLY RIPENING'S VAIIETIES SELECTION AND HIGH SUCROS CONTEN'S VARIETIES SELECTION IN INVIRONMENT STRESS CONDITION BY DRY.

Autores: González A., Pino S., Hernández I., Marrero G. y Toledano E.

ETICA: La Habana-Pinar del Río (INICA-MINAZ).

RESUMEN

El trabajo presenta los resultados de la evaluación de tres grupos de nuevas variedades de caña de azúcar en la localidad Quivicán en la provincia La Habana, donde fueron conducidos cinco estudios de campo en el período comprendido desde septiembre de 2000 hasta marzo de 2004, con el objetivo de seleccionar y recomendar variedades de madurez temprana y alto contenido azucarero, sobre la base de su comportamiento en suelos Ferralíticos rojos sin riego. Para ello, se realizaron evaluaciones en los periodos inicial y medio-final de la zafra. Los resultados demuestran, que del grupo de genotipos estudiads, se destacan por su madurez temprana C92-57, C93-53, C94-57, Mex59-174 y SP71-8210 y por su alto contenido azucarero C85-102, C86-12, C92-57, C92-67, C94-57, C94-60, Co997, Mex59-174, SC83-27, SP70-1284, SP71-6080 y SP71-8210. Se recomienda que estos cultivares sean tenidos en cuenta comercialmente y como progenitores en el Programa Nacional de Fitomejoramiento que desarrolla el INICA.

Palabras claves: caña de azúcar, madurez temprana, selección, fitomejoramiento, variedades.

SUMMARY

Three groups of new sugar cane varieties were evaluated in Quivicán location in the Havana province. For this purpose five field's studies were conduced since september of 2000 to march of 2004, in order to select and to recommend early ripening's varieties and high sucrose conten's varieties, over the base of their performance in red Ferralitic sorls without irrigation. The evaluations were development in the initial harvest's period and the middle-final harvest's period. The results demonstrated that the oll group of genotypes were studied; C92-57, C93-57, C94-57, Mex 59-174 and SP 71-8210 can be considerated as early ripening's varieties and C85-102, C86-12, C92-57, C92-67, C94-57, C94-60, Co 997, Mex59-174, SC83-27, SP70-1284, SP71-6080 and SP71-8210 as high sucrose content's varieties. It recommended that thous varieties will be taking into acaunt commercially and as Program National Breeding's parents.

Key words: sugar cane, early ripening, selection, breeding, varieties.

INTRODUCCIÓN.

El objetivo central de cualquier programa de mejoramiento de un cultivo de importancia económica, es la liberación de variedades más productivas y resistentes a las principales plagas y enfermedades que lo afectan (Bernal y otros**,** 1997). La caña de azúcar no ha estado al margen de estos objetivos, por lo que innumerables esfuerzos y resultados se han logrado en este sentido. El mejoramiento del rendimiento cañero ha sido el que más avances ha mostrado, lo cual se ve materializado en la composición varietal actual del país (Bernal y otros, 1997 y Jorge y otros, 2003).

Otras líneas del mejoramiento genético de la caña de azúcar en el país, han sido la obtención de variedades de alto contenido azucarero, siendo reportada esta como una tecnología de relevante incidencia en el incremento de la rentabilidad, productividad y sostenibilidad de la producción azucarera, ya que la transformación en que se encuentra enfrascado el sector, condiciona cambios drásticos en la política de obtención de variedades a causa de que la reducción del área agrícola presupone contar con variedades de alto contenido azucarero (González y otros**,** 2001).

En la actualidad muchos países que se dedican al mejoramiento genético de la caña de azúcar, prestan un interés especial a la selección de variedades de alto contenido azucarero y que maduren precozmente. A ello ha contribuido, la gradual generalización del pago de la materia prima sobre la base de la calidad en el momento de ser entregada a la industria azucarera (Gálvez, 1992).

La resistencia ante condiciones ambientales adversas constituye uno de los principales objetivos del mejoramiento genético actual. Su naturaleza es generalmente de origen poligénico y los métodos para su obtención son muy diversos (Cornide, 1985).

La selección de nuevas variedades de caña de azúcar de alto contenido azucarero y madurez temprana y la recomendación para su explotación comercial en suelos rojos sin riego, donde se imponen las condiciones de estrés ambiental por sequía no se excluyen mutuamente en la actividad de mejora y constituyen los objetivos básicos de este trabajo de investigaciones científicas.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Ubicación de las unidades experimentales.

Los estudios de campo se desarrollaron en las siguientes ubicaciones de la localidad Quivicán en la provincia La Habana.

a)- Área Experimental de la ETICA: La Habana-Pinar del Río.

b)- Jardín de Variedades de la UBPC: “Pablo Noriega”, en la Empresa Mielera: “Manuel Fajardo”.

c)- Jardín de Variedades de la CPA: “26 de Julio”, en la Empresa Mielera. “Manuel Fajardo”.

Los estudios ubicados en la ETICA: La Habana-Pinar del Río fueron plantados en junio de 2001 (Experimentos VBHPR-19193 y VBHPR-19294) y en junio de 2002 (Experimento VBHPR-IVI), y evaluados como caña planta quedada con 20 meses.

El estudio ubicado en la UBPC: “Pablo Noriega” fue plantado en septiembre de 2000 y evaluado como caña planta con edad de 18 meses en marzo de 2002.

El estudio ubicado en la CPA: “26 de Julio” fue plantado en marzo de 2001 y evaluado como caña planta con 12 meses de edad en marzo de 2002.

Tipo de suelo.

El suelo predominante en la localidad experimental es el Ferralítico rojo típico, corresponde a los bloques cañeros 5, 6 y 30 de la Empresa “M. Fajardo”, está evaluado con la categoría de suelo A-1, apto para el cultivo de la caña de azúcar y posee buen drenaje interno y superficial. La producción cañera en estas condiciones se efectúa comercialmente en áreas de secano, es decir, sin riego, y los estudios experimentales se condujeron en similitud de condiciones.

Características del clima.

El clima presenta dos estaciones claramente definidas: primavera (de abril a octubre) y frío (de noviembre a marzo), la primera es la de lluvia y la segunda es la de seca. La pluviometría anual en la zona oscila entre 1200 y 1600 mm; la cual está evaluada de aceptable para el cultivo de la caña de azúcar, sin embargo la

ocurrencia de un período de seca dentro del año y la presencia cíclica de años secos le sitúan a este cultivo condiciones de estrés ambiental por sequía.

Tamaño de las parcelas experimentales.

En el área experimental de la ETICA se utilizó en los 3 estudios evaluados el diseño experimental de bloques al azar con 5 réplicas y parcelas de 48,0 m^2.

En los jardines de variedades de las UPC de la Empresa: "M. Fajardo", se utilizó en los 2 estudios evaluados el diseño experimental de bloques completamente alcatorizados, con parcelas experimentales de 320,00 m^2, donde se tomaron 4 observaciones por variedad.

Variedades estudiadas.

a)- Área Experimental de la ETICA: La Habana-Pinar del Río.

Selección 1991-93	**Selección 1992-94**	**Selección VI**
C91-52	C92-55	IAC70-36
C91-73	C92-57	Mex79-174
C91-78	C92-65	RB80643
C91-79	C92-66	SP71-3507
C91-80	C92-67	SP71-6080
C91-81	C92-92	SP71-8210
C91-82	C94-57	VI = Variedades Introducidas.
C93-52	C94-59	
C93-53	C94-60	
C93-57		
C93-58		
C93-61		

Las variedades comerciales C323-68 y C1051-73 se utilizaron como testigos experimentales, la primera para evaluar el rendimiento agrícola y la segunda para evaluar el contenido azucarero y la madurez.

b)- Jardín de variedades de la UBPC: "Pablo Noriega", en la Empresa Mielera: "M. Fajardo".

Selección de variedades recomendadas por el INICA.	
C128-83	C90-530
C86-12	Co997
C86-56	SP70-1284
C86-456	SC83-27 (CP52-43)
C86-503	

Las variedades comerciales B77418, CP52-43 y C1051-73 se utilizaron como testigos experimentales de comparación.

c)- Jardín de variedades de la CPA: "26 de Julio", en la Empresa Mielera: "M. Fajardo".

Selección de variedades recomendadas por el INICA.	
C 137-81	C 86-456
C 128-83	C 86-503
C 85-102	C 90-530
C 86-12	Co 997

Las variedades comerciales B 77418, CP 52-43, C 323-68, C 1051-73 y Ja 64-19, se utilizaron como testigos experimentales de comparación.

Aspectos agrobiológicos evaluados.
Se realizaron evaluaciones en un grupo de variables agroazucareras del comportamiento de las variedades estudiadas, tal y como se relacionan a continuación:
1.- Brix refractométrico corregido (BRC).
2.- Porcentaje de pol en jugo (PPJ).
3.- Pureza del jugo (PJ).
4.- Porcentaje de pol en caña (PPC).
5.- Porcentaje de fibra en caña (PFC).
6.- Rendimiento guía (RG).
Además fue estimado el rendimiento agrícola de cada variedad estudiada en el momento de la cosecha.
Los análisis azucareros se realizaron en el laboratorio de servicios técnicos de la Granja Agropecuaria: "Pablo Noriega", de Quivicán; tomándose para ello una muestra de 5 tallos por variedad.
Procesamiento estadístico-matemático de los resultados experimentales.
En la presentación de los resultados de este trabajo de investigaciones y su discusión, sólo se incluyeron los de las variables agroazucareras porcentaje de fibra en caña, porcentaje de pol en caña y rendimiento guía. Se realizó una selección de variedades para madurez temprana y otra para alto contenido azucarero, tomando como criterio de selección el compactamiento por encima de la media de los testigos experimentales, y a partir de aquí las variedades seleccionadas fueron ordenadas según su mérito (OM). Finalmente se efectuaron ANOVA, según las características del diseño experimental utilizado en cada estudio de campo; para las siguientes variables de cosecha.
1. Rendimiento agrícola, expresado en TM de caña/ha (TCH).
2. Contenido azucarero (Rendimiento guía, RG, en %).
3. Producción de azúcar comercial (PAC), expresada en TM de azúcar/ha; según la expresión:
PAC = TCH x RG.
La comparación múltiple de medias se realizó utilizando la Prueba de Tukey al 0,05 % de probabilidad de error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.
1. Selección de variedades de madurez temprana.
Las tablas I y II ofrecen los resultados de las variedades seleccionadas por su madurez temprana, de acuerdo con las evaluaciones realizadas en cada estudio de campo en el período inicial de la zafra, es decir, en el mes de noviembre de 2003.
Puede observarse (Tabla I), que tres variedades: C92-57, C93-53 y C94-57, alcanzaron valores de porcentaje de pol en caña y rendimiento guía por encima de la media de los testigos utilizados, y que incluso el genotipo C94-57 presentó valores numéricamente superiores a los de la variedad testigo C1051-73, la cual está considerada en la actualidad como una de las variedades comerciales de Cuba de más alto contenido azucarero y precocidad madurativa, razón por la cual es una de las principales que se usan para iniciar la zafra, y moler en los meses de noviembre, diciembre y enero; que resulta una etapa muy exigente y discriminativa del comportamiento azucarero de las variedades de la caña de azúcar; tal y como fuera señalado por Gálvez (1992) y González (1997).
En cuanto al compactamiento de las variedades seleccionadas en la variable porcentaje de fibra en caña, excepto el genotipo C92-57, las otras dos muestran valores que oscilaron entre 13,00 y 15,00 %, que es el rango en que se mueven las principales variedades comerciales del país. En el caso específico de la variedad C92-57, sí llegara a establecerse como cultivar comercial podía idearse una estrategia de molida combinada con variedades similares de mayor contenido de fibra que no limitaran o afectaran su uso por la industria.

Tabla I. Variedades de las series 1991, 92, 93 y 94, seleccionadas por madurez temprana. Retoño de 9 meses (noviembre de 2003).

No.	VARIEDAD	PFC	OM	PPC	OM	RG	OM
1	C92-57	11,30	7	10,91	4	9,46	4
2	C93-53	14,60	1	11,48	3	9,99	3
3	C94-57	14,40	2	11,87	1	10,33	1
4	C323-68 (T)	14,30	3	10,01	6	8,71	6
5	C1051-73 (T)	13,20	6	11,53	2	10,03	2
6	$\overline{X}$ TESTIGOS	13,75	5	10,77	5	9,37	5
7	$\overline{X}$ Pob. Var. Est.	14,12	4	9,64	7	8,38	7

Los resultados de la evaluación de las variedades introducidas que aparecen en la tabla II, demuestran que las dos variedades seleccionadas SP71-8210 y Mex59-174 presentaron valores de porcentaje de pol en caña y rendimiento guía en el período inicial de la zafra superior a la media de los testigos experimentales utilizados, e incluso superior a los de la variedad C1051-73, razón por la que aquí también son válidas los señalamientos que al respecto se realizaron en la discusión de los resultados del anterior grupo de variedades. Ambas variedades, también muestran porcentajes de fibra en caña situadas entre 13,00 y 15,00 %.
Cuando valoramos los resultados de las cinco variedades seleccionadas en la evaluación de ambos grupos de cultivares, con respecto a la media de la población de variedades estudiadas, se infiere que dentro de una población heterogénea de genotipos, es posible realizar selección individual para un carácter determinado, y ello conduce a razonar que los que se han destacado por madurez temprana deben ser tenidos en cuenta, pues resultan de interés tanto comercialmente, como para el Mejoramiento Genético del cultivo, donde pueden ser utilizados como progenitores portadores de este carácter de selección, lo cual está en correspondencia con los objetivos del proyecto de investigaciones científicas presentado por González (2001).

Tabla II. Variedades introducidas seleccionadas por madurez temprana. Primavera quedada de 17 meses (noviembre de 2003).

No.	VARIEDAD	PFC	OM	PPC	OM	RG	OM
1	SP 71-8210	13,40	2	14,63	1	12,73	1
2	MIR 59-174	13,10	5	14,60	2	12,70	2
3	C 323-68 (T)	12,30	6	12,62	6	10,98	6
4	C 1051-73 (T)	14,10	1	14,40	3	12,53	3
5	$\overline{X}$ TESTIGOS	13,20	4	13,51	4	11,75	4
6	$\overline{X}$ Pob. Var. Est.	13,36	3	13,18	5	11,47	5

2. Selección de variedades de alto contenido azucarero.
Las tablas III, IV, V y VI presentan los resultados de las variedades seleccionadas por alto contenido azucarero, de acuerdo con las evaluaciones realizadas en cada estudio de campo en el período medio-final de la zafra, es decir en los meses de febrero y marzo. De los grupos de variedades 1991, 1992, 1993 y 1994, se seleccionaron cuatro variedades (C92-57, C92-67, C94-59 y C94-60), que alcanzaron valores de porcentaje de pol en caña y rendimiento guía por encima de la media de los testigos utilizados (Tabla III). Aquí encontramos 2 genotipos (C94-60 y C92-57) que presentaron valores numéricamente superior a los dos testigos de forma individual C1051-73, del cual ya se explicó anteriormente su excelente comportamiento azucarero y C323-68, que es una variedad comercial que en este período de la zafra se caracteriza por

alcanzar su máximo potencial azucarero. Las otras dos variedades seleccionadas (C92-67 y C94-57), además estuvieron por encima del testigo C323-68).
Resuelta importante señalar que los genotipos C92-57 y C94-57, según los resultados mostrados (Tablas I y III), se destacan tanto por madurez temprana, como por alto contenido azucarero. Aspectos estos que no necesariamente tienen que coincidir, según González (1997).

Tabla III. Variedades de las series 1991, 92, 93 y 94 seleccionadas por alto contenido azucarero. Caña planta de 20 meses (febrero de 2003).

No.	VARIEDAD	PFC	OM	PPC	OM	RG	OM
1	C92-57	14,40	6	16,23	2	14,12	2
2	C92-67	14,26	7	15,82	4	13,76	4
3	C94-57	16,42	1	15,82	5	13,76	5
4	C94-60	15,32	3	16,34	1	14,21	1
5	C323-68 (T)	13,64	8	15,67	7	13,54	7
6	C 1051-73 (T)	15,33	4	15,94	3	13,87	3
7	$\overline{X}$ TESTIGOS	14,48	5	15,80	6	13,70	6
8	$\overline{X}$ Pob. Var. Est.	15,44	2	14,38	8	12,61	8

Los resultados de la evaluación del grupo de variedades introducidas permitieron seleccionar tres genotipos de alto contenido azucarero (Tabla IV), los cuales son: Mex59-174, SP71-6080 y SP71-8210. De ellas, SP71-6080 aparecen con resultados muy similares a las de la variedad testigo C1051-73 y las tres superan al testigo comercial C323-68.
También resulta importante destacar que los genotipos Mex59-174 y SP71-8210, según los resultados mostrados (Tablas II y IV), se destacan tanto por su madurez temprana, como por su alto contenido azucarero.

Tabla IV. Variedades introducidas seleccionadas por alto contenido azucarero. Caña planta de 19 meses (enero de 2004).

No.	VARIEDAD	PFC	OM	PPC	OM	RG	OM
1	Mex 59-174	13,34	6	15,41	3	13,40	3
2	SP 71-6080	14,38	1	15,60	1	13,57	1
3	SP 71-8210	13,22	7	15,08	4	13,12	4
4	C 323-68 (T)	13,66	5	14,14	6	12,30	6
5	C 1051-73 (T)	14,34	2	15,58	2	13,56	2
6	$\overline{X}$ TESTIGOS	14,00	3	14,86	5	12,93	5
7	$\overline{X}$ Pob. Var. Est.	13,73	4	14,12	7	12,28	7

Del grupo de variedades recomendadas por el INICA, que fue estudiado en la UBPC: “Pablo Noriega” (Tabla V), se seleccionaron como variedades de alto contenido azucarero C86-12, Co997, SC83-27 y SP70-1284. Este resultado reviste gran importancia, ya que ratifica que el trabajo de introducción de nuevas variedades que se vienen realizando en la provincia La Habana está dirigido tanto al incremento de los rendimientos agrícolas como a la búsqueda de una mayor participación de variedades azucareras en el proceso productivo.

Tabla V. Variedades recomendadas por el INICA seleccionadas por alto contenido azucarero en la UBPC: "Pablo Noriega". Caña planta de 18 meses (marzo de 2002).

No.	VARIEDAD	PFC	OM	PPC	OM	RG	OM
1	C86-12	14,20	6	18,72	2	16,82	2
2	Co997	14,70	2	19,40	1	17,19	1
3	SC83-27	15,20	1	18,45	3	15,90	3
4	SP70-1284	14,10	8	17,70	5	15,79	4
5	B77418 (T)	13,10	9	17,05	8	15,21	8
6	C1051-73 (T)	14,70	3	18,25	4	15,56	5
7	CP52-43 (T)	14,70	4	17,15	7	15,21	7
8	$\overline{X}$ TESTIGOS	14,16	7	17,48	6	15,51	6
9	$\overline{X}$ Pob. Var. Est.	14,70	5	16,95	9	15,00	

Según reportes de González (2004), la variedad Co997 constituye la segunda variedad comercial en importancia de esta provincia, donde ocupaba el 16,34 % al cierre de diciembre 31 de 2003. Para esta misma fecha, la variedad C86-12, en proceso de introducción, ocupaba el 4,49 % del área agrícola cañera de la misma.

Por otro lado se tiene que el genotipo SC83-27 (CP52-43), está llamado a sustituir la variedad donante en las áreas comerciales, donde la misma se cultiva tradicionalmente, y por último la variedad SP70-1284 ofrece perspectivas de manejo con vistas a reducir los altos volúmenes de área que aún se cultivan en la provincia con las variedades C323-68 y CP52-43.

La tabla VI presenta los resultados de la variedad C85-102 que fue el único cultivar seleccionado de alto contenido azucarero en el grupo de variedades recomendadas por el INICA que se estudió en la CPA: "26 de Julio". Esta variedad presentó un excelente comportamiento azucarero en condiciones de suelos Ferralíticos rojos, sin riego, donde se comparó con cinco de las principales variedades comerciales de la provincia La Habana y del país.

Tabla VI. Variedades recomendadas por el INICA seleccionadas por alto contenido azucarero en la CPA: "26 de Julio". Caña planta de 12 meses (marzo de 2002).

No.	VARIEDAD	PFC	OM	PPC	OM	RG	OM
1	C 85-102	14,50	5	18,25	1	16,09	1
2	B 77418 (T)	13,50	8	15,00	8	13,64	8
3	C 323-68 (T)	15,20	2	17,05	4	15,00	4
4	C 1051-73 (T)	15,70	1	17,60	2	15,27	3
5	CP 52-43 (T)	15,10	3	17,55	3	15,40	2
6	Ja 64-19 (T)	14,10	7	16,90	5	14,92	5
7	$\overline{X}$ TESTIGOS	14,72	4	16,82	6	14,84	6
8	$\overline{X}$ Pob. Var. Est.	14,20	6	15,75	7	14,04	7

Esta provincia, según el cierre de variedades de diciembre 31 de 2003 (González, 2004), ocupa el 30,57 % de su área agrícola cañera plantada con nuevas variedades, donde ya se trabaja con el concepto de manejo de grupos de variedades de similar comportamiento para un determinado período de la zafra. Las variedades seleccionadas por ato contenido azucarero en las unidades productoras de caña de la Empresa Mielera: "Manuel Fajardo": C85-102, C86-12, Co997, SC83-27 y SP70-1284, están llamadas, en lo adelante a ocupar

lugares destacados en los proyectos de variedades de las Empresas Azucareras y un peso fundamental en la producción de azúcar.
En cuanto al comportamiento de las variedades seleccionadas por alto contenido azucarero en la variable porcentaje de fibra en caña, son validos los mismos razonamientos ofrecidos en la explicación de las tablas I y II.
Consideramos que también resulta importante la posibilidad de seleccionar individualmente genotipos dentro de una población heterogenia para el carácter alto contenido azucarero y que los mismos pueden resultar de valor tanto comercialmente, como progenitores portadores de este carácter. La selección de este grupo de genotipos se corresponde con el alcance de los objetivos del proyecto de investigaciones científicas presentado por González (1997).
Los genotipos de madurez temprana no tienen que ser necesariamente de alto contenido azucarero y viceversa, pero sí puede suceder que ambos caracteres se presenten simultáneamente en un individuo, por lo que la selección para un carácter no excluye la selección para el otro (González, 1997).

3. Comportamiento agroproductivo de las variedades seleccionadas en condiciones de suelos Ferralíticos rojos sin riego.

El comportamiento agroproductivo de las variedades seleccionadas de las series de 1991, 92, 93 y 94 puede observarse en la tabla VII, donde se demuestra que estas variedades presentaron resultados superiores y/o similares a los testigos experimentales en las tres variables analizadas. Esto confirma la idea, de que en dependencia de la susceptibilidad de estos genotipos a las principales enfermedades del cultivo, pueden ser empleadas con fines comerciales y/o gerénticos.

Tabla VII. Resultados agroproductivos de variedades seleccionadas. Series de 1991, 92, 93 y 94.

No.	VARIEDAD	TCH	Sig.	RG	Sig.	PAC	Sig.
1	C92-57	113,80	ab	13,80	NS	15,60	ab
2	C92-67	119,20	a	13,40	NS	16,00	a
3	C93,53	102,40	ab	17,80	NS	13,20	ab
4	C94-57	118,00	ab	13,20	NS	15,80	ab
5	C94-60	96,60	ab	13,60	NS	13,40	ab
6	C323-68	123,40	a	12,60	NS	16,00	a
7	C1051-73	85,40	b	13,40	NS	11,46	b
8	C.V.F	12,30 %		4,34 %		12,32 %	
	TUKEY	33,0270		1,4254		4,4229	

La tabla VIII muestra los resultados agroproductivos de las variedades introducidas, y a partir de aquí se observa que de las tres variedades seleccionadas por alto contenido azucarero y madurez temprana, en la variable toneladas de caña por hectáreas, el genotipo Mex59-174 fue significativamente inferior al testigo C1051-73 y se igualó en comportamiento con las otras dos variedades seleccionadas SP71-6080 y SP71-8210 y con el otro testigo (C323-68); mientras que en el rendimiento guía no se encontraron diferencias significativas entre estas 3 variedades y los testigos de comparación, y por último, se tiene que la variable producción de azúcar comercial siguió un patrón de variación similar al de las t caña/ha; cuestión esta ya demostrada en el patrón de variación entre las variables t caña/ha y t pol/ha. Aspectos estos señalados y ratificadas por numerosos investigadores nacionales e internacionales.
En la tabla IX, se pueden apreciar las deficiencias significativas que se presentaron entre las variedades evaluadas y los testigos de comparación. De las 4 variedades seleccionadas por alto contenido azucarero en la UBPC: "P. Noriega", se tiene que Co997 fue significativamente superior al resto de los cultivares en las tres variables analizadas; ratificando su potencialidad productiva y el lugar que hoy ocupa en la producción azucarera de la provincia La Habana.

En la variable TCH las variedades SP70-1284 y SC83-27 se comportaron similar a los tres testigos comerciales y C86-12 fue significativamente inferior a estas; en la variable rendimiento guía, estas dos variedades presentan valores significativamente superior a los testigos comerciales y entre estos y C86-12 no hubo deficiencias significativas; y en la producción de azúcar comercial se observó un patrón de variación fenotípica similar al observado en el rendimiento agrícola, lo que ratifica lo señalado al respecto interiormente.

Tabla VIII. Comportamiento agroproductivo de las variedades introducidas.

No.	VARIEDAD	TCH	Sig.	RG	Sig.	PAC	Sig.
1	C323-68	183,60	ab	11,60	bc	22,20	ab
2	IAC70-36	172,00	ab	9,60	d	17,20	b
3	Mex59-174	125,00	b	13,00	ab	16,60	b
4	RB80643	130,19	b	11,60	bc	15,40	b
5	SP71-3507	154,00	ab	10,80	cd	17,20	b
6	SP71-6080	159,39	ab	13,00	ab	21,20	ab
7	SP71-8210	140,39	ab	12,60	ab	18,00	ab
8	C1051-73	194,19	a	13,20	a	26,00	a
9	C.V.F	19,39 %		5,20 %		20,31 %	
	TUKEY	63,1312		1,5490		8,0778	

Estos resultados ratifican que los genotipos SP70-1284 y SC83-27 están llamados a ocupar posiciones destacadas en la producción azucarera de la provincia La Habana, donde pueden emplearse comercialmente para disminuir los altos volúmenes que todavía se manejan de la variedad CP52-43, cuyo compactamiento es igual o inferior a estos dos cultivares.

Tabla IX. Comportamiento agroproductivo de las variedades recomendadas en la UBPC: "P. Noriega".

No.	VARIEDAD	TCH	Sig.	RG	Sig.	PAC	Sig.
1	C128-83	149,50	c	15,25	cd	22,75	c
2	C86-12	136,00	d	16,50	ab	22,25	c
3	C86,56	116,00	f	14,25	de	16,50	e
4	C86,456	131,00	e	13,25	e	17,25	de
5	C86-503	101,00	g	12,00	f	11,75	f
6	C90-530	136,00	d	13,50	e	18,50	d
7	Co997	172,25	a	17,00	a	29,50	a
8	SP70-1284	166,00	b	15,75	bc	25,75	b
9	SC83-27	162,00	b	15,50	bc	25,00	b
10	B77418	163,00	b	15,25	cd	25,00	b
11	CP52-43	164,00	b	15,00	cd	24,75	b
12	C1051-73	164,75	b	15,25	cd	25,25	b
13	C.V.F	2,31 %		5,20 %		4,30 %	

Del grupo de variedades evaluadas en la CPA: "26 de Julio" (Tabla X), sólo la variedad C85-102 fue seleccionada por resultados de alto contenido azucarero, sin embargo, en la misma tabla puede observarse que este genotipo presentó un rendimiento agrícola muy discreto y fue significativamente inferior a las cinco variedades comerciales con las cuales se comparó, aspecto que también fue similar en la producción de

azúcar comercial, mientras que en la variable rendimiento guía fue superior a todos los genotipos considerados en el estudio, incluyendo los testigos experimentales.
Los resultados, del comportamiento agroproductivo de la variedad C85-102, no invalidan sus posibilidades de explotación en condiciones de suelos Ferralíticos rojos sin riego en otros ciclos de plantación y cosecha diferentes al usado en este estudio, sino que por el contrario, ratifican que cada variedad debe ser estudiada, evaluada y seleccionada en la condición ambiental donde sé ira a cultivar, por la presencia de la interacción genotipo x ambiente, lo cual ha sido ratificado recientemente por García (2004).

Tabla X. Comportamiento agroproductivo de las variedades recomendadas en la CPA: "26 de Julio".

No.	VARIEDAD	TCH	Sig.	RG	Sig.	PAC	Sig.
1	C137-81	110,00	de	13,25	d	14,50	fg
2	C128-83	122,25	b	14,25	c	17,50	bcd
3	C85-102	98,75	f	16,00	a	15,50	ef
4	C86-12	120,25	bc	14,50	bc	17,25	cd
5	C86-456	102,00	f	12,75	de	13,00	hi
6	C86-503	101,00	f	12,00	c	12,25	i
7	C90-530	104,75	ef	13,00	d	13,75	gh
8	Co997	146,25	a	13,25	d	20,00	a
9	B77418	110,25	de	13,25	d	14,75	fg
10	CP52-43	123,25	b	15,25	ab	18,50	b
11	C323-68	114,00	cd	15,00	bc	16,50	de
12	C1051-73	90,50	g	15,00	bc	13,25	hi
13	Ja64-19	122,50	b	14,75	bc	17,75	bc
14	C.V.F	4,14 %		4,00 %		5,34 %	

4. Evaluación de las condiciones de estrés ambiental por sequía en la localidad experimental Quivicán.
El criterio de índice de sequía (Lecha y otros, 1994), calculado para los años 2000-2003 que aparece representado en la figura 1; nos permite determinar las zonas y los períodos en los cuales es necesario, al menos, suministrar agua a los cultivos para que no mueran.
De forma general puede señalarse que en el período de seca noviembre-abril, en esta localidad experimental el índice de sequía alcanza valores en el rango de 5,00 a 20,00; que es un indicativo de condiciones de estrés para el normal desarrollo del cultivo, por lo que siguiendo el criterio de los autores señalados anteriormente, se demuestra que en condiciones de suelos Ferralíticos rojos, el riego puede resultar necesario y útil para las plantaciones comerciales de la caña de azúcar durante el mismo.
El índice de sequía (Y) que se muestra en la figura 1 (promedio mensual anual), no es un reflejo del comportamiento puntual de cada período, pero sí indica que las precipitaciones en la localidad tienen un patrón muy variable de compactamiento, por tal razón la selección de variedades realizada bajo estas condiciones, permite considerar que las mismas son resistentes a este nivel de estrés ambiental por sequía, lo que está en correspondencia con los resultados de García (2004), el cual demostró que los resultados de la evaluación de variedades de caña de azúcar en condiciones de estrés ambiental no son extrapolables entre localidades y que la selección de variedades resistentes a las mismas debe hacerse "***in situ***".

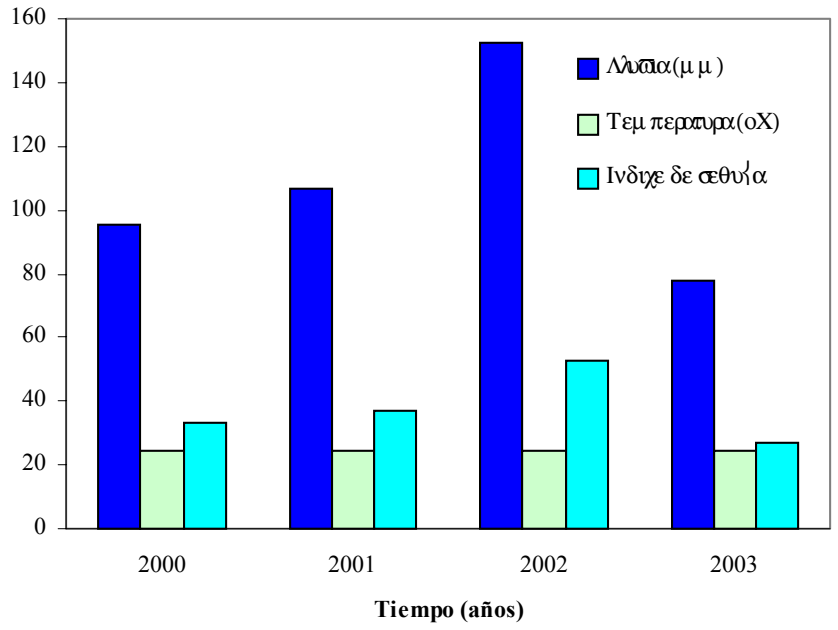


Figura 1. Parámetros de calidad del ambiente de selección en la localidad experimental Quivicán.

CONCLUSIONES.

1. Los genotipos C92-57, C93-53, C94-57, Mex59-174 y SP71-8210 se destacan como variedades de madurez temprana.
2. Los genotipos C92-57, C92-67, C94-57, C94-60, C85-102, C86-12, Co997, Mex59-174, SP70-1284, SP71-6080, SP71-8210 y SC83-27 se destacan como variedades de alto contenido azucarero.
3. Los genotipos C92-57, C94-57, Mex59-174 y SP71-8210 se destacan como variedades de madurez temprana y de alto contenido azucarero.

RECOMENDACIONES.

1. Incluir las variedades C85-102, C86-12, Co997, SP70-1284 y SC83-27 en los proyectos de las empresas azucareras de la provincia La Habana para su explotación en condiciones de suelos Ferralíticos rojos.
2. El uso de las variedades seleccionadas tanto por madurez temprana como por alto contenido azucarero como progenitores en el Programa de Cruzamientos del INICA con fines comerciales y/o genéticos.
3. Continuar estudiando los genotipos de las series 1991, 92, 93, 94 e introducidas en la ETICA: La Habana-Pinar del Río, con el objetivo de seleccionar y recomendar nuevas variedades comerciales.

REFERENCIAS .

1. Bernal, N., Morales, F., Gálvez, G., Jorge, I. (1997), Variedades de Caña de Azúcar. Uso y Manejo. Publicaciones IMAGO. INICA, pp. 101.
2. Cornide, Mª. T. (1985), Resistencia Genética. Parte II. Resistencia a otros factores adversos. En: Genética Vegetal y Fitomejoramiento. Ministerio de Cultura. Edit. Científ.-Técnica. La Habana, pp. 445.

3. Gálvez, G. (1992), Resúmenes 46 Congreso ATAC, pp. 43.
4. García, H. (2004), Tesis para optar por el grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA. MINAZ pp. 123 .
5. González, R. M. (1997), Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de La Habana, pp. 122 .
6. González, R. M. (2001), Proyecto de Investigaciones Científicas (Código 001.011.66). INICA-CITMA.
7. González, R. M., Tomeu, A., Jorge, H., Santana, I., Vega, A. (2001), Contribución al Conocimiento y el Manejo de las Variedades de Caña de Azúcar. Curso de Capacitación UASTE. INICA. La Habana, pp. 75.
8. González, A. (2004), Informe Anual 2003. (Informe Técnico a la Reunión Anual del Programa de Fitomejoramiento del INICA). Departamento Territorial de Fitomejoramiento. ETICA, La Habana-Pinar del Río, pp. 21.
9. Jorge, H., Suárez, O., García, H., Jorge, I., Santana, I., Crespo, R. (2003), Edición PUBLIINICA. Ciudad de la Habana, pp. 28.
10. Lecha, L., Paz, L. R., Lapinel, B. (1994), El Clima en Cuba. Editorial Academia. La Habana, pp. 186.

EVIDENCIAS DE CAMBIOS FISIOLÓGICOS EN PLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR CON SÍNTOMAS DE AMARILLEAMIENTO FOLIAR.

Dolores Piñón[1], C. Vicente[2], R. Acevedo[1], R de Armas[3] y M.E. Legaz[2]
1.-Instituto Nacional de la Caña de Azúcar. MINAZ, Cuba
2.-Laboratorio de Fisiología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad Complutense, Madrid, España.
3.-Departamento de Fisiología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba. Carretera de la Cujae, Km 1 ½, Boyeros, La Habana, CUBA e-mail: schlachter@enet.cu

RESUMEN

Se observaron cambios ultraestructurales en plantas de caña de azúcar de la variedad C120-78 con síntomas de amarilleamiento foliar (YLS). La epidermis abaxial de las hojas mostró gran cantidad de cuerpos superficiales que ocluían parcialmente a los estomas. Se encontró un grupo de células rodeando al floema de hojas enfermas y separadas de los tejidos por una larga capa de matirz amorfa semejante a una cera. En las plantas enfermas pudieron observarse además vasos del xilema agrandados y cuerpos esféricos similares a fitoplasmas en los espacios intercelulares. Se encontró que en los jugos de las plantas con síntomas de YLS, incrementaron la concentración de azúcares reductores, el índice de glucosa y la concentración de glicoproteínas mientras la concentración de sacarosa decreció. Los jugos provenientes de plantas con y sin síntomas de YLS, arrojaron la presencia de putrescina (PUT), cadaverina (CAD), espermidina (SPD), y espermina (SPM) tanto libres como conjugadas. Sólo la cadaverina y espermidina aparecieron conjugadas, en pequeñas cantidades, en las fracciones solubles ácidas mientras PUT Y CAD fueron las de mayor concentración en su forma conjugada principalmente a proteínas de alto peso molecular. La enfermedad está asociada a un incremento de las poliaminas totales. La actividad de la arginasa y omitidin descarboxilasa responsables de la síntesis de PUT fue mayor en los jugos de las plantas con síntomas de YLS; la CAD y SPM pudieran estar conjugadas a ácido clorogénico, siríngico y ferrúlico en las plantas enfermas.

Palabras claves: amarilleamiento foliar, caña de azúcar, fisiología

PHISIOLOGYCAL CHANGES EVIDENCE IN SUGARCANE PLANTS WITH YELLOW LEAF SYNDROME.

Dolores Piñón[1], C. Vicente[2], R. Acevedo[1], R de Armas[3] y M.E. Legaz[2]
1.-National Sugarcane Research Institute.. MINAZ, Cuba Carretera de la Cujae, Km 1 ½, Boyeros, La Habana, CUBA e-mail: schlachter@enet.cu
2.-Plant Phisiology Laboratory, Facultad de Biología, Universidad Complutense, Madrid, España.
3.-Plant Phisiology Department, Biology Faculty, Havana University, Cuba.

ABSTRACT
Some ultrastructural changes can be observed in diseased plants cv. C120-78 with vissual symtoms of yellow leaf syndrome (YLS), used to discriminate between healthy and diseased plants.Abaxial epidermis of diseasesd leaves shows a large amount of adhered superficial bodies, wich partially occluded some stomats.Bundle sheats cell surrounding the bottom of phoelm of diseased leaves are separated from the conducting tissues by a large layer of an amorphous matrix similar o wax. Debris of the end wall can be observed in large xylem vessels. Sometimes spherical bodies similar to phytoplasma can be observed in the intercellular spaces of bundle sheath cells. These particles have never been observed in healthy plants. YlS was also associated to an increase of the concentration of reducing sugars, glucose index, and glycoproteins recovered in juices whereas the amount of sucrose decreases. Sugarcane juices obtained from both healthy and YLS affected C120-78 cultivars of sugarcane containes putrescine (PUT), cadaverine (CAD), spermidine (SPD) y spermine (SPM) as free and macromolecules conjugated compounds. Only CAD and SPM appeared as acid – soluble conjugates to small molecules whereas PUT and CAD are the major polyamines (Pas) conjugated to macromolecules, mainly to high molecular mass glycoproteins. The disease was associated to an increase in total PA fraction. Arginase and omithidine descarboxylase activities, responsible for the synthesis of PUT, were higher in YLS juices than in those obtained from healthy plants. CAD and SPM presumably conjugated mostly to chologenic, syringic and ferrulic acids in juices from YLS plants.

Key words:yellow leaf syndrome, sugarcane; phisiology

1.-INTRODUCTION

Sugarcane, *Saccharum* spp. hybrid, widely suffers in many countries a yellowing and stunting disease called sugarcane yellow leaf syndrome (ScYLS). The primary symptom of disease is the bleaching of the midrib, which becomes yellow and this may spread from the midrib to the lamina in canes 6-month-old and older. In severe cases, diseased plants are stunted and can be pulled easily. In some instances, this situation leads to important economic losses, either by a signi.cant yield decrease or by a decline in the productivity of affected cultivar [Lockhart,et al.,.1996]. Evidences about the association of two possible causal agents, a phytoplasma, provisionally named sugarcane yellow phytoplasma (ScYP), and a luteovirus, named sugarcane yellowleaf virus (ScYV) in sugarcanes affected by the yellow leaf syndrome (YLS) have been extensively described [Schenck,1991].
ScYV is widely distributed in the United States and neighbouring countries where it is the main causal agent of theScYLS [Matthews,1963]. It is considered to be a Poleovirus of the Luteoviridae family [Moonan et al.,. 2000]. Virus particles are limited to phloem tissue and have been observed in the cytoplasm of phloem companion cells [Schenck,1997] in sugarcane with YLS. Research with phloem-limited viruses of other crops indicates that sucrose transport is affected and the plant growth is slowed even when no visual symptoms of the disease are evident [Rodríguez,2000].Diagnostic procedures for detection of *Saccharum* yellow leaf virus (ScYLV) have been performed using both enzymelinked immunosorbent assay (ELISA) [Comstock et al.-.1998] and tissue blot immuno-assay (TBIA) [Kiswanathan.1997].The other causal agent, phytoplasma, is also a phloem limited pathogen that causes destructive plant diseases in many other crops of economic importance, different to sugarcane.In South Africa, ScYLS is mainly associated with a phytoplasma (ScYP), as shown by polymerase chain reaction (PCR) [Cronje et al., 1998]. In a Cuban survey of ScYLS plants only

a low percentage of canes present the virus whereas most of them are infected by ScYP [Arocha and col. 19991]. Variation of phytoplasma concentrations in different bud positions and different tissue samples of the grassy shoot disease (GSD) of sugarcane have been also noticed [Wonghaew et al.,.1997].

Ultrastructural changes associated to YLS have not yet been studied. Only Cronje et al. [1998] found that the phloem cell walls were thickened and have osmiophilic patches in YLS leaves whereas chloroplasts of chlorophyll-bearing bundle sheath cells are abnormally small. In general, changes in sucrose transport and accumulation are often related to the production of some heterofructans that accumulate in sugarcane stalks [Martínez et al.,.1990]. These heterofructans can also be associated to some peptides forming glycoproteins that can be separated into two main groups designed as high molecular mass glycoproteins (HMMG) and midmolecular mass glycoproteins (MMMG) [Legaz et al.,. 1995]. These heterofructans are produced from a cell-wall polysaccharide in response to mechanical injuries or as a function of plant age [Martínez et al.,l 1990]. They are considered as a defence response of sugarcane against infection or mechanical injury. However, effects of ScYLS on yield and sugarcane juice composition are unknown.

Other defence mechanisms in sugarcane are related to the accumulation of .avonoids and other phenolic compounds. In pathogen–plant interactions, certain end-products of the (*iso*).avonoid biosynthesis pathway serve as phytoalexins in plant defence reactions [Rao et al.,1989], as chemoattractants towards pathogenic and symbiotic bacteria [Phelps and Young 1996], or as signal molecules required for the induction of essential bacterial genes, leading to the appropriate interaction with the host plants [Hachiys et al., 1996]. Recently, Legaz et al. [Legaz et al.,1998] reported that the infection of sugarcane buds (var. Barbados 42231) with teliospores of *Ustilago scitaminea* changes the pattern of polyamine (PA) conjugation in several organs of plants and that some phenolics are associated with different PA fractions.PAs are often related to pathogen infectivity. PAs are biologically ubiquitous basic molecules, which are positively charged at physiological pH values. Due to their positive charge, PAs are known to bind negatively charged molecules, e.g. nucleic acids, acidic phospholipids and various types of proteins [Galston et al., 1997]. PAs occur in plants in free form, bound electrostatically to negatively charged molecules, and conjugated to small molecules and proteins. Some authors propose that the protective effect of exogenous PAs against damages produced by a stress situation is dependent on their previous conversion to conjugates [Klechkovskaya et al., 1998]. It is clear that any discussion of PAs in plant–pathogen interactions must include conjugated as well as free forms of PAs [Walter, 2000].

In addition, the production of amide conjugates between phenolic acids and PAs have been described as phytoalexins synthesised by several higher plants in response to the infection of viruses and fungi [Lovis abd Negrel,1991]. Experimental infection of sugarcane buds from sensitive Barbados 42231 cv. and resistant Mayari 5514 cv. of sugarcane hybrids to smut, leads to an increase of both free and conjugated PAs as well as the phenolic acids associated to this fraction [Legaz et al., 1998].

The aim of this work has been to establish whether plants infected with ScYLP develop a mechanism of response that affects the agroindustrial quality of their juices. We .rstly con.rm that diseased plants showed altered leaf structure and, occasionally, phytoplasm-like particles. This will be con.rmed by the corresponding ultrastructural studies. Once demonstrated that plants were really infected, some biochemical parameters, such as polysaccharides, phenols and PAs, probably related to the response of plants to disease, will be quanti.ed and related to juice quality.

***Abbreviations**:* CAD, cadaverine; EDTA, ethylene diamine tetracetic acid; HMMG, high molecular mass glycoproteins; HPLC, high performance liquid chromatography; I.D., internal diameter; LDC, lysine decarboxylase; MMMG, mid-molecular mass glycoproteins; ODC, ornithine decarboxylase; PA(s), polyamine(s); PALP, pyridoxal phosphate; PCA, perchloric acid; PH-PA, acid-insoluble, conjugated polyamines; PUT, putrescine; ScYLV, *Saccharum* yellow leaf virus; ScYP, *Saccharum* yellow phytoplasma; S-PA, free, soluble polyamine; SH-PA, acid-soluble, conjugated polyamine; SPD, spermidine; SPM, spermine; TCA, trichloroacetic acid; YLS, yellow leaf syndrome.

2 METHODS

2.1. Plant material

S. offýcinarum (L.), cv. Cuba 120-78, .eld grown, was used throughout this work. Plants were developed from agamic seeds, obtained from healthy or YLS diseased plants, and cultured on soil in the Real Jardín Botánico Alfonso XIII (Complutense University, Madrid) for 12 months. At this last time, symptom severity ofYLS plants was calculated to be of degree 2 [Peralta et al.m 1999]. Seeds were planted in April on clay soil mixed

with 25% sand (w/w), fertilised with nitrogen (150 kg ha–1), phosphorus (75 kg ha–1) and potassium (120 kg ha–1) at the moment of planting. Healthy and diseased plants were cultured in isolated greenhouse, under identical natural temperature and light conditions, and daily irrigated.

2.2. Nested PCR

Nested PCR was achieved according to Cronje et al. [1998] using two couples of primers de.ned by a conserved sequence of 16S rRNA SN910601/DH6 [Deng and Himki,1991] for the .rst nested PCR and R16F2n/R16R2 [Namba et al., 1993] for the second:

SN910601: 5'-GTT TGA TCC TGG CTC AGG ATT-3'.

DH6: 5'-CGG TAG GGA TAC CTT GTT ACG ACT TA-3'.

R16F2n: 5'-GAA ACG ACT ACT GCT AGG ACT GG-3'.

R16R2: 5'-TGA CGC GCG GTGTGTACAAAC CCC G-3'.

Products were analysed by electrophoresis on 1% agarose gel in 1× TAE (40 mM Tris–acetate buffer, pH 7.8, containing 1.0 M ethylene diamine tetracetic acid (EDTA)) solution, at 80V for 1 h, and revealed with 10 µg µl–1 ethydium bromide and observed by transillumination with UV light. Phage U 174 digested with Hal III was used as a molecular marker. The product obtained contained 1.25 kbp. Digestion with HaeIII was carried out at 37 °C for 2 h according to the manufacturer instructions. Fragments produced (1.0 and 0.12 kbp) were separated by electrophoresis on 2% agarose gel.

2.3. Leaf ultrastructure

The ultrastructure of sugarcane leaves obtained from healthy or diseased plants was examined by conventional SEM. Samples were .xed in 2% glutaraldehyde (v/v) in 0.1 M phosphate buffer, pH 7.2, post-.xed with osmium tetroxide, washed, dehydrated in acetone, critical-point dried, sputter-coated with gold/palladium and scanned at 20 kV by SEM using a JEOL JSM 6400 (Japan). Digital images were obtained by using an INCA (Oxford) program incorporated to the equipment.

2.4. Preparation of sugarcane juices

Sugarcane stalks were mechanically crushed immediately after being cut, the crude juice was .ltered through .lter paper and stored at –26 °C until required. In crude juices, the apparent sucrose concentration was measured by conventional polarimetry and the reducing sugars by the method of Sumner [1921].

2.5. Separation of soluble glycoproteins

Filtered sugarcane juices were centrifuged at 2500 × *g* for 30 min at 4 °C. Then, 3.5 ml of juices obtained from both healthy and yellowish stalks were chromatographed through a 15 cm × 2.5 cm internal diameter (I.D.) column of Sephadex G-10 (Omni.t), pre-equilibrated with 10 mM phosphate buffer at pH 6.8. Elutionwas carried out with the same buffer.

The .rst 23 ml of eluate, corresponding to void volume, were discarded. Fractions (1.0 ml) 24–40 were collected and considered as a mixture of both HMMG and MMMG.After this, an aliquot of 6 ml of the mixture were chromatographed again throughout a Sephadex G-50 column (30 cm × 2.5 cm I.D.), pre-equilibrated and eluted as above. The .rst 52 ml were discarded whereas fractions (1.0 ml each one) 53–82, containing HMMG and fractions 83–132, containing MMMG,were collected [Armas et al., 1999]. Eluted fractions were monitored for carbohydrates according to Dubois et al. [9], and for proteins, according to Potty [Potty and Young,1996].

2.6. Extraction and analysis of polyamines

PAs from sugarcane juices and from the two glycoprotein preparations, HMMG and MMMG, were analysed as dansyl derivatives by high performance liquid chromatography (HPLC), according to the method described by Escribano and Legaz [1988] with minor modi.cations. Samples of 2.5 ml were mixed with 6.0 ml of 5% (w/v) cold perchloric acid (PCA) and 150 µl of 5 mM *n*-butylamine as an internal standard. The mixtures were stored overnight at 4 °C in plastic tubes and then centrifuged at 17 000 × *g* for 20 min at 2 °C. The supernatant (.rst supernatant) contained free (S) and acid soluble conjugated (SH) PAs. The precipitate, containing conjugated acid insoluble (PH) PAs,was resuspended in 6.0 ml of 1.0MNaOH and 150 µl of 5mM*n*-butylamine as an internal standard and treated as previously described.

Aliquots of 3ml of both SH- and PH-PAs and 3ml of the .rst supernatant (S-PAs), were dansylated with 0.4 ml of 75 mM dansyl chloride in acetone in presence of 0.4 ml of saturated sodium carbonate. Suf.cient amount of NaOH was added to keep the pH of the reaction mixture at 12. Dansylated Pas were extracted from the mixtures with toluene (HPLC-grade) and then cleaned according to Rodríguez et al. [2000]. PAs were eluted from a Kromasil C18 5 µm particle diameter reverse phase column (250 mm × 4.6 mm I.D.) at 40 °C, using an acetonitrile:water gradient. Detection was performed by .uorescence intensity measurements, at an excitation wavelength of 360 nm and an emission wavelength of 460 nm.

2.7. Extraction and analysis of phenolic acids

Aliquots of 2.0 ml of each PA fraction obtained from juices (S-, SH- and PH-PAs), were extracted twice with 4 ml of chloroform:acetonitrile (60/40 v/v) and then with 4 ml of diethyl ether:ethyl acetate (65/35, v/v). Organic phases were mixed and carried out to dryness under air .ow. Residues were redissolved in 0.5 ml acetonitrile and .ltered through a 0.45 µm pore diameter nylon .lter before HPLC analysis as described by de Armas et al. [6]. Protocatechuic, ferulic, *p*-coumaric, syringic, chlorogenic, caffeic and *p*-hydroxybenzoic acids, from Sigma Chemical Co. (St.Louis, MO, USA), were used as standards.

2.8. Assay of arginase activity

Arginase activity was assayed according to Legaz [1991], including crystalline urease in the reaction mixtures to hydrolyse urea produced. Reaction mixtures contained, in a .nal volume of 3 ml, 0.1 MTris–HCl buffer, pH 9.1, 3 µmol L-arginine, 1.7 mg crystalline urease, 7.5 µmol maleic acid, 5 µmol MnSO4 and 0.3 mg sugarcane juice protein. All enzyme activities, not only arginase, were given as katals.

2.9. Assay of ornithine decarboxylase

ODC activity was assayed by HPLC [Legaz et al., 2001]. Reaction mixtures consisted of 2.5 mM b-mercaptoethanol, 1.5 mM EDTA, 7.5 nM pyridoxal phosphate (PALP) and 3 mML-ornithine –HCl in 150 mM potassium phosphate buffer, pH 7.1. The reaction was started by the addition of 200 µl substrate solution to 100 µl of .ltered sugarcane juice. The reaction mixture was incubated at 37 °C for 30 min and stopped by adding 200 µl 10% (w/v) trichloroacetic acid (TCA). Controls were performed with sugarcane juice previously inactivated in the presence of 10% (w/v) TCA. Reaction mixtures were then centrifuged at 8500 × *g* for 15 min at 2 °C. The pellet was discarded and 50 µl of 5 mM *n*-butylamine were added to the supernatant. The mixture was analysed by HPLC, as described previously. A standard curve was performed with variable concentrations of commercial PUT.

2.10. Assay of lysine decarboxylase

LDC activity was assayed by HPLC [Legaz et al., 2001]. Each reaction was initiated by adding 500 µl of a substrate solution consisting of 5.0 µM PALP and 2.5 mM L-lysine–HCl in 0.5 M sodium acetate buffer, pH 6.0, to 500 µl of .ltered sugarcane juice. The reaction mixture was incubated at 37 °C for 20 min and reaction was stopped by adding 1 ml of 1 M potassium carbonate. Controls were performed with sugarcane juice previously inactivated with 1 M potassium carbonate. Reaction mixtures were analysed as described previously.

3. RESULTS

3.1. Healthy and diseased sugarcane plants

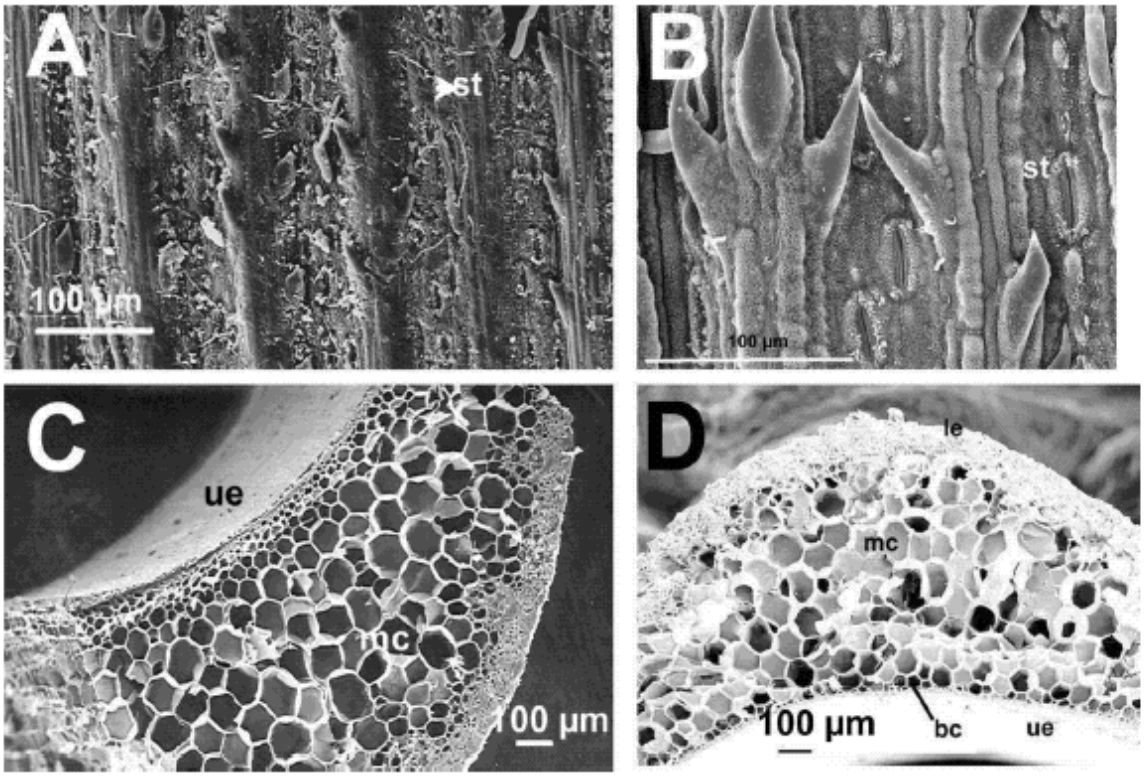
Electrophoretic bands of 1.25 kbp similar to sequences ampli.ed by nested PCR (which used internal segments from the .rst ampli.ed oligonucleotide as primers for a second ampli.cation) from the primers described in Section 4 were found in about 82% of leaves from plants showing visual symptoms of YLS. This fact could be explained on the basis of the irregular distribution of phytoplasma in plant tissues [Schenck,1991]. Digestion with HaeIII always produced bands of 1.0 and 0.12 kbp, as expected in these RFLP analysis.Healthy plants were de.ned as those that never produced these electrophoretic bands (data not shown).

3.2 . Ultrastructural changes of YLS sugarcane leaves

The upper and the lower epidermal layers of sugarcane leaves are formed by brick-shaped cells with their long axes parallel to the leaf. Abaxial epidermis of diseased leaves shows a large amount of adhered super.cial bodies, mainly located between parallel thorny ribs. Some bacteria can be observed as well as .brillar material, probably fungal hyphae.

Some stomata appear occluded by plugging material whereas the perimeter of the stomatal pore is more or less winding in other (Fig. 1A). In contrast, healthy leaves show well-de.ned stomata and many regular granules or ribbons (Fig. 1B) that characterised epicuticular waxes of *n*-aldehyde nature. Mesophyll cells between veins do not suffer significant changes in diseased leaves, although a thick layer of amorphous material, similar to wax, displaces subepidermic tissue towards deeper zones (Fig. 1C,D).

A cross-section of a cane leaf shows the classical arrangement of cells, which de.ned a C4 species [Meade,1991]. The bulliform cells occur in the lamina of *Saccharum offýcinarum*. These thin-walled cells of this monocotyledon, the size of which is similar to that of brick-shaped epidermal cells, are con.ned to the adaxial epidermis (Fig. 1D). When they lose water, they contribute to the rolling of the leaf. The conducting tissues are found within the circular to oval-shaped groups of cells. The bundles are composed of three-sized classes of cells, large, medium and small, the .rst two being rhomboid to oval in shape, while as a rule, the small type is rather circular. A small, round bundle always lies next to a large vascular bundle, which usually



extends from the upper to the lower epidermis of the leaf (Fig. 2A,B). The vascular bundle includes the xylem, phloem and phloem .bres, all of which are surrounded by a ring of large cells known as the starchbearing bundle sheath. The xylem is made up of open tubes or vessels associated with smaller and thicker walled elements. The large bundles of the leaf are usually two large vessels connected with smaller vessels. The xylem of small bundles consists of only a few large pitted vessels. The large vessels are irregular in shape, having comparatively thick walls (Fig. 1B) and many sides, each of which, when viewed in cross-section, appears more or less as a straight line. Each vessel is formed not from a single cell but from a series of elongated cells, whose contents and end walls have disappeared.

Bundle sheath cells surrounding the bottom of phloem of diseased leaves have been separated from the conducting tissues by a large layer of wax and some of these cells appear to be involved by this material (Fig. 2A) showing partially destroyed cellwalls. However, none of these modi.cations of bundle sheath cells appeared in healthy leaves (Fig. 2B).

Fig. 1. General ultrastructure of sugarcane leaves from healthy andYLS-diseased plants. (A)View of the surface of the lower epidermis of anYLS-affected leaf of sugarcane. Stomata (st). (B) View of the surface of the lower epidermis of a leaf of healthy sugarcane. Stomata (st). (C) Cross-section of a diseased leaf of sugarcane showing the upper epidermis (ue); mesophyll cells (mc). (D) Cross-section of a leaf of healthy sugarcane plants. Upper epidermis (ue); bulliform cells (bc); mesophyll cells (mc); lower epidermis (le).

YLS-affected leaves show several large xylem vessels .lled by amorphous material and debris of the end wall can be observed (Fig. 2C). Sometimes, spherical bodies similar to phytoplasma can be observed in the intercellular spaces of bundle sheath cells (Fig. 2D) whereas healthy leaves show primary xylem elements absolutely empty and none spherical adherence has been seen (Fig. 2E). The size of these spherical bodies is about 800 nm in diameter, similar to that of the highest particles observed by Cronje et al. [1998] inside the sieve
tubes.

3.3. Changes in the sugar content induced by YLS

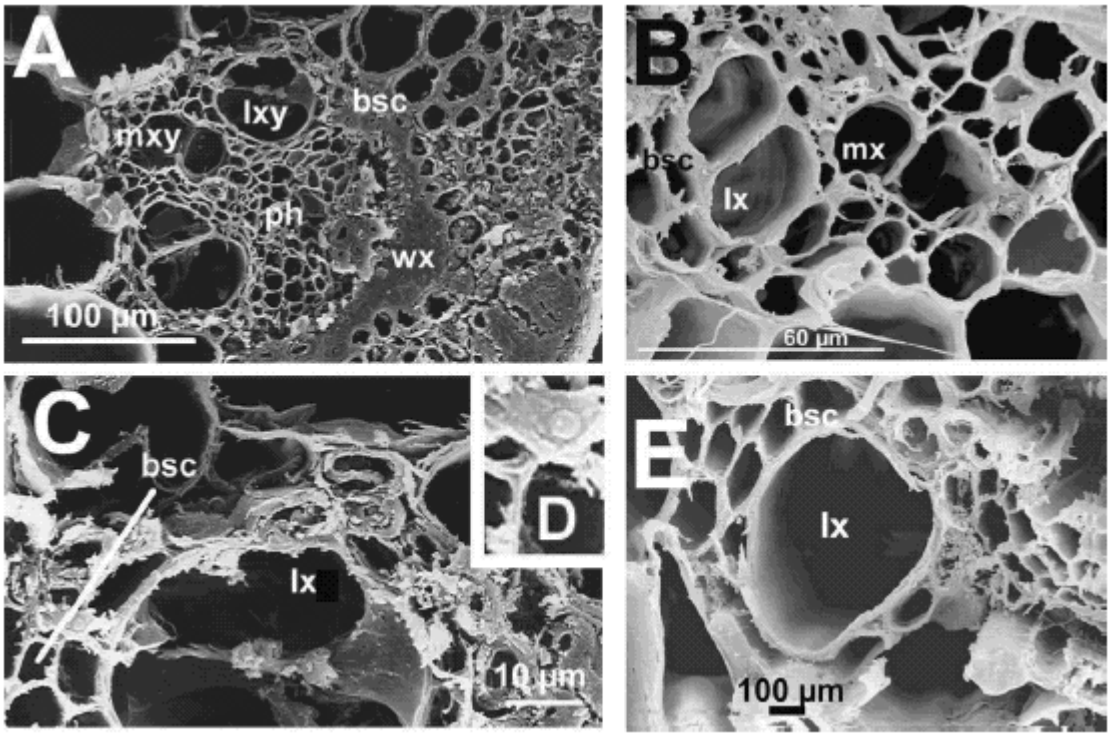
Sugarcane juice isolated from .eld-grown cane for 12 months with symptoms of YLS presented slightly lower values of apparent sucrose concentration. Reducing sugars were higher in juices from YLS than in those from healthy canes (Table 1). This fact produced values of glucose index twice times higher inYLS plants than in those obtained from healthy juices.Values of apparent sucrose content lower than 20% as well as values of reducing sugars higher than 0.5%, are indicative of a pre-ripening status. An increase of about 16% in the concentration of HMMG in the juice obtained from diseased cultivars was detected with respect to that from healthy plants, whereas the increase of the MMMG content associated to YLS only represented 13.5% with respect to the healthy plants (Table 1).

3.4. Changes in the titre of polyamines induced by YLS

In 12-month-old plants, PAs were detected, preferentially as soluble polyamines (S-PAs) and acid-insoluble, conjugated polyamines (PH-PAs), as it is shown in Table 2. Both juices, those from healthy as well as from YLS canes, contained soluble putrescine (S-PUT), cadaverine (S-CAD) and spermidine (S-SPD), although values of these PAs were always lower in healthy samples than in YLS canes. Soluble spermine (S-SPM) was never detected. Bounded, acidin soluble PAs, PH-PUT, PH-SPD, PH-SPM and PH-CAD, occurred in all juices, although their values were always lower than those detected for S-PAs with the exception of SPM, which was not present in its soluble (S-SPM) form.

The maximum concentration for a single PA (1.32 μgml–1) corresponded to S-SPD, detected in YLS juices. PUTand SPD were not detected as conjugated, acid-soluble forms (SH-PAs) neither in healthy juices nor in YLS ones. Only conjugated, acid-soluble cadaverine (SH-CAD) and acidsoluble spermine (SH-SPM) were detected, mainly in juices from healthy plants, but their concentration decreased or even was nulli.ed in YLS juices.Table 2 shows the comparison between total free and conjugated PA concentration in both healthy andYLS juices as well as the ratio (PAs fromYLS plants)/(PAs from healthy plants). PAs are preferentially accumulated in their soluble form (S-PAs), reaching high concentration values in YLS plants whereas

Fig. 2. Scanning electron microscopy of both phloem and xylem of leaves from healthy and YLS-diseased sugarcane plants. (A) Cross-section of an YLS-affected leaf of sugarcane. Large (lxy) and middle xylem elements (mxy); phloem elements (ph); amorphous substance (wx); bundle sheath cells (bsc). (B) Similar cross-section obtained from a healthy leaf. Bundle sheath cells (bsc); large (lx) and middle (mxy) xylem elements. (C) Cross-section of bundle vessels from a diseased leaf. Bundle sheath cells (bsc); large xylem elements (lxy). (D) Magni.cation of the intercellular space between two bundle sheath cells. (E) Large xylem elements (lxy) and bundle sheath cells (bsc) from a leaf of a healthy plant.



conjugated forms (SH- + PH-PAs) in healthy juices were higher than in YLS ones, as it can be observed from ratio values. Total concentration of PAs, which included the sum of soluble and bounded-PAs, was slightly higher in diseased plants (3.88 µg ml–1) than on healthy ones (3.15 µg ml–1). Under a general point of view, it can be said thatYLS plants accumulate PAs at a concentration higher than that found for healthy ones.

The amount of free PAs, mainly S-CAD and S-SPM, in juices obtained from YLS plants dramatically increased as associated to HMMG fraction. There was no detectable SHPAs but a lot of both PH-PUT and PH-CAD was detected,probably conjugated to glycoproteins composing this fraction (Fig. 3A). Free CAD was the major free PA found to be associated to MMMG fraction. YLS strongly decreased the amount of both free and PH-PAs. No SH-PAs were ever detected (Fig. 3B).

3.5. Changes in the activity of the major enzymes of putrescine synthesis

In the plant kingdom, PUT is formed by two alternative pathways, one direct from ornithine, via ornithine decarboxylase (ODC), and the other indirect through a series of intermediates following arginine decarboxylation. Ornithine is produced via arginase from arginine, which is the amino acid precursor of PAs biosynthesis. Little is known about CAD biosynthesis, as compared with the major PAs. CAD arises directly via lysine decarboxylase (LDC) from lysine.

As it can be observed in Table 3, healthy sugarcane juices contained arginase, ODC and LDC activities whereas YLS juices did not contain LDC. Both arginase and ODC activities were almost three times higher in YLS plants than in healthy ones. Concentration of CAD, synthesised by the action of LDC activity, as well as their distribution in the different PH fractions, was similar in healthy andYLS juices.However, it is dif.cult to explain why no detectable LDC activity appeared in diseased sugarcane juices (Table 3).

3.6. Phenolic compounds occurring in juices of healthyand diseased stalks

Juices of both healthy and YLS sugarcane plants contained phenolic acids derived from benzoic acid series and cinnamic acid derivatives (Fig. 4). The major part of these phenolics occurred in preparations containing acid-soluble and hydrolysable PAs (Fig. 4B) although some of them also occurred in preparations containing PH-PAs (acid insoluble and hydrolysable, Fig. 4C) or even as it has been found for syringic acid, as a free, unconjugated phenolic acid that coeluted in the soluble fraction of PAs (Fig. 4A). Concentration of phenolic acids was always much higher inYLS plants than in those with symptomless plants at any fraction (Fig. 4). Chlorogenic, syringic and ferulic acids were the main bound phenolic acids (Fig. 4B,C) while syringic acid was the main soluble phenolic coeluting with soluble Pas (Fig. 4A).

Table 1
Estimation of saccharimetric parameters of juices obtained from both healthy and YLS diseased sugarcane plants, cv. of Cuba 120-78

Saccharimetric parameter	Sugarcane juice from	
	Healthy plants	YLS plants
Apparent sucrose content (%)	4.91 ± 0.52	4.43 ± 0.49
Reducing sugars (g per 100 ml juice)	1.63 ± 0.21	2.47 ± 0.27
Glucose index	33.19 ± 3.24	55.82 ± 4.95
HMMC (mg per 100 ml juice)	8.64 ± 1.03	14.21 ± 1.27
MMMC (mg per 100 ml juice)	9.81 ± 0.94	13.22 ± 1.14

Table 2
A comparison of the concentration of free (S) PUT, CAD, SPD and SPM against conjugated (SH + PH fractions) or total (S + SH + PN fractions) in sugarcane juices from both healthy and presented YLS sugarcane plants 12-month-old of Cuba 120-78 cultivar

PA concentration ($\mu g\ ml^{-1}$)	Healthy juices	YLS juices	Ratio YLS/ healthy juices
S-PUT	0.92 ± 0.01	1.07 ± 0.11	1.16 ± 0.12
SH-PUT	0.0	0.0	
PH-PUT	0.068 ± 0.0	0.113 ± 0.01	1.66 ± 0.12
SH + PH-PUT	0.068 ± 0.0	0.113 ± 0.01	1.66 ± 0.12
S-CAD	0.317 ± 0.04	0.356 ± 0.05	1.12 ± 0.12
SH-CAD	0.09 ± 0.01	0.013 ± 0.0	0.14 ± 0.01
PH-CAD	0.27 ± 0.03	0.32 ± 0.05	1.18 ± 0.27
SH + PH-CAD	0.36 ± 0.04	0.33 ± 0.04	0.93 ± 0.01
S-SPD	0.52 ± 0.04	1.32 ± 0.09	2.54 ± 0.18
SH-SPD	0.0	0.0	
PH-SPD	0.32 ± 0.05	0.37 ± 0.03	1.15 ± 0.13
SH + PH-SPD	0.32 ± 0.03	0.37 ± 0.04	1.15 ± 0.13
S-SPM	0.0	0.0	
SH-SPM	0.32 ± 0.03	0.0	
PH-SPM	0.32 ± 0.03	0.32 ± 0.03	1.00 ± 0.09
SH + PH SPM	0.64 ± 0.05	0.32 ± 0.03	0.50 ± 0.04
Σ S-PAs	1.76 ± 0.16	2.75 ± 0.34	1.56 ± 0.17
Σ SH-PAs	0.41 ± 0.05	0.013±0.0	0.003 ± 0.0
Σ PH-PAs	0.97 ± 0.11	1.12 ± 0.11	1.15 ± 0.12
Σ SH + PH-PAs	1.39 ± 0.15	1.01 ± 0.09	0.82 ± 0.09
Σ S + SH + PH-PAs	3.15 ± 0.41	3.88 ± 0.043	1.23 ± 0.16

Table 3
Arginase, ODC, and LDC activities from both healthy and YLS diseased sugarcane plants cv. Cuba 120-78

Sample	Specific enzyme activity (katals)		
	Arginase	ODC	LDC
Juice from healthy canes	$2.62 \times 10^{-3} \pm 0.0$	0.97 ± 0.12	5.35 ± 0.53
Juice from YLS canes	$6.84 \times 10^{-3} \pm 0.0$	3.52 ± 0.44	n.d.
HMMC from healthy canes	$14.0 \times 10^{-3} \pm 0.0$	n.d.	n.d.
HMMC from YLS canes	$21.0 \times 10^{-3} \pm 0.0$	n.d.	n.d.
MMMC from healthy canes	$35.0 \times 10^{-3} \pm 0.0$	n.d.	n.d.
MMMC from YLS canes	$47.0 \times 10^{-3} \pm 0.0$	n.d.	n.d.

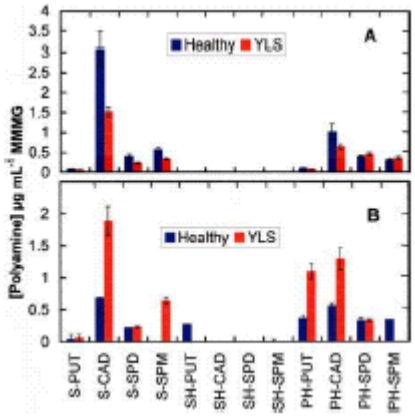


Fig. 3. Quantitation of free and conjugated PAs occurring in (A) MMMG and (B) HMMG fractions separated from juices from both healthy (blue columns) and YLS (red columns) stalks of sugarcane plants, cv. Cuba 120-78, 12-month-old. Values are the mean of four replicates. Vertical bars give standard error.

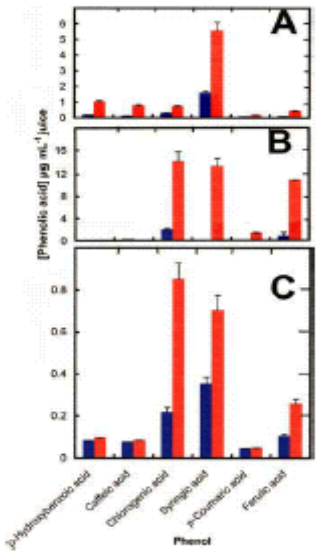


Fig. 4. Quantitation of phenolics associated with S- (A), SH- (B) and PH-PAs (C) occurring in sugarcane juices obtained from both healthy (blue columns) and YLS diseased (red columns) sugarcane plants of cv. Cuba 120-78, 12-month-old. Values are the mean of four replicates. Vertical bars give standard error where larger are represented.

4. DISCUSSION

4.1. Ultrastructure of leaves and occurrenceof phytoplasma-like particles

Particles similar to phytoplasma have been observed in diseased leaves of YLS sugarcane. Phytoplasmas lack cell walls and they are generally present in the sap of a small number of phloem sieve tubes. However, they have been observed in the intercellular spaces of bundle sheath cells (Fig. 2D) of sugarcane leaves. The localization of the phytoplasma-like particles observed here is surprising (Fig. 2D) and different to that described by Cronje et al. [1998]. Probably, the occurrence of particles outside sieve tubes was due to the washing and drying processes before coating to SEM observation, which removes the material contained in these tubes, part of which could be adhered to the neighbouring surfaces.

4.2. YLS alters saccharimetric parameters of sugarcane juices

The ripening of sugarcane is characterised by the accumulation of sucrose in developing internodes. In sugarcane, sucrose accumulation is suggested to be principally regulated at the level of the sink and/or within the translocation system.

During ripening, sugar concentration along the entire stalk increases and the proportion of the stalk containing signi.ficant amounts of both glucose and fructose decreases. The high value of glucose index of both healthy and YLS plants 12-month-old Cuba 120-78 suggests that they are premature specimens (Table 1). Du et al. [Du et al., 1998] demonstrated that an increase of glucose and fructose content of sugarcane leaves is a consequence of the increased activities of starch- and sucrose-hydrolysing enzymes during water stress. Thus, the high value of glucose index can also be explained by supposing that a certain degree of analogy between some pathogenic invasions and several environmental stresses exist. Klechkovskaya et al. [1998] demonstrated that an elevated fructose level was observed at the sites of the pathogen (*Fusarium* sp.) invasion of resistant cultivars of winter wheat. Plant hydrolases, digesting cellulose and hemicelluloses into monosaccharides, provide the energy required for plant resistance against pathogens.

4.3. Polyamines are related to YLS

Increased PAs concentration in YLS plants can also be explained by supposing a certain degree of analogy between some pathogenic invasions and several environmental stress situations [galston et al., 1997]. A signi.cant increase of PAs concentration has been observed, specially for PUT, in shoots infected with different types of viruses, mainly in the cases of gravepine .eck disease, gravepine leafroll disease type I and gravepine stem pitting [González et al.,1997]. Infection of sugarcane buds, var. Barbados 42231, with teliospores of *U. scitaminea* changed the pattern of PA conjugation in several sugarcane organs: i.e. stalks of infected plants contained SH-SPD, which did not occur in healthy organs [Legaz e al., 1998]. Bouchereau et al. [1999] pointed out that PUT and derived PAs may have several functions during environmental challenges. By comparing these results shown in Tables 2 and 3, we can speculate about the feasible transformation occurred between different forms of PAs. Healthy plants synthesise PUT in the sequential action of arginase and ODC activities. A part of synthesised PUT (about 7%) could be conjugated to PH-PUT but not to SH-PUT. Another part (about 35%) seems to be converted into SPD, whereas the major part of S-PUT seems to be degraded (Table 2). In YLS plants, PUT synthesised from arginine via arginase and ODC activities was mainly converted into SPD whereas a small percentage of that seems to be conjugated to produce PH-PUT (Table 2). The importance of this form of conjugated PUT seems to be derived from its binding to glycoproteins

of HMMG fraction, as well as that of PH-CAD, which increase in diseased plants (Fig. 3), but not to MMMG fraction. Since the difference between HMMG and MMMG is related to the nature of the peptide moiety whereas the polysaccharide fraction does not change in composition but only in size [Legaz et al.,1995], conjugation of both PAs must be achieved by the protein moiety. It could be possible that CAD in YLS plants was synthesised by the action of a single enzyme responsible for the decarboxylation of both homoarginine and lysine, an homoarginine–LDC, as occurred in *Lathyrus sativus* [Ramakrisha y Adega,1976] or that once synthesised CAD, LDC was inactivated by high concentrations of another soluble PAs. Both hypothesis would need to be con.rmed. ODC activity generally increases in TMV inoculated tobacco plants [Rabita et al., 1998] in a similar way to that described here (Table 3). As a consequence, the concentration of free PUT and SPD increased in the necrotic area of TMV-induced hypersensitive reaction in *Nicotiana tabacum*. Similarly, sugarcane juices containing increased activities of ODC (those obtained from diseased plants) also accumulate increasing concentrations of PUT but mainly of SPD. In the TMV-infected susceptible tobacco plants, PAs tended to remain in the free state instead of being conjugated as infection progresses [Torriginani,1997]. The authors suggested that PAs could play a role in mechanisms of resistance to biotic stress. However, YLS syndrome does not signi.cantly increase the amount of conjugated PAs in sugarcane

juice. Thus, any speculation about a correlation between conjugated PAs and resistance against YLS cannot be made.

4.4. Phenolics can be related to the plant resistance against YLS

The overproduction of CAD by a transgenic tobacco root cultures with high LDC activity leads not only to greatly enhanced accumulation of the minor alkaloid anabasine, but also to the formation of hydroxycinnamoylcadaverines, new metabolites, which have not yet been described as natural constituents of tobacco [berlin et al., 1998]. Conjugates of such phenolic acids with PAs have been reported from a large number of families in the plant kingdom. Their accumulation was shown to be linked with cell multiplication or fertility of reproductive organs. They may also protect plants from viral, bacterial or fungal infestations and may be produced as phytoalexins [marín y Taggy, 1981]. However, in sugarcane juices from diseased plants, conjugated PAs, as SH- and PH-PAs, contain concentrations of chlorogenic, syringic and ferulic acids higher than that found for juices obtained from healthy plants (Fig. 4B,C), although conjugated cadaverine decreased (as SH-form) or slightly increased (as PH-form) inYLS affected plants (Table 2).

In plants, ferulic acid is rarely found in free form, as it has also been found for sugarcane juices (Fig. 4A). It occurs widely linked as glycosidic conjugates, as esters, esteri.ed with .avonoids, etc. Levels of ferulic acid amides with PUT, tyramine or tryptamine may be indicators of environmental stress in plants. Ferulic acid and its derivatives confer the protection to plants against avian, insect, viral and fungal invasion [Phelps and Young, 1996]. From results shown in Table 2 where CAD was the only PA which appeared as soluble bound acid, it could be hypothesised about a possible binding between such a CAD and phenolics associated with preparations of acidsoluble and hydrolysable PAs (Fig. 4B), although this suggestion needs to be con.rmed, since SH-CAD does not increase in diseased plants. In conclusion, this is the .rst report about an increase in both PAs and phenolic acids associated with YLS in sugarcane plants and where enzymes related to PA biosynthesis have been described in sugarcane juices.ODC and CAD produced during reaction was quanti.ed by HPLC. For HPLC analysis of CAD, 50 µl *n*-BUT were added to 1.0 ml of each reaction mixture. CAD and PUT were analysed as their dansyl derivatives as previously described.A standard curve was performed with variable concentrations of commercial CAD.

5.-REFERENCES

[1] Y. Arocha, L. González, E.L. Peralta, P. Jones, (1999) First report of virus and phytoplasma pathogens associated with yellow leaf syndrome of sugarcane in Cuba, Plant Dis. 83 1177.

[2] J. Berlin, C. Mollenschott, S. Herminghaus, L.F. Fecker, (1998).Lysine decarboxylase transgenic tobacco root cultures biosynthesize novelhydroxycinnamoylcadaverines, Phytochemistry 48) 79–84.

[3] A. Bouchereau, A. Aziz, F. Larher, J. Martin-Tanguy, (1999) Polyamines and environmental challenges, Recent Dev. Plant Sci. 140 103–125.

[4] J.C. Cromstock, M.S. Irey, B.E. Lockhart, Z.K. Wang, (1998)Incidence of yellow leaf syndrome in C.P cultivars based on polymerase chain reaction and serological techniques, Sugarcane 1998) 21–24.

[5] C.P.R. Cronje, A.M. Tymon, P. Jones, R.A. Bailey, (1998) .Association of a phytoplasma with a yellowleaf syndrome of sugarcane in Africa, Ann.Appl. Biol. 133 177–186.

[6] R. de Armas, M. Martínez, C. Vicente, M.E. Legaz, (1999) Free and conjugated polyamines and phenols in raw and alkaline-clari.ed sugarcane juices, J. Agric. Food Chem. 47 3086–3092.

[7] S. Deng, C. Himki, (1991). Ampli.cation of 16rDNA genes from culturable and nonculturable mollicutes, J. Microbiol. Methods 14 53–61.

[8] Y.C. Du, A. Nose, K.Wasano,Y. Uchida, (1998). Responses to water stress of enzyme activities and metabolite levels in relation to sucrose and starch synthesis, the Calvin cycle and the C4 pathway in sugarcane (*Saccharum* sp.) leaves, Aust. J. Plant Physiol. 25 253–260.

[9] D. Dubois, K.A. Gilles, J. Hamilton, P.A. Rebers, F. Smith, (1956) Colorimetric method for determination of sugar and related substances, Ann. Chem. 28 350–356.

[10] M.I. Escribano, M.E. Legaz, (1988) High performance liquid chromatography of the dansyl derivatives of putrescine, spermidine and spermine, Plant Physiol. 87 519–522.

[11] A.W. Galston, R. Kaur Sawhney, T. Altabella, A.E. Tiburcio, (1997) Plant polyamines in reproductive activity and response to abiotic stress, Bot. Acta 110 197–207.

[12] E. Gonzalez, M.V. Mosquera, M.C. San José, T. Díaz, (1997) In.fluence of virus on the chlorophyll, carotenoid and polyamine contents in gravepine microcuttings, J. Phytopathol. 145 185–187.

[13] A. Hachiya,Y.Yamamoto, H. Matsumoto, (1996) Inhibitory effect of phenylpropanoids on aluminium toxicity in cultured tobacco cells, Plant Cell Physiol. 37 53–62.

[14] E.A. Klechkovskaya, V.G. Adamovskaya, G.A. Wolf, S.V. Vovchuk, (1998) . The role of hydrolases and tyrosin inhibitor in development of winter wheat resistance to *Fusarium* infection, Rus. J. Plant Physiol. 45 728–735.
[15] M.E. Legaz, (1991) Regulation of different arginase forms in *Evernia prunastri* thallus, Symbiosis 11 263–277.
[16] M.E. Legaz, R. de Armas, D. Piñón, C. Vicente, (1998) Relationships between phenolics-conjugated polyamines and sensitivity of sugarcane to smut (*Ustilago scitaminea*), J. Exp. Bot. 49 1723– 1728.
[17] M.E. Legaz, B. Fontaniella, R. de Armas, C. Vicente, (2001) Determination by high performance liquid chromatography of ornithine and lysine decarboxylases in sugarcane juices, Chromatographia 53 S260–S265.
[18] M.E. Legaz, M.M. Pedrosa, M. Martínez, C. Vicente, (1995) Soluble glycoproteins from sugarcane juice analyzed by SE-HPLC and .uorescence emission, J. Chromatogr. 697 329–335.
[19] B.E.L. Lockhart, M.J. Irey, J.C. Comstock, (1996). Sugarcane bacilliform virus, sugarcane mild mosaic virus and sugarcane yellow leaf syndrome, in: B.J. Croft, C.M. Piggin, E.S. Wallis (Eds.), Sugarcane Germoplasm Conservation and Exchange, vol. 1, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, pp. 108–111.
[20] V. Louis, J. Negrel, (1991) Tyramine hydroxycinnamoyl transferase in the roots of wheat and barley seedlings, Phytochemistry 30 2519– 2522.
[21] C. Martin, J. Martin-Tanguy, (1981) Polyamines conjuguées et limitation de l'expansion virale chez les végétaux, C. R. Acad. Sci. Paris (Ser. III) 292 293–299.
[22] M. Martínez, M.E. Legaz, M. Paneque, R. Domech, R. de Armas, I. Medina, C.W. Rodriguez, C. Vicente, (1990. Glycosidase activities and polysaccharide accumulation in sugarcane stalks during postcollection impairment, Plant Sci. 72 193–198.
[23] M. Martinez, I. Medina, S. Naranjo, C.W. Rodriguez, R. de Armas, D. Piñón, C.Vicente, M.E. Legaz, (2000) Changes of some chemical parameters, involved in sucrose recovery from sugarcane juices, related to the susceptibility or resistance of sugarcane plants to smut (*Ustilago scitaminea*), Int. Sugar J. 102 445–448.
[24] R.E.F. Matthews, (1963.)PlantVirology, third ed, Academic Press, NewYork,
[25] G.P. Meade, (1991)Cane Sugar Handbook,Wiley, NewYork,
[26] F. Moonan, J. Molina, T.E. Mirkov, (2000) Sugarcane yellow leaf virus. An emerging virus that has evolved by recombination between luteovirus and poleovirus ancestors, Virology 269 156–171.
[27] S. Namba, S. Kato, S. Iwanami, N. Murata, (1993) Detection and differentiation of a plant parthogenic mycoplasma-like organisms using polymerase chain reaction, Phytopathology 83 786–791.
[28] E.L. Peralta, A. Chinea, Y. Arocha, D. Piñón,(1999) Estudio diagnóstico y control del sindrome de amarilleamiento foliar de la caña de azúcar (YLS) en Cuba, INICA, La Habana, Informe Proyecto CITMA 003-00-111.
[29] C.D. Phelps, L.Y.Young, (1996) Microbial metabolism of the plant phenolic compounds ferulic and syringic acids under three anaerobic conditions, Microb. Ecol. 33 206–215.
[30] V.H. Potty, (1969) Determination of proteins in the presence of phenols and pectins, Anal. Biochem. 29 535–539.
[31] A.L. Rabiti, L. Betti, C. Bortolotti, F. Marini, A. Canova, N. Bagni, P. Torrigiani, (1998) Short-term polyamine response in TMV-inoculated hypersensitive and susceptible tobacco plants, New Phytol. 139 549–555.
[32] S. Ramakrishna, R.P. Adiga, (1976) Decarboxylation of homoarginine and lysine by an enzyme from *Lathyrus sativus* seedlings, Phytochemistry 15 83–86.
[33] A.S. Rao, Root .avonoids, (1980) Bot. Rev. 56 1–84.
[34] C.W. Rodríguez, R. de Armas, C. Vicente, M.E. Legaz, (2000) Changes in free and conjugated polyamines during starvation of sugarcane juices as analyzed by high-performance liquid chromatography, J. Chromatogr. A 881 531–541.
[35] S. Schenck, J.S. Hu, B.E.L. Lockhart, (1997) Use of a tissue blot immunoassay to determine the distribution of sugarcane yellow leaf virus in Hawaii, Sugarcane, 5–8.
[36] J.B. Sumner, (1921) Dinitrosalicylic acid: a reagent for estimation of sugar in normal and diabetic urine, J. Biol. Chem. 47 5–9.
[37] P. Torriginani, A.L. Rabiti, C. Bortolotti, L. Betti, F. Marini,A. Canova, N. Bagni, (1997) Polyamine synthesis and accumulation in the hypersensitive response to TMV in *Nicotiana tabacum*, New Phytol.135 467–473.
[38] R. Viswanathan, (1997) Detection of phytoplasmas associated with grassyshoot disease of sugarcane by ELISA techniques, Z. P.anzenkrank.P.anzensch. 104 9–16.

[39] D.R. Walters, (2000) Polyamines in plant–microbe interactions, Physiol.Mol. Plant Pathol. 57 137–146.
[40] P. Wongkaew, Y. Hanboonsong, P. Sirithorn, C. Choosai,S. Boonkrong, T. Tinnangwattana, R. Kitchareonpanya, S. Damak (1997).Differentiation of phytoplasmas associated with sugarcane and gramineousweedswhite leaf disease and sugarcane grassy shoot disease by
RFLP and sequencing, Theor. Appl. Gen. 95 660–666.

COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA GENÉTICA A LA ROYA COMÚN DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN CUBA

A. Chinea, L. Cabrera, G. Pérez, I. Abrante y S. Vidal

Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar(EPICA) INICA, MINAZ. Jovellanos CP 42 600 Matanzas, Cuba. E-mail: epica@atenas.inf.cu

RESUMEN

La roya común (***Puccinia melanocephala*** H. and P. Sydow) es una enfermedad principal en la mayoría de los países que producen caña de azúcar a nivel mundial y el empleo de variedades resistentes constituye el elemento más importante entre las medidas que componen la estrategia de lucha integrada para disminuir las pérdidas. Con el objetivo de conocer los mecanismos que determinan la transmisión de la resistencia, se realizaron cruzamientos biparentales entre progenitores con diferente comportamiento ante el ataque del organismo causal y se estableció un diseño Factorial 5 x 5 determinándose, posteriormente, el comportamiento fitopatológico de las progenies obtenidas. Los resultados mostraron que la Habilidad Combinatoria General (HCG) para el carácter resistencia a roya común es más importante que la Habilidad Combinatoria Específica (HCE), al aportar los progenitores mayor porcentaje de variación genética total que las interacciones, aunque ambas resultan de interés para la obtención de genotipos resistentes. Los progenitores con mayores niveles de resistencia presentaron valores más altos de HCG, mientras que los mejores valores de HCE se lograron cuando intervino en los cruces al menos un progenitor resistente. Sobre la base de estos resultados, se recomienda el empleo de un grupo de progenitores cubanos y de otros países, así como las combinaciones más adecuadas entre ellos para el mejoramiento genético de la caña de azúcar, con el propósito de obtener nuevas variedades que presenten altos niveles de resistencia a la roya común.

Palabras clave: Roya común, Resistencia genética, Caña de azúcar, Estrategia de lucha.

ABSTRACT

Common rust (***Puccinia melanocephala*** H. and P. Sydow) is a main disease in the majority of sugarcane producing countries all over the world, and the plantation of resistant varieties is the most important component in the integrated struggle strategy to diminish losses. In order to know determinant machanisms in resistance transmission, were carried out some byparental crosses between parents differing in the behaviour on the causal organism attack and a Factorial 5 x 5 design was stablished. Subsequently was evaluated the pathological response of the obtained progenies. According our results, General Combinative Ability (GCA) for common rust resistance caracter is more important than Specific Combinative Ability (SCA) because parents render higher percentage of total genetical variation than interactions, but both are important for obtaining resistant genotypes. Parents with higher levels of resistance showed higher values of GCA but better values of SCA were obtained meanwhile a resistant parent took place in crosses. These results permit us recommend the utilization of a group of cuban and foreing parents, and more advisable combinations between them for breeding sugarcane in order to obtain new varieties with higher levels of resistance to common rust.

Key words: Common rust, Genetical resistance, Sugar cane, Struggle strategy.

INTRODUCCIÓN

Para buscar variabilidad genética con relación a cualquier carácter, es indispensable aplicar los conceptos de Habilidad Combinatoria General (HCG) y Habilidad Combinatoria Específica (HCE), que constituye la base para la selección de los progenitores y permite dirigir el proceso de mejora hacia aquellos caracteres que nos interesa fijar en las nuevas variedades.

El diseño Dialélico ha sido empleado exitosamente con este fin en caña de azúcar por diferentes investigadores; mientras que en las condiciones específicas de Cuba, ha sido más efectivo el empleo del diseño Factorial (Cabrera et al., 1987, Calaña et al., 1985), debido a la cantidad de resultados obtenidos y a las posibilidades de su aplicación práctica.

Considerando la necesidad de obtener nuevas variedades de caña de azúcar resistentes a la roya común ***Puccinia melanocephala*** H. and P. Sydow, una de las enfermedades principales en nuestro país (Chinea y Rodríguez, 1994; Chinea et al., 2000), fue estudiada la HCG y la HCE en un grupo de progenitores y combinaciones que se emplean ampliamente en los programas de mejora genética que ejecuta el INICA, mediante la utilización de diseño Factorial y evaluando el comportamiento de la descendencia en caña planta y primer retoño. El objetivo del presente trabajo es exponer los resultados, arribar a conclusiones y ofrecer recomendaciones de aplicación inmediata en el proceso de mejoramiento genético para resistencia a la roya común, con el fin de obtener nuevas variedades para satisfacer las necesidades de la producción cañera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar el comportamiento genético de la resistencia a la roya común, fueron seleccionados en la colección de germoplasma de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) de Matanzas, un grupo de progenitores con diferentes niveles de resistencia a dicha enfermedad, estableciéndose con ellos un esquema de cruzamiento adaptado al diseño Factorial en bloques al azar sin submuestreo 5x5, dando origen a 25 cruces biparentales. Dentro de las progenies obtenidas se tomaron al azar 48 individuos de cada combinación, los cuales se plantaron en un experimento a distancia de 0.80 m entre plantas y 1.60 m entre surcos, donde la población se distribuyó en 2 réplicas, quedando representada cada combinación por 24 individuos en cada réplica. Los chequeos fitopatológicos para determinar el comportamiento ante la roya común en condiciones naturales se realizaron a cada individuo en caña planta y primer retoño, con la siguiente frecuencia: el primero a los 3 meses, el segundo de 6 a 9 meses y el tercero, antes de la cosecha. Fue empleada una escala de 4 valores (1-4), basada en la interacción organismo patógeno-planta hospedante, propuesta por Chinea (1975), modificada por Chinea (2002), para la evaluación del germoplasma. A los efectos del cálculo, dicha escala fue invertida, realizándole a los datos la Prueba de Bondad de Ajuste de Frecuencia Normal (Lerch, 1977). Posteriormente los datos fueron sometidos a un análisis Factorial (Modelos I y II) de efectos fijo y aleatorio, para determinar la Habilidad Combinatoria, los componentes de varianza y la heredabilidad en sentido estrecho.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla I se puede observar que la heredabilidad del carácter resistencia a la roya común en la etapa de posturas en las cepas caña planta y primer retoño resultó extremadamente baja, lo que denota el gran efecto ambiental que se ejerce sobre este carácter en esta etapa. Resultados similares bajo condiciones de Cuba para otros caracteres han reportado Ortiz (1982), Cabrera et al. (1988). Al analizar el efecto de los progenitores se aprecia un valor superior de la varianza atribuida a los progenitores femeninos, debido a que en éstos se acumuló un mayor grado de resistencia, que se transmitió a la progenie con mayor intensidad al establecerse la recombinación genética en los cruces biparentales; además de que en ellos se produce cierto porcentaje de autofecundación que acentúa el efecto materno.

Tabla I. Resultados del diseño Factorial (Modelo II) efecto aleatorio.

Componentes de varianza y heredabilidad	Cepa	
	Planta	**Retoño**
Varianza aditiva	0.0009	0.0007
Varianza masculina	0.0002	0.0002
Varianza femenina	0.0055	0.0013
Varianza (femenina x masculina)	0.0018	0.0004
Varianza del error	0.0244	0.0115
Heredabilidad (H^2)	0.0290	0.0532

Al valorar los resultados del análisis de varianza del carácter resistencia a la roya común (Tabla II) se denota que la fuente de variación debida a las réplicas no fue significativa, lo que permite señalar que las repeticiones conformadas por 24 individuos cada una resultan convenientes para este tipo de valoración. La fuente de variación debida a los cruces, que representa a la parte de la varianza total que es atribuida a causas genéticas, fue muy significativa, tanto en caña planta como en retoño. El efecto debido a los progenitores que representa la Habilidad Combinatoria General (HCG) mostró valores predominantes muy significativos, aportando estos el 67.55% en caña planta y el 60.92% en retoño de la varianza genética total, mientras la fuente de variación debida a las interacciones de los progenitores, que simboliza la Habilidad Combinatoria Específica (HCE) resultó muy significativa en caña planta, no así en retoño; donde aportó valores del porcentaje de la varianza genética total muy inferiores a los presentados por los progenitores, lo que demuestra la mayor importancia que para el mejoramiento de este carácter tiene la Habilidad Combinatoria General (HCG). Resultados similares a favor de la HCG han sido reportado por Cornide et al.(1992), Cruz (1993) y Vallina et al. (1992) para este caracter, pero trabajando con otros progenitores. Estos resultados demuestran que en la caña de azúcar resulta muy efectiva la utilización de policruces como técnica de cruzamiento.

Tabla II. Resultados del diseño Factorial(Modelo I) efecto fijo.

Fuentes de variación	GL	Planta			Retoño		
		CM	**Sig.**	**% Varianza**	**CM**	**Sig.**	**% Varianza**
Réplicas	1	0.0004	n.s		0.0029	n.s	
Cruces	24	0.0152	**	90.23	0.0053	**	75.52
Femeninos	4	0.0603	**	59.63	0.0189	**	45.12
Masculinos	4	0.0080	**	7.92	0.0066	*	15.80
F. x M.	16	0.0057	**	22.68	0.0015	n.s	14.60
Error	24	0.0016			0.0016		
CV		2.32			2.20		
ES		0.03			0.03		

En la misma Tabla II se ratifica el mayor aporte de los progenitores femeninos a la varianza genética total, debido a las causas expuestas anteriormente. Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de utilizar

progenitores con mayor grado de resistencia en los programas de mejoramiento para buscar nuevas variedades resistentes a la roya común.

En la Tabla III se exponen los valores de la HCG de cada progenitor en las cepas caña planta y primer retoño, pertenecientes a la etapa de posturas. De forma general se aprecia que los valores más altos de la HCG corresponden a los progenitores femeninos C1616-75, CP52-43 y B42231 y los masculinos C187-68, C97-59 y C227-59, que son progenitores evaluados como altamente resistentes los cuatro primeros y los dos restantes, resistentes. Los más susceptibles My54129, Ja60-5, C323-68 y el resistente Ja64-19, mostraron los valores más bajos de HCG en correspondencia con sus respectivos niveles de resistencia.

Tabla III. Habilidad Combinatoria General (HCG) de los progenitores.

Progenitores femeninos	Planta	Retoño	Progenitores masculinos	Planta	Retoño
My54129	-0.1015	-0.0556	C323-68	-0.0168	-0.0106
B42231	0.0048	0.0094	C97-59	0.0186	0.0234
Ja64-19	-0.0476	-0.0336	C227-59	0.0202	0.0084
C1616-75	0.0955	0.0444	C187-68	0.0202	0.0184
CP52-43	0.0490	0.0354	Ja60-5	-0.0420	-0.0396

Las combinaciones más destacada por la Habilidad Combinatoria Específica (HCE), se presentan en la Tabla IV. Se observa que al menos uno de los progenitores es resistente (R) a la roya común; por el contrario, los valores más bajos de HCE corresponden a las combinaciones de ambos progenitores susceptibles.

Tabla IV. Combinaciones más destacadas por la Habilidad Combinatoria Específica (HCE).

Combinaciones	Planta	Retoño
B42231 ® x C323-68 (S)	0.0833	0.0246
My54129 (S) x C227-59 ®	0.0826	0.0306
C1616-75 ® x Ja60-5 (S)	0.0643	0.0386
Ja64-19 ® x C187-68 ®	0.0182	0.0286
My54129 (S) x C187-68 ®	0.0316	0.0056
CP52-43 ® x Ja60-5 (S)	0.0063	0.0376
C1616-75 ® x C323-68 (S)	0.0226	0.0146
B42231® x C187-68®	0.0278	0.0006
My54121 (S) x C97-59 ®	0.0012	0.0256

CONCLUSIONES

- La manifestación del carácter resistencia a la roya común resultó considerablemente afectada por el ambiente, lo cual se explica por su bajo valor de heredabilidad registrado, tanto en caña planta como en primer retoño.
- La HCG resultó de mayor importancia que la HCE, al aportar los progenitores mayor porcentaje de la varianza genética total que los aportados por las interacciones, aunque ambas resultaron de interés para el mejoramiento genético.
- Los progenitores C1616-75, CP52-43 y C187-68 mostraron mayor capacidad para transmitir resistencia a la roya común, por sus altos valores de HCG.
- Los valores más altos de HCE fueron obtenidos en 9 de las 25 combinaciones estudiadas, siendo aceptables siempre que al menos uno de los progenitores de cada combinación resultara resistente; mientras que los valores más bajos correspondieron a las combinaciones entre variedades susceptibles.

RECOMENDACIONES

• Emplear al menos un progenitor resistente a la roya común al establecer cruzamientos para obtener resistencia a dicha enfermedad y en ningún caso, cruzar dos variedades susceptibles entre sí.

REFERENCIAS

Cabrera, L; G. Pérez e I. Abrante (1987). La Habilidad Combinatoria de los componentes del rendimiento de 8 progenitores utilizados en el mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba. Boletín INICA, pp. 3-4.

Cabrera, L; G. Pérez; R. Flores e I. Abrante (1988). Estimación de heredabilidad en poblaciones híbridas de caña de azúcar y respuesta a la selección en el lote de posturas. Aprobado en el Consejo Editorial del INICA para su publicación en la memoria de la EPICA Matanzas.

Calaña, J; R. Ortiz y J. Rodríguez (1985). Caracterización del Banco de Germoplasma de la caña de azúcar. I Cálculo de la HCG para un grupo de progenitores. V Seminario Científico del INICA, 10 pp.

Chinea, M. A. (1975). Escala integral para los chequeos fitosanitarios de la caña de azúcar (inédito) 3pp.

Chinea, M. A. y Rodríguez L. E. (1994): Enfermedades de la caña de azúcar. Ediciones IMAGO. C. de la Habana, 100pp.

Chinea, M. A.; H. Nass, C. Daboin y M. D. Díez (2000). Enfermedades y daños de la caña de azúcar en Latinoamérica. Ediciones Imprecolor, Barquisimeto, Venezuela, 108 pp.

Chinea, M. A. (2002). Metodología de evaluación fitosanitaria . En: H. Jorge et al. Normas y Proc. del Progr. de M. Gen. de la caña de azúcar en Cuba, pp 45-50.

Cornide, M. T.; J, Vallina y M. Álvarez (1992). Estimación de las varianzas genéticas de la resistencia a la roya de la caña de azúcar mediante el diseño factorial. I grado de ataque.
Resúmenes VIII Seminario Científico del INICA. p. 81.

Cruz, S. R. (1993). Evaluación de la progenies de caña de azúcar (***Saccharum spp***.) a partir de sus progenies en etapas iniciales de selección en la provincia de Holguín. Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas.

Lerch, G. (1977). La experimentación en las Ciencias Biológicas y Agrícolas. Editorial, Científico-Técnica, La Habana, Cuba. pp.191-194.

Ortiz, H. R. (1982). Características poblacionales y criterios de selección en las primeras etapas en caña de azúcar (***Saccharum spp***. híbrido). Tesis de Candidato a doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana, pp.83-84.

Vallina, J.; M. T. Cornide y M. Álvarez (1992). Estimación de las varianzas genéticas de la resistencia a la roya de la caña de azúcar mediante diseño factorial. II Porcentaje del área foliar atacada. Resúmenes VIII Seminario Científico del INICA.

VALORACIÓN DEL PROGRAMA DE MEJORA PARA RESISTENCIA A LAS ENFERMEDADES DE LA ROYA Y EL CARBÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR.

Israel Abrantes Rodríguez, Lorenzo Cabreras Miranda, Omelio Carvajal Jaime y Leydis Cortegaza

Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Jovellanos, Matanzas.
E:mail: epica@atenas.inf.cu
Palabras claves: Fitomejoramiento, Variedades, Enfermedades.

RESUMEN

La roya y el carbón de la Caña de Azúcar han constituido dos de las principales enfermedades que han venido afectando las áreas cañeras y el proceso de obtención e introducción de nuevas variedades en nuestro país, las cuales efectuaron sus apariciones en momentos en que no se contaba con un programa de mejora que pudiera darle respuesta a las mismas, por lo que en el presente trabajo se efectuó una valoración de los niveles de afectaciones registrados en los últimos 15 años por dichas enfermedades, en las diferentes etapas del programa de selección de nuevas variedades, donde se pudo apreciar que para la roya se lograron mantener porcentajes de eliminación discretos por susceptibilidad; mientras que en el caso del carbón, las afectaciones llegaron a ser preocupantes en las etapas avanzadas del esquema, en correspondencia con el limitado número de progenitores que aportaban los mayores porcentajes de variedades destacadas a las etapas finales, muchos de los cuales frecuentemente transmitían bajos niveles de resistencia a sus progenies, señalándose la necesidad de continuar fortaleciendo las líneas de trabajo para el desarrollo de nuevos progenitores, así como el intercambio con otras estaciones de mejora, con el objetivo de ampliar la base genética del programa actual, lo que permitirá consolidar los buenos resultados que ya se han logrado.

INTRODUCCIÓN

La obtención de variedades resistente a las principales enfermedades constituye el método más práctico y económico para enfrentar la presencia de las mismas. La aparición de la roya *(Puccinia melanocephala)*y el carbón *(Ustilagus scitaminea)* a finales de la década del 70 en Cuba determinaron la necesidad de incluir las evaluaciones del comportamiento de las poblaciones del programa de mejora frente a estas enfermedades, lo cual ha generado un volumen importante de informaciones que ha permitido lograr un uso más adecuado de los progenitores y las combinaciones destinadas al programa comercial, con el objetivo de mejorar progresivamente el nivel de resistencia general de las poblaciones ante cada una de ellas. Benda (1987); INICA y Col. (2000).

Transcurridos 25 años en esta actividad, resulta evidente que aunque en el caso de la roya se ha mantenido limitado el número de variedades afectadas y la intensidad de ataque de la enfermedad; esta situación llegó a ser más complicada en el caso del carbón, donde se registró una marcada tendencia a evolucionar en función de mostrar una mayor generalización del ataque en las

diferentes variedades e híbridos con diferentes grados de avance generacional, representativos de diversos grados de complejidad genética, así como en muchos representantes de las especies que han caracterizado nuestro genofondo, lo que a su vez guarda estrecha relación con el nivel de difusión o carga de inóculo que esta enfermedad registra cada año en áreas de producción.

ESTADO ACTUAL DEL PROGRAMA DE SELECCIÓN DE NUEVAS VARIEDADES

Al efectuar un balance de los resultados del programa de selección de nuevas variedades, se puede apreciar que los porcentajes de individuos eliminados por roya y carbón en los últimos 15 años no resultaron elevados para la roya, pero en el caso del carbón han llegado a alcanzar el 60% de los que se descartan en la fase final (Tabla 1).

Tabla I. Porcentaje de individuos eliminados por roya y carbón en el programa de selección en los últimos 15 años

Etapas	Roya	Carbón
Lote de posturas	4,5	1,8
Lotes clonales	4,6	5,7
Etapa intermedia	3,0	47,0
Estudios Replicados	-	60,0

Un resumen de los progenitores que mayor número de variedades destacadas aportaron a la etapa final de selección se presenta en la Tabla II, donde se aprecia la elevada incidencia que llegó a alcanzar un reducido número de ellos en los resultados finales; muchos de los cuales, como se aprecia en la Tabla III transmiten en las primeras etapas de selección elevados porcentajes de susceptibilidad, lo cual determinó la necesidad de incrementar los niveles de resistencia de los progenitores desarrollados por el programa de mejora cubano o introducido con estos objetivos, buscando a su vez una mayor amplitud en la base genética del programa comercial actual.

Tabla II. Progenitores que aportaron mayor número de selecciones a la etapa final

Femeninos				Masculinos			
B 42231	71	Co 281	14	C87-51	53	C323-68	21
C 236-51	55	Cl 41-142	12	Ja60-5	42	C169-52	18
CP 52-43	51	C 87-51	13	C97-59	35	C137-81	12
C 1616-75	33	C 137-80	10	Co453	31	CSG273-92	12
C 389-52	31	CSG90-293	10	B42231	27	B80250	12
My 5514	20			C227-59	26	B6368	10
Co 421	17			My54129	25	B8066	10
My54129	15			C91-55	22		

Como resultado del trabajo desarrollado en los últimos años se ha logrado detectar un grupo de progenitores que normalmente transmiten elevada resistencia en sus progenies a dichas

enfermedades, algunos de los cuales vienen logrando una participación más activa en el programa de cruzamiento comercial. En la Tabla IV se presentan algunos de estos progenitores.

Tabla III. Progenitores de amplio empleo en el programa que registran elevados porcentajes de susceptibilidad en las primeras etapas.

Progenitores femeninos		Progenitores masculinos	
Roya	**Carbón**	**Roya**	**Carbón**
My 54129	CP 52-43	Ja 64-19	CP 52-43
C 323-68	B 42231	Ja 60-5	C 227-59
C 227-598	My 54129	My 54-129	Ja 60-5
C 236-51	C 1616-75	C 227-59	My 54-129
C 334-64	S 186-84	C 334-59	C 334-64
C 1051-73	C 90-501	C 1616-75	C 1616-75
Ja 60-5	C 334-64	C 323-68	C 227-59
CP 70-1133	Cl 41-142	Phill 6607	
Co 281	CP 70-1133		
S 186-84	S 186-84		
Ja 64-19	CP 33-29		
CP 57-614			
B 42231			

Tabla IV. Progenitores de uso frecuente que normalmente transmiten elevada resistencia (X) a la roya y el carbón en sus poblaciones.

Progenitores	Roya	Carbón	Progenitores	Roya	Carbón	Progenitores	Roya	Carbón
C 87-51	X	X	C 155-77	X		SP 71-3501	X	X
C187-68	X		Co 6806	X	X	B 6368	X	
CP 52-43	X		C 1566-75	X	X	B 8066	X	
C 137-81	X	X	C 966-75	X		B 51410	X	X
Phill 6607		X	S 173-80	X		B 80250	X	X
Mex 65-1424	X	X	C 132-81		X	C 147-76	X	X
Mex 66-1235	X		C 439-72		X	C 1051-73		X
B 45181	X	X	B 45211	X	X	Ja 64-19		X
CSG 56-92	X	X	CP 65-392	X	X	CSG 38-92	X	X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Resulta evidente que en los últimos años se ha logrado disponer de un adecuado número de variedades resistentes a la roya y el carbón, lo cual ha permitido sustituir las variedades susceptibles de nuestras áreas de producción, reduciendo el nivel de difusión y la carga de inóculo presente en las mismas. Sin embargo, considerando que como seres biológico en interacción, este equilibrio tiende nuevamente a romperse, bien por el incremento de la agresividad del patógeno o por

disminución de la capacidad o nivel de resistencia de las variedades, se considera pertinente a partir de los resultados expuestos, arribar a las conclusiones y recomendaciones siguientes:

- Debe continuarse priorizando el incremento del nivel de resistencia al carbón de los progenitores empleados por el programa comercial de obtención de nuevas variedades.
- Debe generalizarse la introducción de técnicas y criterios de selección de variedades que contemplen, desde etapas tempranas, la evaluación de los retoños, propiciando una mayor carga de inóculo en dichos estudios,
- Resulta necesario valorar el estado actual del nivel de explotación de las fuentes de resistencia de que se disponen en nuestro Banco de Germoplasma.
- Se evidencia la necesidad de continuar reactivando el programa general de desarrollo de nuevos progenitores capaces de transmitir elevada resistencia al carbón.
- Es importante mantener intercambio de experiencia y material genético con diferentes grados de avance generacional con otras estaciones de mejora del mundo.

BIBLIOGRAFÍA

Benda, B.T.A. Breeding for diseases resistance, 1987. Copersucar international Sugarcane Breeding workshop: 161-179.

INICA, CENSA, INISAV, CINC, (1999-2000). Sistema evaluativo de la resistencia a las enfermedades de la Caña de Azúcar. Revista Cuba & Caña.

EMPLEO DE LA BIOTECNOLOGÍA COMO HERRAMIENTA PARA DESARROLLAR UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE.

Leidy Cortegaza O. Santana, Madyu Matos, Sandra Vidal, Odalmis Dihigo, Pedro Luis Cortegaza y Gelasio Pérez.
Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Carretera Central, Km 156, Jovellanos, Matanzas, E-mail: epica@atenas.inf.cu

Resumen
Dentro de la agricultura moderna, específicamente la llamada Revolución verde, el desarrollo tecnológico y ventajas alcanzadas por la Biotecnología aplicada a la agricultura han cautivado a muchos productores independientes y grandes empresas. La mayoría de los agricultores tradicionales y agroecólogos consideran el empleo de esta tecnología como algo contrario a los principios que enarbolan sus sistemas de cultivos. Sin embargo, el empleo correcto y racional del cultivo de células, tejidos y órganos no solo ha revolucionado la medicina sino también a la agricultura moderna. En este trabajo se utilizó técnicas *in vitro* con el objetivo de conservar los recursos genéticos los cuales son llamados herencia de la humanidad por su vital importancia, es por ello que se realizó un estudio donde se utilizó diferentes medios de cultivo con el objetivo de retardar el crecimiento de las plantas y disminuir la asimilación de los nutrientes de la misma en el medio de cultivo así como variar las condiciones ambientales como la humedad relativa, temperatura y los efectos de la luz, todo con el objetivo de lograr en elevados períodos de tiempo características fenotípicas relevantes de las formas, especies e híbridos almacenados que se encuentran en peligro de extinción, son proclive a la erosión y son pocos adaptables y forman parte de los recursos genéticos. Los resultados muestran en gran medida la conservación de 55 formas y especies durante 14 meses en medios sin manitol y sorbitol con AIA en concentraciones de 5 y 6 mg/250 ml de agua. Después de 14 meses se observó una rápida recuperación de los explantes en medio de multiplicación mostrando un 70-80% de supervivencia de la plántula.

Palabras claves: Germoplasma, cultivo *in vitro*, biotecnología

ROL OF BIOTECHNOLOGY METHODS IN SUSTAINABLE AGRICULTURE SYSTEMS.

Leidy Cortegaza O. Santana, Madyu Matos, Sandra Vidal, Odalmis Dihigo, Pedro Luis Cortegaza, Gelasio Pérez y O. Vandrell.
Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Carretera Central, Km 156, Jovellanos, Matanzas, E-mail: epica@atenas.inf.cu

With the explosion of Green Revolution, in the context of modern agriculture, the technological development acquired by Agriculture apply Biotechnology has attracted many independents farmers and modern enterprises. The most ancient farmers and agroecologist considers

Biotechology as a negative practice in alternative agriculture systems. Nevertheless a right use of cells, tissue and organs culture has revolutionize Medicine and Agriculture in modern time. One of the most interesting applications of biotechnologist methods concerns to *in vitro* conservations of genetic sources (Germplams). The important of Germplams conservation is well know. Hence the necessity of found new alternatives to the traditional *in vivo* and *in situ* conservations. The objective of this papers is the conservation of sugarcane genetic sources by different culture media that retard the plant grow and decrease the nutrient assimilation. The effect of light, relative humidity and temperature variations was studied in order to procure the long time conservations periods of forms, species and hybrids without alterations in its phenotypic and genotoyipic characteristics susceptible to variations in traditional conservations methods. The results shows good conservations of 55 genetic forms and hybrids origin of National Germplams Collectios during 14 months by employing media with Indolacetic Acid (IAA) at 5 and 6 mg/250 ml of water without manitol and sorbitol. After the conservations periods a quickly and normal regenerations of explants in the multiplication media culture was observed with 70-80% of plant survival.

Key Words: Germplams, *in vitro* culture, Biotechnology

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la biodiversidad es indispensable para el manejo eficiente de los recursos genéticos naturales disponibles. La caña de azúcar adquiere singular relevancia para establecer programas de mejoramiento genético, sin olvidar los aspectos ecológicos y éticos que contribuyan al desarrollo armónico de la actividad humana

Sin duda alguna, la biotecnología y sus resultados ha permitido un avance considerable, en los últimos 10 años en el conocimiento de la biodiversidad existente en el reino animal. Para lograr este propósito, su integración con las diferentes esferas de la vida en un contexto de desarrollo sostenible, es un requisito indispensable. La biotecnología debe ser concebida como una herramienta que favorece la humanidad, si se toman en cuenta que su desarrollo parte de la biodiversidad existente, la protege y, de igual modo, la enriquece con la introducción de una nueva variabilidad. El mantenimiento de las Colecciones de Germoplasma en caña de azúcar es la base de los programas de mejoramiento genético. La conservación a nivel de campo (*in situ*) presenta el inconveniente de la vulnerabilidad a todo tipo de desastres naturales así como al ataque de plagas y enfermedades. En el caso de la caña de azúcar, la mayoría de las caña nobles, al igual que algunos clones silvestres, no están adaptados a las condiciones locales de cultivo. El cultivo *in vitro* ofrece una serie de ventajas para la conservación tales como el reducido espacio necesario para almacenar un gran número de genotipos, el material puede ser saneado de patógenos y mantenido libre de éstos, siendo posible multiplicarlo rápidamente cuando es necesario, lo que permite disponer de las plantas en el momento deseado (Kartha, 198, citado por Pérez-Ponce, 1998). Los bancos *in vitro* facilitan además, el intercambio internacional al reducirse las barreras cuarentenarias (Pérez-Ponce, 1998). En la actualidad, esta técnica es de gran importancia por lo que objetivo del presente trabajo fue demostrar la efectividad del método de conservación, a través de la recuperación del tejido y su incorporación a la propagación *in vitro,* sin utilizar tecnologías que afecten parte de la biodiversidad.

MATERIALES Y MÉTODOS: Se realizó una selección fenotípica y bioquímica (electroforesis de peroxidasas) de las 55 formas de *Sacharum sp* de los que se tomaron explantes a los 6 meses de edad, estos fueron esterilizados en alcohol durante 1 minuto y flameado por varios segundos. Los domos meristemáticos extraidos tenían un diámetro de 2-3cm, se realizó la siembra y propagación mediante los subcultivos necesarios bajo condiciones asépticas en cámara de flujo laminar. Los explantes resultantes constituyeron el material de partida para la conservación. Las plántulas se conservaron en sales formuladas por Murashige y Skoog (1962) al 50% de su concentración, a 15 y 23°C de temperatura en cámara climatizada bajo un fotoperíodo de 16 horas luz. Se utilizó como variante 3 y 4 plantas micropropagadas en MS(1962) complementado de 5mg de AIA(ácido indolacetico) a similares condiciones de temperatura y luminosidad. Para medir el estado de la planta se confeccionó la escala siguiente:

Grado	**Descripción**
5	Más de un 75% de las plantas en buen estado (Excepcional)
4	El 75% de las plantas en buen estado(bueno)
3	El 50% de las plantas en buen estado (regular)
2	El 25% de las plantas en buen estado (malo)
1	Menos del 25% de las plantas en buen estado o muerta (muerta)

Posterior a la conservación los explantes fueron transferidos a medio de recuperación con el objetivo de evaluar el porcentaje de supervivencia en las condiciones normales de crecimiento y en condiciones de vivero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: A los 14 meses de conservadas los explantes de caña de azúcar a 23°C de temperatura se observó una disminución en el porcentaje de supervivencia en las 55 formas de *S. officinarum L.*, por otra parte con respecto a la temperatura los mayores período de conservación se alcanzaron en los tratamientos a temperatura de 15ºC (tabla 1), coincidiendo con lo planteado por Withers(1985), el cual señala que la temperatura óptima de conservación de los explantes *in vitro*, corresponde a 15 y 20 $\pm$ 2°C para cultivos que crecen a 30°C de temperatura. Las plántulas conservadas a 15^{0}C de temperatura alcanzaron un alto coeficiente de multiplicación a partir de segundo subcultivo. Se pudo observar que para todas las variantes se observaron plantas muertas, en mayor cuantía para las variantes 2 y 4, aunque sufrió necrosis de los tejidos en el 25% de las formas tratadas a 15^{0}C de temperatura en medio de sales al 50% de su concentración.

Tabla 1: Influencia de la temperatura y la concentración mineral de los medios de cultivo, en el porcentaje de supervivencia de 100 formas originales de *S. officinarum L.*

	Variantes	Sales M.S	Temperat (^{0}c)	Período de Conservación (Meses)			
				4	6	8	14
55 Formas Originales de *Saccharum officinarum L.*	1	50% MS	15	90	86	80	75
	2	50% MS	23	68	64	52	32
	3	50 % MS más AIA(5mg)	15	95	90	85	83
	4	50 % MS más AIA (5mg)	23	70	65	60	55

Se logró una marcada diferencia significativa en la supervivencia de las formas tratadas con AIA (ácido indolacético) a 15^{0}C(tabla1), por lo que demuestra la efectividad de la hormona en dosis de 5 mg/l, como sustancia reguladora del crecimiento por lo que se confirma lo planteado por Bonner y Galston, ya que este tratamiento resultó ser más efectivo ya que los coeficientes de supervivencia superan en los 14 meses el 80 %.
En condiciones de campo se observó una rápida recuperación en las plantas tratadas a bajas temperaturas en medios de sales suplementada de AIA.

Al realizar el análisis de izoenzimas peroxidasas a 20 plantas por variantes, no se obtuvo variación en el patrón izoenzimático, lo cual indica que para estos casos no existió variabilidad genética.

CONLUCIONES

- La temperatura de 15^{0}C resultó ser la ideal para la conservación de las formas de *Saccharum sp.* en peligro de extinción .
- Los porcentajes de supervivencia resultaron mayores a en los tratamientos a 15^{0}C que los tratados a 23^{0}C.
- Resultó ser el medio MS suplementado de 5mg/l de AIA el idóneo para la conservación del cultivo de Caña de Azúcar.
- Se logró un 70 % de supervivencia en el transplante para las plantas tratadas con AIA a 15^{0}C, sin embargo para las demás variantes resultó por debajo de 50%, es decir parte del material transplantado sufrió porcentajes elevado de mortalidad.
- Se mantuvo la identidad genética del material durante los 14 meses del período de conservación por el sistema enzimático de la peroxidasas

REFERENCIAS

1-Jiménez, E. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas; 1995: 100p.
2-Murashige, T.& Skoog, F, Physiol. Plant. 15: 473-497, 1962
3-Pérez, O. G y otros. Recursos genéticos de la caña de azúcar; pp22-25; 1997
4- Withers, L.A., Cryopreservation of culture plant cells and protoplasts. pp 242-267, 1985.
5- Arencibia A. & Cornide M. Biodiversidad y Biotecnología de la Caña de Azúcar, pp 9-11, 1999.

PROGENITORES 2N+N EN EL DESARROLLO DE UN NUEVO ESTILO DE NOBILIZACIÓN PARA LA CAÑA DE AZÚCAR (SACCHARUM SPP)

SUGAR CANE (SACCHARUM SPP) 2N+N PARENTS IN THE DEVELOPMENT OF A NEW STYLE OF NOBILISATION

R. R. Campo Zabala y G. Pérez Oramas

Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), MINAZ, Carretera a CUJAE, Km $2^{1/2}$, CP: 19390, Boyeros, Ciudad de la Habana, Cuba.
E-mail: czricardo@inica.edu.cu

ABSTRACT

Sugarcane parents are presented fundamentally F1 (2n+n) from Saccharum officinarum x S. spontaneum and crossing of these species with complex hybrids (n+n). Its use it proposed by means of a New Style of Nobilisation to obtain new parents and commercial varieties, with a larger genetic base in comparison with the current commercial varieties worldwide, taking into account that they have been obtained through the traditional outlines of Nobilisation. This New Style of Nobilisation would allow to obtain forms that facilitate a greater diversification of the crop. The varieties obtained by this way present a 2n+n chromosome dotation. Both systems of Nobilisation are compared to each other.

Key words: Sugarcane, nobilisation, parents, chromosome dotation.

RESUMEN

Se presentan progenitores de caña de azúcar, fundamentalmente F1 (2n+n) de Saccharum officinarum x S. spontaneum y cruzamientos de estas especies con híbridos complejos (n+n) y se propone su uso mediante un Nuevo Estilo de Nobilización para la obtención de progenitores y variedades comerciales, con una mayor base genética que la mayoría de las actuales variedades comerciales en el mundo, ya que las mismas han sido obtenidas a través de los esquemas tradicionales de Nobilización. Este Nuevo Estilo de Nobilización permitiría obtener individuos que posibilitarían una mayor diversificación del cultivo. Los individuos obtenidos por esta vía presentan dotación cromosómica 2n+n. Se comparan ambos sistemas de Nobilización.

Palabras claves: Caña de azúcar, nobilización, progenitores, dotación cromosómica

INTRODUCCIÓN

Los programas de mejoramiento para la caña de azúcar, desde sus inicios a principios del siglo XX, y hasta el presente, en la mayoría de los países cañeros, han estado basados en el desarrollo de procesos de hibridación con la aplicación del Estilo Convencional de Nobilización (ECN) y con el uso de pocas variedades originales de las especies *Saccharum officinarum* y *S. spontaneun,* e híbridos complejos provenientes de esta misma base genética, lo que ha provocado que la mayoría de las variedades comerciales actuales provengan de una similar base genética (Campo Zabala, 2002). Los objetivos de este trabajo es promover el uso de las variedades progenitores con dotación genética 2n+n y aplicación

del nuevo estilo de nobilización (NEN) que favorezca la ampliación de la base genética en el mejoramiento de la caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se han utilizado estudios citogenéticos de variedades cubanas y extranjeras en diferentes fases de nobilización Se analizaron diferentes genealogías de variedades progenitores y comerciales y descendencias de éstas e informaciones de programas de mejoramiento de la caña de azúcar de los principales países cañeros del mundo (INICA, 1987).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre los primeros híbridos comerciales obtenidos en el mundo se encuentran las variedades de la serie POJs, provenientes de Java, (Fig.1), especialmente POJ2878, que a su vez se convirtió junto a sus parientes, en los progenitores más usados hasta nuestros días (Bremer, 1962). Ello ha llevado a que la mayoría de las variedades comerciales de caña, en casi todo el mundo presentan una ascendencia muy parecida, que con el uso continuo en los programas de mejora, un año tras otro, ha originado en las variedades comerciales e híbridos complejos actuales, utilizados como progenitores, cierta consanguinidad y un franco estrechamiento de su base genética (Walker, 1987; Campo Zabala, 2002), lo que atenta con la permanencia de las variedades comerciales en producción, ya sea por su poca estabilidad productiva, o por la alta incidencia de enfermedades y plagas de las cuales son víctimas, aunque no puede desconocerse cierto avance genético en la calidad del jugo, porcentaje de sacarosa, vigor, etc., otros caracteres se han visto afectados, tales como la resistencia a enfermedades y la permanencia productiva de las plantaciones. Según trabajos de Bremer en Java (Bremer, 1962) y los realizados por el autor en Cuba sobre la selección de individuos por su genealogía, de diferentes orígenes, y la determinación de progenitores con dotación cromosómica 2n+n, hacen posible la utilización práctica del NEN (Fig.2), donde además de las formas tradicionales de *S. officinarum* y *S. spontaneun* podrán ser utilizados híbridos complejos 2n+n, ante las diferentes formas de estas especies, como progenitores masculinos o femeninos, según beneficie la obtención de individuos con número aumentado de cromosomas hasta la generación (**G**) que desee el mejorador.

CONCLUSIONES

El uso de individuos 2n+n y Nuevo Estilo de Nobilización (NEN) posibilita la ampliación de la base genética de la caña de azúcar con una mayor utilización del germoplasma actual, ya que hace posible la introgresión de nuevos genes silvestres, que proporcionan a las progenies obtenidas una mayor rusticidad general ante las principales enfermedades del cultivo y una respuesta más amplia ante las condiciones de estrés ambiental que los individuos obtenidos por la nobilización tradicional, al mismo tiempo, pueden combinarse los individuos de ambos sistemas o estilos. Además de las formas extranjeras usadas en el desarrollo del NEN, fueron utilizados un grupo de híbridos complejos del germoplasma cubano de caña de azúcar, que posibilita en la práctica la ejecución de este sistema de hibridación.

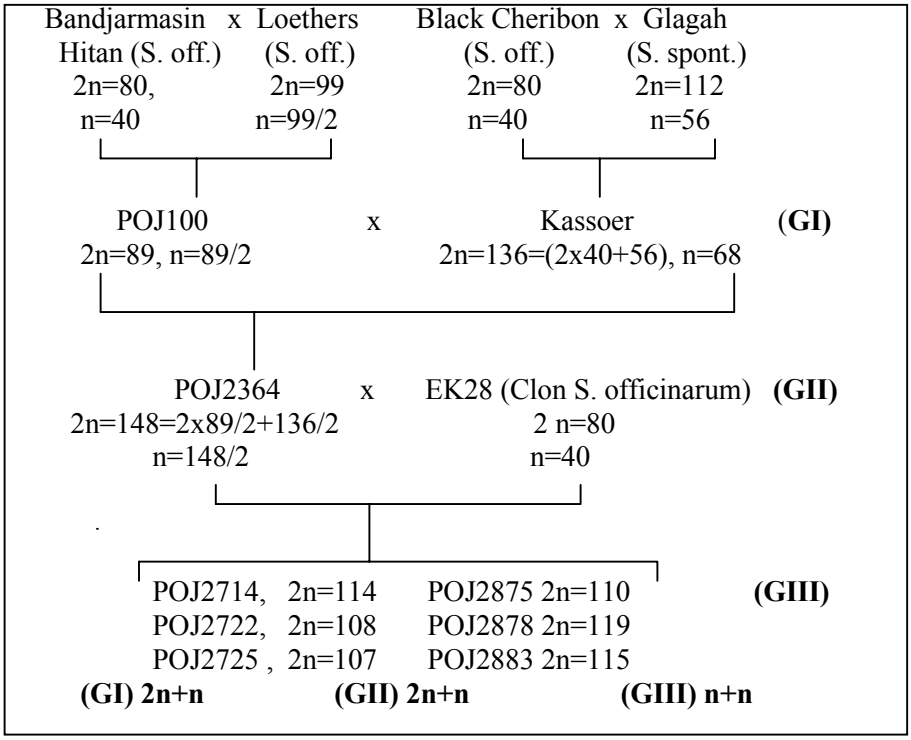


Figura 1. Estilo Convencional de Nobilización (ECN) para la obtención de variedades de la serie POJ,s.

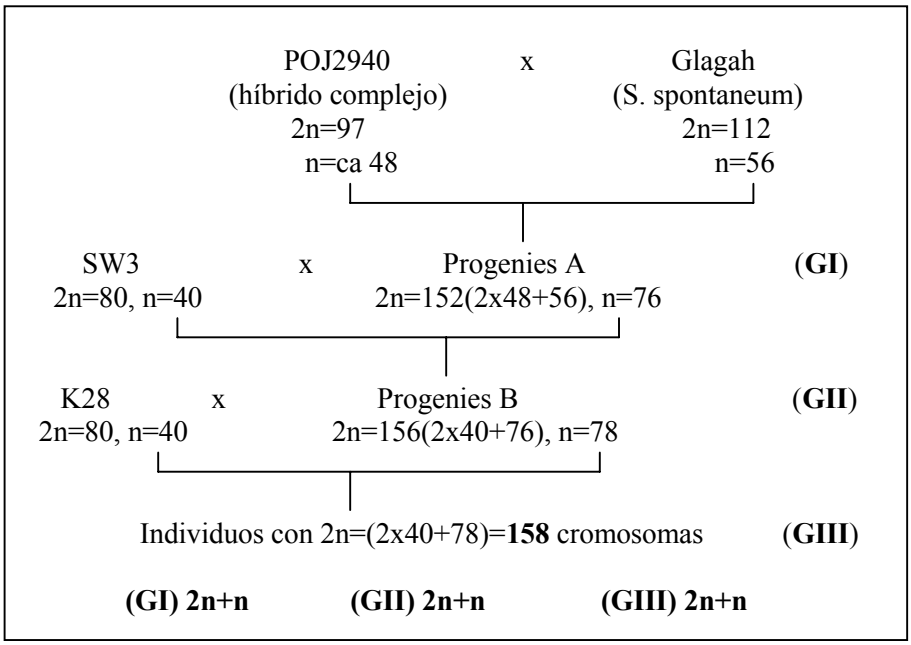


Figura 2. Nuevo Estilo de Nobilización (NEN) para la caña de azúcar.

REFERENCIAS

-Campo Zabala, R.R. (2002). Memorias. XIX Congreso de SOMEFI, México,
-INICA (1987). Normas y Procedimientos de Mejoramiento Genético. Ciudad de La Habana, Cuba, 146 pp.
-Walker, D.I.T. (1987). Copersucar's Int Sugarcane Breeding Workshop. Sugar Cane Autumn Supplement 1-7, Brasi.l
-Bremer, G. (1962). Euphytica 11:65-80.

DETERMINACIÓN DE ESPECIES DE BÓRER PRESENTES EN LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA PROVINCIA DE VILLA CLARA

Francisco Barroso[1], Horacio Grillo[2], Osmany Aday Díaz[1], Javier Barroso[1], Maritza Dueñas[1], Miriam Melillo[1], Félix R. Díaz Mujica[1], Yandi Estévez[1], Lisbet Rodríguez[1], José Rosa[1], Luis F. Machado[1], Ailyn Gallardo[1] y Susana Reyes[1].

1. ETICA de Villa Clara-Cienfuegos, Autopista Nacional; Km 246; Apartado 20 Ranchuelo, Villa Clara, CP 53100; Fax: 451520; Teléfono: 451132 y 451520;
Correo electrónico: epica@civc.inf.cu.
2. Centro de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad Central de las Villas

RESUMEN:

Se colectaron larvas de bórer en corazones muertos sobre cepas de retoños de caña de azúcar, durane los años 1999 a 2003, en áreas agrícolas de los Complejos Agroindustriales "Ifraín Alfonso", "Osvaldo Herrera", "El Vaquerito", "Marcelo Salado", "Carlos Caraballo", "Hermanos Ameijeiras", "Chiquitico Fabregat", "10 de Octubre" y la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), representativos de diferentes zonas agroecológicas. En esta última se obtuvieron orugas en los meses de Noviembre – diciembre del 2002 en posturas de viveros. Los insectos se criaron en el laboratorio llegando al estado adulto 1 921, de ellos 867 machos y 1044 hembras, los que fueron identificados en la EPICA Villa Clara y ratificados algunos ejemplares en el Laboratorio de Entomología Sistemática del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la Universidad Central de las Villas (UCLV). Los 1 921 insectos correspondieron a la especie D*iatraea saccharalis* (Fab.), coincidiendo estos con observaciones anteriores realizadas en la provincia de Villa Clara.
Key words: Borer, *Diatraea saccharalis,* sugar cane.

Palabras claves: Borer, *Diatraea saccharalis,* caña de azúcar.

ABSTRACT

Borer larvas were collected in dead hearts in sugarcane ratoon stools, from 1999 to 2003, in agricultural areas of 8 Agroindustrial Complexes and in the Provincial Sugarcane Research Station of Villa Clara (EPICA), representing different agroecological areas. In this last one caterpillars were obtained in the months of November - December of 2002 in seedlings from nurseries. The insects were raised in the laboratory arriving to the mature state 1 921, from them 867 males and 1044 females, those that were identified in the EPICA of Villa Clara and some specimens wereratified in the Laboratory of Systematic Entomology of the Center of Agricultural Investigations (CIAP) of Universidad Central de las Villas (UCLV). The 1 921 insects corresponded to the species Diatraea saccharalis (Fab.), coinciding these with previous observations carried out in the Province of Villa Clara.

Key words: Borer, *Diatraea saccharalis,* sugar cane.

INTRODUCCIÓN

El bórer de la caña de azúcar *Diatraea saccharalis* (Fab.), constituye la principal plaga de la industria azucarera en el mundo, causando en nuestro país varios millones de pesos anuales de pérdidas (Barba y col. 1980; Mora y col. 1996; Acosta y Galán 1998).

Se han descrito 21 especies del género *Diatraea* que atacan a la caña de azúcar (Linares y Bastidas, 1996). En Cuba se conoce a *Diatraea saccharalis* (Fab.) y *Diatraea lineolata* (Walk.), ésta última aunque se plantea en el mundo que ataca a la caña de azúcar, nunca se ha encontrado en este cultivo. Pudiera existir la posibilidad de presentarse otros perforadores de la caña en el país, sin haberse reportado (Pérez y Acosta, 1997) y para tratar de detectar estos se realizan todos los años de enero – abril la encuesta nacional.

Teniendo en cuenta lo antes expresado el objetivo de esta investigación fue determinar, las posibles especies de perforadores presentes en la caña de azúcar, en áreas de producción de la provincia de Villa Clara.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó acabo en el Laboratorio de Entomología de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara (ETICA). Se recogieron larvas de bórer en corazones muertos en cepas de retoños de caña de azúcar (cortados en verde), con edad de 1 a 3 meses después de cosechados, durante los años 1999 a 2003 en los Complejos Agroindustriales "Ifraín Alfonso", "Osvaldo Herrera", "Chiquitico Fabregat", "10 de Octubre" "El Vaquerito", "Marcelo Salado", "Carlos Caraballo", "Hermanos Ameijeiras", y ETICA de Villa Clara que representan las diferentes zonas agroecológicas. . En esta última se obtuvieron orugas en los meses de Noviembre – diciembre del 2002 en posturas de viveros.

Las larvas colectadas se llevaron al laboratorio y se criaron individualmente en tubos de ensayo, alimentándose de tallos jóvenes de caña de azúcar. Una vez emergidos los adultos se realizó la identificación de las especies y determinación del sexo por Especialista de la ETICA de Villa Clara, mediante las características morfológicas externas y se ratificó la de algunos ejemplares por expertos del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la Universidad Central de las Villas (UCLV), mediante las genitalias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como puede observarse en la Tabla 1, se obtuvieron un total de 1 921 adultos de ellos 877 machos y 1 044 hembras con una proporción de sexos de 1.19 hembras por macho.

La única especie encontrada fue *Diatraea saccharalis* (Fab.), correspondiendo este resultado con observaciones realizadas con anterioridad.

Esta investigación nos permite detectar a tiempo la presencia de una nueva especie de bórer que pudiera ser introducida al país y un control localizado de los mismos, evitar los daños que pudieran ocasionar al extenderse al resto de las áreas cañeras, así como adoptar medidas preventivas en los mismos. Por otro lado el trabajo confirma que la *Diatraea lineolata* (Walk.), no se encuentra como plaga en el cultivo de la caña de azúcar, al menos en las áreas de la provincia de Villa Clara.

Tabla 1. Individuos adultos a partir de las muestras colectadas en las Empresas Azucareras ye n la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de azúcar en la provincia de Villa Clara.

Procedencia	Fecha en que se colectaron las muestras	Machos	Hembras
Año 1999			
Ifraín Alfonso	Febrero – Junio	130	128
Osvaldo Herrera	Febrero – Marzo	8	3
ETICA V.C	Abril – Junio	20	33
Chiqitico Fabregat	Mayo – Junio	87	92
Sub-total		**245**	**256**
Año 2000			
Chiqitico Fabregat	Enero – Junio	100	88
Osvaldo Herrera	Febrero – Marzo	25	29
10 de Octubre	Febrero – Junio	40	39
Sub-total		**165**	**156**
Año 2001			
10 de Octubre	Enero – Junio	86	96
Osvaldo Herrera	Abril	35	90
Chiqitico Fabregat	Marzo – Junio	20	10
El Vaquerito	Abril	15	25
Marcelo Salado	Marzo	15	25
Carlos Caraballo	Mayo	10	10
Hnos Ameijeiras	Junio	15	15
Ifraín Alfonso	Junio	38	50
Sub-total		**234**	**321**
Año 2002			
Ifrain Alfonso	Abril-Mayo	84	132
Chiquitico Fabregat	Abril	30	60
Marcelo Salado	Mayo-Junio	14	14
10 de Octubre			
ETICA	Noviembre-Diciembre	49	35
Sub-total		**207**	**277**
Año 2003			
Ifrain Alfonso	Abril - Mayo	24	30
10 de Octubre	Abril	2	4
Sub-total		**26**	**34**
Total General		**877**	**1044**

CONCLUSIONES

- Los resultados encontrados reflejan que la única especie de bórer encontrada en la provincia de Villa Clara durante los años 1999 al 2003 fue Diatraea saccharalis (Fab.), por lo que no es necesario aplicar medidas de cuarentena interna.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Silvia y Maribel Galán. (1998). El superparasitismo de *Cotesia flavipes* (Cam.) puede favorecer su cría. Revista Cuba & Caña 1, 98: 4 – 6.
- Barba, Magalys; Desiabin V.; Miriam Sánchez y Julia Almendóz. (1980). Pérdidas ocasionadas por el bórer de la caña de azúcar *D. saccharalis* (Fab), en las zafras de 1976-1977 y 1977-1978. Ciencia y Técnica en la Agricultura. Protección de Plantas 2 (2): 7 – 20.
- Mora, P.; Valladares, F.; Pelegrín, A.; Machín, M. y Domínguez, H. (1996). Disposición espacial del daño por *Diatraea saccharalsis* (Fab), producido en condiciones naturales. Revista ATAC 1 96: 43 - 46.
- Linares, B. y Bastidas R. (1996). Descripción comparativa de las especies del género *Diatraea guilding* (Lepidóptera: Pyrolidae) que atacan la caña de azúcar en Venezuela. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigaciones del Estado Yaracuy, Serie 17 No. 11: 92 p.
- Pérez, Isabel y Silvia Acosta. (1977). Plagas de barrenadores. Curso de capacitación sobre organismos cuarentenados peligrosos en el cultivo de la caña de azúcar. Material mimiográfico.

MÁS DE 50 AÑOS DE INVESTIGACIONES CON NITRÓGENO EN CAÑA DE AZÚCAR SOBRE VERTISUELOS DE LA REGIÓN ORIENTAL DE CUBA.

E. Angarica, E. Pérez[*] y Beatriz Montero [**]

RESUMEN

Se sumarizan los resultados de 25 experimentos de campo (47 cosechas) distribuidos en Vertisuelos Gris Amarillento de la Llanura de Alto Cedro y Negro del Valle del Cauto, con el objetivo de determinar las dosis óptimas, fuentes, formas y épocas de aplicación del nitrógeno y la influencia residual sobre la cepa subsiguiente. Los resultados no mostraron significancia de la caña planta en los Vertisuelo Gris Amarillento y si una alta respuesta de esta cepa en los Vertisuelo Negro con una gran correspondencia entre el incremento en caña y pol/ha de los retoños y las aplicaciones de nitrógeno, la cual se incrementa con el envejecimiento de la cepa. Se discute la eficiencia del nitrógeno en t. de caña/kg de N y se exponen claramente las dosis a emplear en cada cepa. La caña de azúcar no mostró preferencia por la Urea o NH_4SO_4 como fuente portadora; las aplicaciones enterradas duplicaron las aplicaciones superficiales y el nitrógeno aplicado en ningún caso mostró efecto residual.

MORE 50 YEARS OF SUGARCANA NITROGEN RESEARCH ON VERTISOLS FROM ORIENTAL REGION OF CUBA.

E. Angarica,* E. Pérez y Beatriz Montero ****
Nacional Sugarcana research Institute

SUMMARY

It is summarized the results of 25 fields experiments (47 harvest) distrivuted on vertisosls (yellow ish- Grey) from the Plane " Alto Cedro" and Vertisols(Black) from the "Valle of Cauto"being the objetive to determined the optimun doses, sourses, and the time of nitrogeno aplicationfromand the residual influenceon the following ratoon. The result have not shouwed significancein the Cane Plant on vertisols (yellowish- Grey) but a ehigher response for this one on Vertisols (Black) whith a high correspondence between cane increase and plo/ ha for the ratoons and the nitrogen applications, which it is icreassed by the rtoons age. It is discussed the nitrogen eficency in cane t/kg and it is cleary showed the doses to be used in each ratoon. Sugarcane did not show preference for the Urea or NH4SO4 as sources, the buried applications twice the ones superficial and the nitrogen applied in any case shoed residual effect.

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones sobre el uso del nitrógeno en la agricultura han demostrado que este elemento constituye la causa principal de los incrementos de la producción agrícola mundial, su uso en la caña de azúcar bajo las condiciones de Cuba ha sido abordado por Alomá (1973); Pérez (1974) y Pérez y Angarica (1981), entre otros. La definición de las dosis óptimas, las diferentes fuentes portadoras, formas y épocas de aplicación, así como los efectos residuales sobre diferentes cepas, constituyen temas de interés cotidiano, su comportamiento bajo las condiciones de los Vertisuelos de la región oriental de Cuba, son los objetivos principales del presente trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el logro de los objetivos propuestos se condujeron un total de 14 experimentos con 47 cosechas sobre Vertisuelos Gris Amarillento de la zona de los ingenios que bordean la Bahía de Nipe (Llanura de Alto Cedro), incluido estudios de la década del 50 del siglo pasado y 11 experimentos con 30 cosechas sobre Vertisuelo Negro del Complejo Agroindustrial "Cristino Naranjo" (Valle del Cauto), todos conducidos metodológicamente según las normas del Departamento de Agroquímica y Suelos del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar *(INICA,1990).*

Los tratamientos aparecen en las tablas y gráficos de resultados, la dosis de N para los estudios de fuentes formas y épocas de aplicación resultó 70 Kg. de N**.** ha^{-1} en forma de Urea y NH_4SO_4; en todos se empleó como abono de fondo P_2O_5 y K_2O ,(50 y 120 Kg**.** ha^{-1} ha^{-1}). Las cosechas se realizaron por el método de pesada total de la parcela (4 surcos de 7.5 m) y se realizaron muestreos de 20 cañas por parcelas 7 días antes, para análisis de brix, pol y pureza.

Después de cada cosecha se efectuó un análisis de varianza y se aplicó la prueba de rangos múltiples de Duncan cuando hubo diferencias; para el análisis de los datos se promediaron cosechas y tratamientos matemáticamente iguales y los datos obtenidos fueron ajustados a los modelos de mejores bondades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los Vertisuelos orientales poseen particularidades en la evolución y transformaciones del Nitrógeno, los que se desarrollan en la Llanura de Alto Cedro (Gris Amarillento) no ofrecen respuesta de la caña planta de ciclo de primavera (12-14 meses) y las aplicaciones de Nitrógeno en el ciclo de frío (18-22 meses) presentan tendencias a causar efectos depresivos en la producción de caña y pol**.**ha^{-1} (figura 1). Los que se extienden por el Gran Valle del Río Cauto (Vertisuelos negro, negro grisáceo y gris) presentan una alta respuesta al nitrógeno (75% en primavera y un 100% en frío, figura 1) la eficiencia del nitrógeno aplicado en t. de caña **.**kg de N^{-1} resultó de 0.19 y 0.18 para ambos ciclos respectivamente.

El estudio de las aplicaciones de Nitrógeno en los retoños mostró la necesidad de potenciar este nutriente en todas las cepas (figura 1). En el Vertisuelo Gris Amarillento se incrementa la demanda a partir del segundo retoño con incrementos lógicos, sin embargo, la eficiencia es muy estable para todos los retoños (0.20-0.23 t. de caña **.**kg de N^{-1}). Los Vertisuelos Negros manifiestan una alta respuesta, son más exigentes en las dosis y el nivel de la eficiencia del Nitrógeno no es estable, por el contrario se

muestra discontinuo con el envejecimiento de la cepa (tabla 1). Estos resultados coinciden con reportes de *Aloma, (1973), Pérez, (1984) Angarica et..al (1990).*

Tabla 1. Efecto de las fuentes y las formas de la aplicación de Nitrógeno

Tratamientos	Increm .testigo^{-1} t. de caña.ha^{-1}	t. de caña. Kg de N^{-1}	Formas	%
US	9.8	0.14	0.135	100
SS	9.0	0.13		
UE	22.0	0.32	0.260	200
SE	21.9	0.31		
UP	17.0	0.24	0.244	181
SP	17.4	0.25		

*Rendimiento del testigo = 67.7 t. de caña.ha^{-1}

El efecto negativo, de la hidromorfía, y el mal drenaje presente en los Vertisuelos se acrecienta en los Negros de la Empresa Azucarera "Cristino Naranjo", tales procesos ocurren con transformaciones geoquímicas , anaerobiosis y afectaciones de la biodiversidad microbiana, etc.. ello les proporciona reducción de los nitratos y pérdidas de N por volatilización, lo cual puede justificar las respuestas en caña planta y las exigencias en la elevación de las dosis.

El análisis de 23 cosechas donde se compararon la Urea (U) y el NH_4SO_4 (S) como fuentes portadoras de N, no indicó que la caña de azúcar mostrara preferencia por alguna de ellas para incrementar sus rendimientos en caña y pol ha^{-1} (tabla 1).

Las formas de aplicación, resultaron las principales causas de variación, así la aplicación de N enterrada después del corte (UE y SE), logró superar a la aplicación superficial después del corte (SS y US) y la aplicación superficial en primavera (UP y SP) resultó ser una opción importante (tabla 1). Las épocas de aplicación (Inicio, Mediado y Final de Zafra) siempre correlacionaron con las precipitaciones totales (r = 0.98**). Resultados similares reporta *Pérez (1974)* en suelos Ferralíticos del occidente de Cuba.

Conocidos los efecto nulos y en ocasiones negativos del N en caña planta, (tabla 2), se resumen los resultados de 10 cosechas en ambos suelos; el análisis de los retoños mostró un efecto positivo de las aplicaciones de N, en primer retoño los incrementos oscilaron entre 11 y 14 % (75 y 150 kg N . ha^{-1}), sin embargo, cuando el N fue aplicado sin el efecto de la fertilización en planta, estos se elevaron de 16-23%, demostrando que la aplicación precedente no influye sobre el resultado de la cepa en estudio. La caña de azúcar posee la capacidad de producir una gran cantidad de biomasa y aunque las mayores demandas ocurren en los primeros 90 días, su ciclo de crecimiento es muy largo, anulando cualquier efecto de residualidad. Las cosechas del segundo retoño corroboran estos resultados, igual comportamiento se observó en el tercero y cuarto. No hubo efecto del N en el porcentaje de pol en caña.

REFERENCIAS

Alomá, J..(1973): Recomendaciones de fertilizantes para las áreas que bordean la Bahía de Nipe. Serie Caña de Azúcar. No.35, 13 p.

Angarica, B.E; Pérez C.E y Montero B. (1990): Requerimientos de NPK en la caña de azúcar bajo las condiciones agroclimáticas de la Provincia Holguín. Informe, 89 p.

INICA, (1990):Normas metodológicas del departamento de Suelos y Agroquímica del INICA, tomo I, 96 pág.

Pérez. C. E. y Angarica, B.E.(1981): Formas, fuentes y épocas de aplicación de los fertilizantes nitrogenados de caña de azúcar. Cienc. Agríc. Cañera. Boletín No.2, 5-19.

Pérez, I.H. (1974): Algunas cuestiones de interés sobre los suelos y la fertilización de la caña de azúcar en las provincias orientales. Inédito.

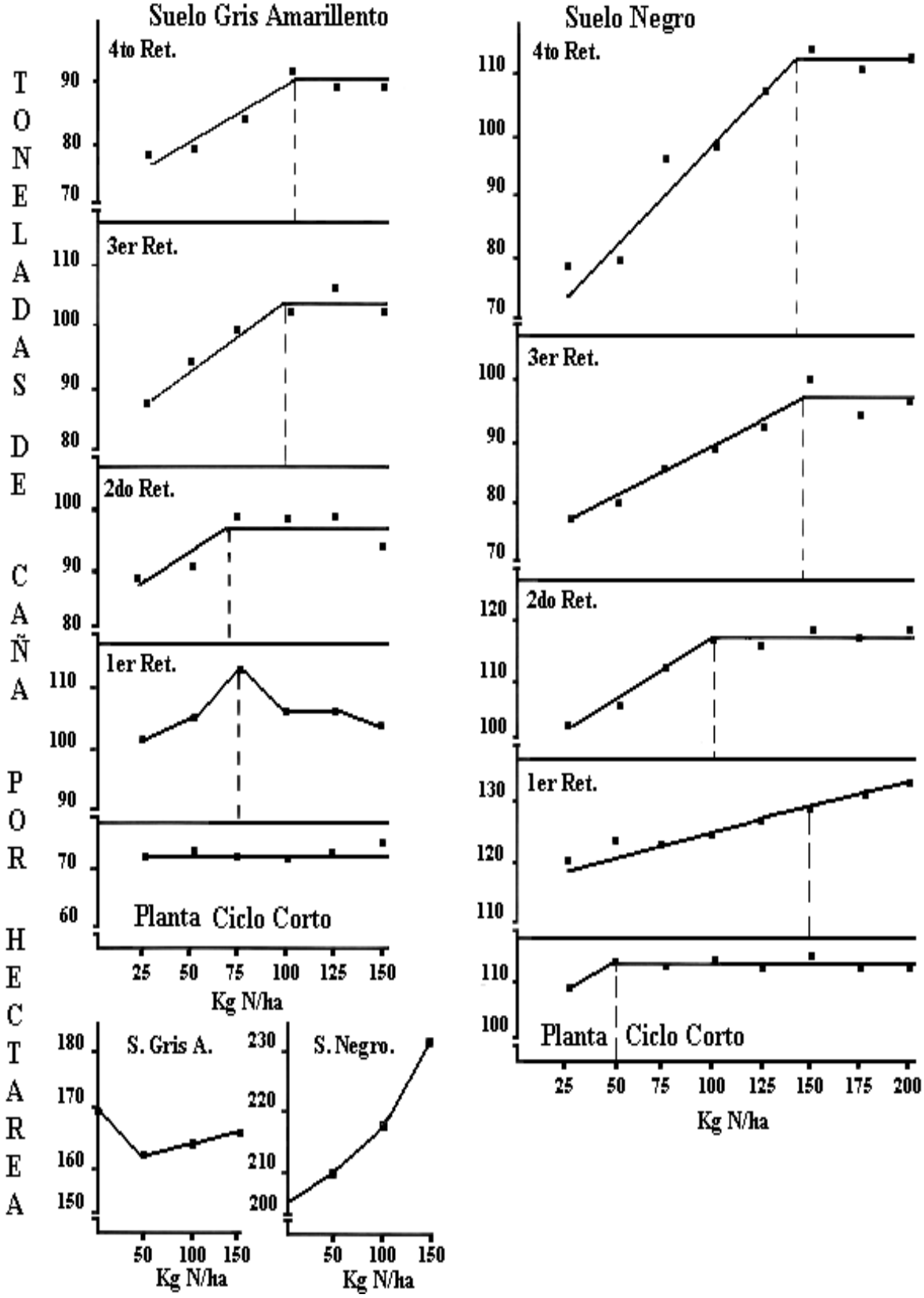
Pérez, I.H. (1974): Formas de aplicar los fertilizantes a la caña de retoño. Serie Caña de Azúcar, No. 69.

Tabla 2. Comportamiento de diferentes cepas de caña de azúcar frente a las aplicaciones de N (% incremento / testigo)

Dosis (Kg N.ha^{-1})	**Vertisuelo Gris Amarillento**			**Vertisuelo Negro.**		
	Planta	**1er Retoño**	**2do Retoño**	**Planta**	**1er Retoño**	**2do Retoño**
75	**-2.00🗑**	**14.00🗑 🗑**	**15.00🗑 🗑 🗑**	**-5.00🗑**	**11.00🗑 🗑 🗑**	**8.00🗑 🗑 🗑**
150	**1.00🗑**	**14.00🗑 🗑**	**9.00🗑 🗑 🗑**	**-1.00🗑**	**14.00🗑 🗑 🗑**	**8.00🗑 🗑 🗑**
75	**---------**	**16.00🗑**	**19.00🗑 🗑**	**--------**	**17.00🗑 🗑**	**12.00🗑 🗑**
150	**---------**	**23.00🗑**	**19.00🗑 🗑**	**--------**	**20.00🗑 🗑**	**12.00🗑 🗑**
75	**---------**	**---------**	**20.00🗑**	**--------**	**--------**	**13.00🗑**
150	**---------**		**23.00🗑**	**--------**	**--------**	**13.00🗑**
T=O	**127.0**	**109.0**	**86.0**	**104.0**	**112.0**	**104.0**

🗑 Aplicación de N en planta 🗑 🗑 Aplicación de N en planta y 1er Ret. 🗑 🗑 🗑 Aplicación de N en planta y 1er y 2do Re. T=0 Rendimiento del testigo t. Caña.ha^{-1}

Figura 1


Suelo Gris Amarillento
Suelo Negro
TONELADAS DE CAÑA POR HECTAREA
4to Ret.
3er Ret.
2do Ret.
1er Ret.
Planta Ciclo Corto
Kg N/ha
S. Gris A.
S. Negro.

Cepa Ciclo Largo. Resumen de los resultados de los estudios que se exponen en la fig 1

Cepas	Rend. Max. Est. t. caña	Y=a+bx	R2	Recomend Kg.N.ha^{-1}	Rend. Rel. t. caña	t. caña.ha^{-1}	Ind de Cons. Kg N.t.de.C^{-1}	t. de caña .Kg N^{-1}
VERTISUELO GRIS AMARILLENTO								
1er Ret.	114.00			75.00	85.08	17.00	0.66	0.23
2do Ret.	97.00	82.72+0.20x	0.90	70.00	86.60	13.00	0.72	0.20
3er Ret.	104.30	81.70+0.23x	0.94	98.00	78.24	22.70	0.94	0.23
4^{t0} Ret.	91.70	71.70+0.18x	0.89	103.00	69.61	21.00	1.13	0.20
VERTISUELO NEGRO								
Planta	113.00	105+0.16x	1.00	50.00	92.92	08.00	0.44	0.16
1er Ret.	132.00	73.29+0.24x	0.91	150.00	74.67	22.00	1.14	0.15
2do Ret.	118.25	95.40+0.22x	0.98	103.00	80.68	22.85	0.88	0.21
3er Ret.	98.00	73.90+0.15x	0.98	150.00	75.41	24.10	1.50	0.16
4^{t0} Ret.	114.33	68.09+0.32x	0.98	144.00	59.56	46.24	1.26	0.32

DETERMINACIÓN DE LOS ELEMENTOS TÉCNICOS ECONÓMICOS DEL RIEGO LOCALIZADO EN CAÑA DE AZÚCAR EN LAS TUNAS

Victor M. Tejeda Marrero, Salvador Garcías, Pablo Guntin Marey y Edelmar Pupo Labrada

Estación Provincial de investigaciones de la cana de azucar Las Tunas. Arroyo El Muerto Majibacoa, Las Tunas

RESUMEN

El riego localizado constituye un cambio básico en el uso y manejo del agua, los nutrientes y el suelo, al aplicarse en la zona donde se encuentran las raíces de las plantas, logrando mayor eficiencia con un aumento considerable de los rendimientos, es por ello que la introducción de esta técnica de riego en la agricultura cañera Cubana juega un papel importante. En el trabajo se exponen los resultados obtenidos con la utilización del riego localizado en la Provincia Las Tunas, se tienen en cuenta 5 cosechas, 3 de caña planta y 2 de retoños en las épocas de plantación y cosecha más representativas y con las variedades de caña de azúcar, C120-78, Ja 64-19 y C87-51, las tecnologías de riego utilizadas fueron la cinta de doble cámara (Hardy irrigation) y los laterales con goteros VIP (Mondragón), colocados en diferentes posiciones, como resultados mas importantes se obtiene una tecnología para el manejo y explotación del riego localizado en caña de azúcar en los suelos oscuros plásticos del norte de la Provincia Las Tunas y la misma puede aplicarse en las regiones del país que presenten similares características edafoclimáticas.

PALABRAS CLAVES:

"Riego localizado", "Cana de azúcar", "Vertisoles", "Cuba".

EL RIEGO LOCALIZADO EN CAÑA DE AZÚCAR EN LAS TUNAS

Victor M. Tejeda Marrero, Salvador Garcías, Pablo Guntin Marey y Edelmar Pupo Labrada

Estación Provincial de investigaciones de la cana de azucar Las Tunas. Arroyo El Muerto Majibacoa, Las Tunas

INTRODUCCIÓN

La zona norte de las Tunas se caracteriza por una alta evaporación durante todo el año siendo el promedio mensual de 7.01 para un total de 2558.65 mm/año, con una pluviometría muy baja 950- 1037.5 mm/año, destacándose dos periodo uno lluvioso que abarca desde Mayo hasta Noviembre donde ocurren el 70 % de las lluvias y otro seco desde Noviembre - Abril donde solo precipita el 30 %. Como se puede apreciar estos elementos ponen de manifiesto el gran déficit hídrico presente en la zona, demostrando con ello la importancia del riego para obtener altos y estables rendimientos agrícolas, no obstante existen limitadas cantidades de agua en los embalses que nos obligan a realizar un uso racional de este recurso, unido a ello alrededor del 50 % de los suelos presentan mal drenaje interno por las características de sus arcillas lo que hace un tanto difícil el manejo de los sistemas de riego tradicionales, es por ello que la introducción del riego localizado juega un papel importante en esta área cañera.. Desde el año 1992 comienza el estudio e introducción de esta técnica de riego en la zona norte de la Provincia Las Tunas, con resultados muy alentadores, el objetivo del presente trabajo es dar a conocer los principales resultados obtenidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante todo el ciclo vegetativo del cultivo se determinó el momento del riego por el método bioclimático. Para cada experimento, y por tratamientos, fueron determinado, el Rendimiento agrícola, Gastos inducidos por las diferentes actividades agrícolas e insumos utilizados, inversión inicial y gastos de construcción y montaje.

El área del bulbo húmedo y las características hidráulicas de los goteros fueron determinada según la metodología de Hernández et.al.(1986) y Torralba (1989).

Tabla 1. Características fundamentales de los experimentos desarrollados.

Características	Exp. TRL 02	Exp. TRL 03	Exp. TRL 05
Ubicación	CAI Guiteras	CAI Menéndez	CAI Menéndez
Tipo de suelo	Vertisoles	Vertisoles	Vertisoles
Area	4 ha	1.5 ha	1 ha
F. Plantación	Abril 95	Noviembre 95	Febrero 97
F. Cosecha	Marzo 96	Febrero 97 y Abril 98	Mayo 98 y Abril 99
Edad	11 Meses	15 y 13 Meses	14 y 11 Meses
Variedades	C87-51 y Ja64-19	C87-51 y Ja64-19	C120-78
Tecnología de Riego	Cinta BI Wall soterrada	Cinta BI Wall soterrada	Goteros Insertados
Separación de Laterales	2.40 y 2.00 M	2.40 M	1.50 y 3.00 M
Tratamientos	Riego y Secano	Riego diario, Riego días alternos y secano	Riego con diferente separación entre laterales y secano
subtratamientos	Separación entre laterales	Variedades	-

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluaciones hidráulicas.

Los goteros VIP utilizados son autocompensables en el rango de presión estudiado; lo cual coincide con lo planteado por el fabricante. Esta característica tiene gran importancia práctica, pues permite utilizar laterales más largos sin pérdidas de gasto en longitud. Los coeficientes de variación y de uniformidad obtenidos permiten evaluar a este gotero como de alta calidad.

Area del bulbo húmedo.

El área humedecida por los goteros depende del caudal, tipo de suelo y separación entre los goteros (Zir, 1996). Cuando se efectuaron estas observaciones en los tratamiento donde se colocaron los laterales por debajo de la hilera de caña (T1); se pudo observar que la profundidad de la franja húmeda alcanzó 0.5 m, y de forma horizontal existió solapamiento entre un lateral y su vecino. Al realizar esta medición en el tratamiento donde se colocaron los laterales en camellones alternos (T3); la profundidad de la franja húmeda se mantuvo en 0.5 m, y de forma horizontal alcanzó entre 1.8 y 2.0 m a partir de 0.2 m de la superficie del suelo, donde solamente llegó a 1.0 m. ello demuestra que, para las condiciones de los Vertisuelos, una separación entre laterales de 3.0 m satisface los requerimientos hídricos del cultivo.

Comportamiento de los Resultados de cosecha.

Los mejores resultados se obtuvieron en Jesús Menéndez, con rendimiento de 187.5 a 200.6 ton/ha

en caña planta y de 119.9 a 124.8 ton/ha en el retoño empleando la cinta Bi-Wall (TRL-03). Respecto al experimento con los goteros VIP de 3.2 l/h de MONDRAGON y la variedad C 120-78, los resultados de los tres tratamientos de riego fueron muy similares, 132.7 a 136.4 ton/ha en caña planta y de 77.4 a 80.7 en el retoño. Se puede apreciar las marcadas diferencias que existen entre los tratamientos de riego y secano que están entre 23.05 y 24.30 ton/ha en el TRL-02, 79.9 – 81.6 ton/ha en TRL-03 y de 42.8- 46.2 en TRL-05.

Evaluación económica.

La inversión requerida por los sistemas (incluidos equipamiento, construcción y montaje), osciló entre 1778.93 y 2591.93 USD/ha. Las variantes menos costosas son las que utilizan un número menor de laterales. El costo de un riego se mantiene entre 1.98 y 3.1 $/ha

Respecto a la rentabilidad de la inversión del sistema, en la tabla 2 se exponen los índices económicos fundamentales; calculados sobre la base de un precio de venta de la caña de 24.80 $/100 @. Los mejores resultados se obtienen en el experimento TRL-03 con ganancia de 835.07 – 877.5 $/ha. En el caso del experimento (TRL-05), el tratamiento de mejor resultó fue 3 (camellones alternos), dado porque utiliza la mitad de los laterales en comparación con los otros dos tratamientos. Debe destacarse que el testigo sin riego que se utilizó para la comparación tuvo un rendimiento de 89.8 t/ha, lo cual supera el rendimiento agrícola promedio en las áreas de producción del CAI, que fue de 50 t/ha en la última zafra.

Tabla 2. Eficiencia económica del riego por goteo.

Localidad	Tratam.	(t/ha) Riego	(t/ha) Increm.	VPA ($/ha)	Ganancia ($/ha)	Tr (años)	TIR	Relación B/C.
TRL-02 y TRL- 03	-	137.7	54.2	1164.7	497.9	3.6	0.87	0.75
TRL-03 1 R	C87-51	120.6	78.7	1691.12	835.07	2.15	0.46	0.97
	Ja64-19	123.9	81.3	1746.98	877.50	2.05	0.48	1.00
TRL-05 CP	T1	136.4	46.5	999.2	467.4	5.6	0.18	0.88
	T2	134.7	44.8	962.7	439.3	5.9	0.17	0.84
	T3	132.7	42.8	919.7	409.0	4.3	0.23	0.80
TRL-05 1 R	T1	80.7	38.5	827.29	378.28	6.85	0.14	0.84
	T2	78.9	36.7	788.61	348.73	7.43	0.13	0.79
	T3	77.4	35.2	756.38	340.84	5.21	0.19	0.82
Promedio	-	113.66	50.96	1095.18	510.44	4.78	0.32	0.85

VPA: Valor de la producción adicional., **Tr:** Tiempo de recuperación de las inversiones, **TIR**: Tasa interna de retorno, **Relación B/C**: Relación beneficio-costo.

CONCLUSIONES

- Los goteros VIP utilizado presentan un caudal medio de 3.2 l/h, con autocompensación entre 10 y 40 mca y coeficiente de variación de 0.03; pudiendo clasificarse como de alta calidad.
- El bulbo húmedo originado por los goteros VIP alcanzó una profundidad de 0.5 m y diámetro horizontal de 1.8 a 2.0 m.
- Se observó una clara respuesta del cultivo al riego localizado, con rendimientos agrícolas de 77 a 200.0 t/ha e incrementos de rendimientos de 23.2 a 81.6 t/ha respecto al secano en caña planta y de 77.4 a 124.8 t/ha e incremento de 36.8 a 80.3 en el retoño.
- Las eficiencias de uso del agua y del agua de riego oscilaron entre 6.8 y 10.2, y entre 17.7 y 31.4t/ha.100 mm para los distintos tratamientos de riego.
- Las mejores variantes para las condiciones experimentales fueron: En el caso de los goteros VIP y Vertisoles, aquella en que los laterales se colocaron en camellones alternos; con una TIR de 0.23 y un Tr de 4.3 años. En el caso de la manguera Bi Wall y Vertisoles, se obtuvieron una TIR de 0.87 y un Tr de 3.6 años.

Recomendaciones.

- Utilizar los sistemas de riego localizado en aquellas zonas del país caracterizadas por la poca disponibilidad de agua y condiciones difíciles para otras técnicas de riego, garantizando así elevados rendimientos.
- Continuar la evaluación de los sistemas incluidos en este trabajo durante los retoños sucesivos.
- Instalar los sistemas de riego localizados con los laterales separados de 3.00 a 3.20 m en los suelos arcillosos pesados (Vertisoles o similares), donde el patrón de humedecimiento es poco profundo y ancho.

LITERATURA CITADA

Hernández, J.; J. Rodrigo; A. Pérez y J. González. 1986. IV Curso Internacional de Riego Localizado. Investigaciones Agrarias de Canarias (transcripción del original). p. 6-26.

Torralba, V. 1989. El riego localizado. IIRD-MINAGRI.

Zir, B. 1996. Wetted soil volume as a design adjective in trickle irrigation. Irrig. Sci. (16).

ACLIMATACIÓN Y COLONIZACIÓN DE *COTESIA FLAVIPES* CAM. EN ÁREAS DE PRODUCCIÓN EN VILLA CLARA, CUBA.

Francisco Barroso Medina, Osmany de la C. Aday, Félix R. Díaz Mujica, Yandi H. Estévez Martín y Maritza Dueñas Juvier.

ETICA de Villa Clara-Cienfuegos, Autopista Nacional; Km 246; Apartado 20 Ranchuelo, Villa Clara, CP 53100; Fax: 451520; Teléfono: 451132 y 451520;
Correo electrónico: epica@civc.inf.cu.

RESUMEN.

Para la colonización de *Cotesia. Flavipes* (Cam.), fue seleccionado un campo en el CAI Chiquitico Fabregat, plantado en junio de 1998 con la variedad C120-78 y 12 meses de edad. Las liberaciones se realizaron en una ha de este, a partir del mes de julio de 1999. Los individuos de *C. Flavipes* que se utilizaron en las liberaciones pertenecen a las líneas de Brasil y Venezuela, la cría en el laboratorio se realizó utilizando como hospedante artificial a *Diatraea lineolata* Walk, sobre dieta natural (maíz) y cada cierto número de generaciones sobre *Diatraea saccharalis* Fab. (no mayor de 6 generaciones). En el período comprendido entre el 1 de julio de 1999 y el 14 de enero del 2000 se liberaron 21 382 individuos de *C. Flavipes* en estado adulto y 3 918 en estado de pupa, sumando un total de 25 300 insectos. En los parásitos que emergieron en el laboratorio procedentes de larvas colectadas en el campo se aprecia un predominio del sexo femenino sobre el masculino con una proporción de 1.4:1 y un parasitismo promedio de 9.45 %, este se ha favorecido con el aumento del número de individuos liberados, y demuestra la necesidad de realizar liberaciones llamadas inundativas que permitan el establecimiento del insecto. Se concluye que es evidente la reproducción de forma natural de *C. Flavipes* en el área donde fue liberado y que los individuos provenientes del campo no son partenogenéticos. Estos resultados aunque son preliminares muestran buenas perspectivas en la aclimatación y colonización del nuevo control biológico.

Palabras claves: ***Cotesia. Flavipes*** Cam., Bórer, *Diatraea saccharalis*, caña de azúcar.

ACCLIMATION AND COLONIZATION OF *COTESIA FLAVIPES* CAM. IN CANE PRODUCING AREAS IN VILLA CLARA, CUBA.

ABSTRACT.

A sugarcane field planted in June 1998 with the variety C120-78 and 12 months of age was selected for colonizing *Cotesia flavipes* Cam. releasing of the insect covered a hectarea, from Julie 1999. ***C.*** *flavipes* insects released belong to Brazil and Venezuela lines, lab rearing was carried out using *Diatrea lineolata* Walk as artificial host, on a natural diet (maize) and in certain number of generations over *Diatrea saccharalis* Fab. (no more than 6 generations). From July 1, 1990 and January 14, 2000 there were released 21 382 individuals of *C. flavipes* in adult stage and 3 918 pupae, summing up a total of 25 300 insects. In the lab-emerging parasites coming from larvae collected in the field it was observed that the number of female was greater than the number of males with a rate of 1.4:1 and an average parasitism of 9.45%. It is obvious that reproduction in natural way of *C. flavipes* in the area where it was released and the individuals coming from the field are not parthenogenetics. These results though they are not conclusive show good perspectives in the aclimatization and colonization of new biological control.

***Key words: Cotesia. Flavipes* Cam .,Borer, *Diatraea saccharalis,* sugar cane.**

INTRODUCCIÓN.

Los insectos barrenadores del tallo, son considerados los de mayor importancia en el cultivo de la caña de azúcar, por los daños que causa en la industria azucarera de todo el mundo. Para su control la vía más eficaz y económica es a través de medios biológicos.

En Cuba el control biológico del bórer (*Diatraea saccharalis* Fab.) se ha basado principalmente en la mosca *Lixophaga diatraeae* Tows como parásito de las larvas, reconociéndose como el biorregulador más eficaz contra esta plaga, (Alemán *y otros*, 1999), también se ha utilizado en algunas zonas del país y con resultados satisfactorios a *Trichogramma fuentensi* Torre, este es un parásito de los huevos de varias especies de lepidópteros, (Rodríguez et. al., 1999), ambos controles son nativos de Cuba.

Para disminuir los daños que ocasiona *D. saccharalis*, se ha valorado en más de una ocasión introducir parásitos exóticos que complementen la acción de los nativos. En la década del 30, por recomendaciones del Dr. L. C. Scaramuzza, comenzaron los primeros envíos de la mosca *Paratheresia claripalpis* V. D. Wulp y *Lydella minense*, lo cual se extendió hasta principio de los años 50, las liberaciones se hicieron en varias provincias del país, sin que se pudiera recuperar del campo el material liberado; por tanto no se logró la aclimatación de ambos parásitos en el país. Durante 1965 y 1977 se introdujo *Cotesia flavipes* Cam. en S.Spíritus y La Habana, respectivamente, sin un proceso de continuidad en su de introducción, (Acosta, 1999).

Macedo *y otros* (1984) refiriéndose a los beneficios de *C. Flavipes* en Brasil, afirma que este ha posibilitado reducir significativamente el rango de ataque de los barrenadores e incrementar el rango de parasitismo así como también mejorar la calidad del azúcar producido.

Según plantea David *y otros* (1991), *Cotesia flavipes* Cam. ha sido introducido como un agente biocontrolador del bórer de la caña de azúcar en varios países incluyendo Brasil, Perú, Madagascar, Indonesia y Estados Unidos.

A partir de 1991 en Cuba se comenzó nuevamente la introducción de *C. Flavipes* procedente de Brasil y Venezuela, teniendo en cuenta su éxito en el área de Latinoamérica y el Caribe, para usarla como un control aditivo en las zonas y épocas del año donde la efectividad de *Lixophaga diatraeae* no es suficiente.

En julio de 1999, luego de lograr la reproducción de *C. Flavipes* en el laboratorio de la Estación Experimental de Villa Clara, se comenzó a realizar su liberación en el campo con el fin de evaluar la aclimatación y colonización, siendo este el objetivo del presente trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Para la colonización de *C. Flavipes* se seleccionó un campo en el CAI Chiquitico Fabregat, plantado en junio de 1998 con la variedad C120-78, de aproximadamente 14.762 ha (1.1 cab) de superficie, pero las liberaciones se realizaron en una hectárea solamente, a partir del mes de julio de 1999.

En la selección de la posible zona para desarrollar el experimento, tuvimos en cuenta el comportamiento histórico de *Diatraea saccharalis* en la provincia de Villa Clara, eligiendo en el

CAI Chiquitico Fabregat un campo plantado en 1998 con la variedad C120-78 de 12 meses de edad que presentaba las siguientes características:

Porcentaje de infestación: 42.2
Intensidad de infestación (sobre plantas atacadas): 11.11
Índice de infestación: 4.72
Intensidad general: 4.66
Índice de población: 7 larvas en 40 tallos.

Los individuos de *C. Flavipes* utilizados en las liberaciones pertenecen a las líneas de Brasil y Venezuela, la cría en el laboratorio se realizó utilizando como hospedante artificial a *Diatraea lineolata* Walk, sobre dieta natural (maíz) según la metodología descrita por Barroso *y otros* (1999), y cada cierto número de generaciones sobre *Diatraea saccharalis* Fab. (no mayor de 6 generaciones). Las liberaciones se realizaron en una hectárea del campo, en el período comprendido entre el 1 de julio de 1999 y el 14 de enero del 2000. Se liberaron 21 382 individuos de *C. Flavipes* en estado adulto y 3 918 en estado de pupa, sumando un total de 25 300 insectos.

Los insectos adultos fueron llevados al campo en tubos de cristal y la liberación se hizo destapando estos dentro del campo a la vez que se caminaba a un paso lento a través del surco, según metodología empleada por Easwaramoorthy *y otros* (1998).

Para evaluar el porcentaje de parasitismo, en el área de las liberaciones el muestreo se hizo al azar, sin número fijo de larvas a colectar, pero evitando que en cada muestreo estas sobrepasaran de 12. En la última evaluación se hizo un muestreo estratificado que incluyó además 16 m del campo y 6 m de los campos colindantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Las liberaciones realizadas durante el desarrollo del experimento y el resultado de las evaluaciones, se describen en el Tabla 1, en este puede apreciarse un predominio del sexo femenino sobre el masculino con una proporción de 1.4:1 y un parasitismo promedio de 9.45 %.

Tabla I. Liberaciones realizadas y larvas parasitadas.

Fecha de liberación	Nº de Individuos liberados	Fecha de Muestreo	Larvas Colectadas	Larvas parasitadas	Sexo de los nacidos		Parasitismo (%)
					M	F	
01-07-1999	3 500 **A**						
07-07-1999	2 500 **P**						
15-07-1999	800 **A**						
15-07-1999	800 **P**						
06-08-1999	700 **A**	06-08-1999	6	0	-	-	5.56
25-08-1999	1 100 **A**	25-08-1999	12	1	4	6	
17-09-1999	5 200 **A**	17-09-1999	3	0	-	-	7.69
23-09-1999	618 **P**						
30-09-1999	1 213 **A**	30-09-1999	10	1	5	16	
07-10-1999	900 **A**	07-10-1999	8	1	8	12	16.66
11-10-1999	2 348 **A**	11-10-1999	6	1	12	20	
29-10-1999	958 **A**	29-10-1999	10	2	43	48	
05-11-1999	1 000 **A**	05-11-1999	6	1	8	10	16.66
21-12-1999	1 938 **A**	21-12-1999	10	1	9	16	10.00
14-01-2000	825 **A**	14-01-2000	10	1	9	6	10.00
--	--	15-02-2000	90	7	88	126	7.8
Total	**25 300**		**171**	**16**	**186**	**260**	**9.45**

A – Adultos
P – Pupas

Al hacer un análisis del resultado de las 3 ultimas evaluaciones realizadas a los 46, 24 y 35 días, respectivamente, (posterior a la liberación anterior), se concluye que es evidente la reproducción de forma natural de *C. Flavipes* en el área donde fue liberado, si tenemos en cuenta que su ciclo biológico es de aproximadamente 17 días, es importante señalar además que la proporción de sexos de los insectos nacidos en el campo, en las ultimas evaluaciones varío entre 1.78:1 y 0.67:1, lo que indica que los individuos provenientes del campo no son partenogenéticos.

En la Figura 1 se representa el comportamiento mensual del parasitismo de *C. Flavipes* en valores de porciento, respondiendo al número de individuos liberados. El parasitismo del control biológico como sucede en otros casos, se ha favorecido con el aumento del número de individuos liberados, esto demuestra la necesidad de realizar liberaciones llamadas inundativas que permitan el establecimiento del insecto, en este sentido Arafjo *y otros* (1984) menciona liberaciones de 2 500 a 40 000 insectos/ha en Brasil. La actividad de *C. Flavipes* se incrementó a partir del comienzo de las liberaciones en el mes de julio alcanzando el mayor porcentaje de parasitismo en octubre y noviembre y decreció a partir de esta fecha, esto coincide con lo planteado por Hall (1988), que menciona un incrementó del parasitismo de *C. Flavipes* en Florida, desde julio hasta finales de octubre entre un 40 y un 50 %, aunque en nuestro caso el decrecimiento del parasitismo pudiera estar asociado al la disminución del número de individuos liberados por mes.

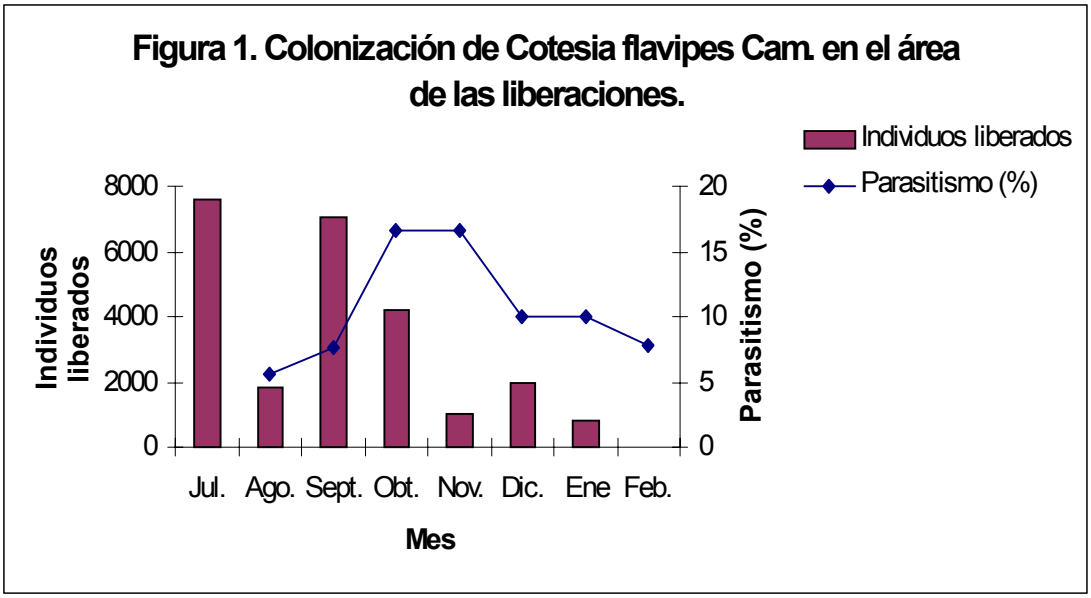


Figura 1. Colonización de Cotesia flavipes Cam. en el área de las liberaciones.

El 18 de febrero del 2000, se colectaron un total de 100 larvas a una distancia entre 6 y 16 metros del área donde se realizaron las liberaciones y resultaron parásitadas por *C. flavipes* 5, de ellas emergieron 44 machos y 108 hembras, lo que demuestra que el control biológico se está dispersando hacia los campos vecinos.

CONCLUSIONES.

- Las liberaciones de *Cotesia flavipes* Cam. han permitido su aclimatación y reproducción en campo, así como su dispersión.
- El parasitismo logrado por el nuevo control biológico, aunque resulta aún bajo (9.45% como promedio), muestra resultados alentadores de acuerdo a la cantidad de individuos liberados.
- La proporción de sexos, de los insectos que nacieron de las larvas colectadas en el campo en los últimos meses y que corresponden a individuos de al menos una generación de campo, indica que estos no son partenogenéticos.

BIBLIOGRAFÍA.

- Arafjo *y otros*. (1984). Cuadernos PLANALSUGAR, 1984, 3, (3): 12-21.
- Alemán J. y otros (1999). Nuevos indicadores de calidad en la producción de *Lixophaga diatraeae* Towns (Diptera: Tachinidae) Resúmenes del Seminario-Taller 35 Aniversario del INICA, Cuba, 1999: 95.
- Barroso, F. *y otros*. (1999). Utilización de *Diatraea lineolata* Walk. Como hospedante alternativo en la cría artificial de *Cotesia flavipes* Cam.. Resúmenes del Seminario-Taller 35 Aniversario del INICA, Cuba, 1999: 99.
- David *y otros*. (1991). "Biocontrol Technology for Sugar Pest Manegement" Eds David & Easwaramoorthy, Sugarcane Breeding Institute, Coimbatore, India: 147-164.
- Easwaramoorthy S.; J. Srikanth; M. Shanmugasundaram and R. Kumar .(1998). Field evaluation of *Cotesia flavipes* Cam. Against internode borer *Chilo sacchariphagus indicus* of sugarcane. Sugar Cane, 1998, No. 2: 18-21.
- Hall D. G. (1988). Seasonal activity of parasitoids against sugar cane borer larvae in Florida. Sugar Cane, 1988, No. 1: 26.

- Macedo *y otros*. (1984). Ent. Newsl., 1984,16: 9-10.
- Rodríguez O. *y otros*. (1999): Reporte de *Trichogramma fuentensi* Torre (Hymenoptera: Trchogrammatidae) en el control biológico de las plagas de la caña de azúcar en la provincia de Santiago de Cuba. Resúmenes del Seminario-Taller 35 Aniversario del INICA, Cuba, 1999: 94.

Agradecimientos: Maritza Dueñas y Miriam Melillo.

BROTE EPIFITIOLÓGICO DE LA ESCALDADURA FOLIAR DE LA CAÑA DE AZÚCAR (XANTHOMONAS ALBILINEANS) ASHBY, DOWSON: CONSECUENCIAS ACTUALES Y FUTURAS.

JR. Pérez Milian[1], G. Pérez, Madyu Matos, Joaquín Montalván[4] , Emilio Aguiar[2], Esther L. Peralta[3] y A. Chinea[1]
[1]Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) Matanzas
[2]Empresa azucarera Australia, Cuba
[I]Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña Azúcar (INICA
[4]Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) EPICA Camaguey
E.mail: **epica@atenas.inf.cu**

RESUMEN

Durante la pasada década (1 991 - 2 000) ocurrió, simultáneamente, en diferentes países cañeros, un brote de escaldadura foliar producida por la bacteria ***Xanthomonas albilineans*** (Ashby), Dowson, alcanzando, en algunos casos, características epidémicas. Las investigaciones han demostrado una alta susceptibilidad de las variedades existentes; la colección de germoplasma existente en Cuba presentó cerca de 20 % de susceptibilidad natural, mientras que en 230 genotipos estudiados por inoculación artificial, el 90 % resultó susceptible con valores superiores al 10 % de severidad, independientemente de su procedencia ancestral, lo que parece estar relacionado con la estrecha base genética debido a un alto grado de emparentamiento de los progenitores, produciéndose un comportamiento similar en la descendencia. Estudios *in situ* demostraron en la variedad susceptible C 120-78 más de 90% de plantones con síntomas y entre 25-30% de tallos muertos. Se observó interferencia en el proceso de fabricación al elevar considerablemente los niveles de dextrana y una reducción del rendimiento entre 0.5-1.0 % cuando la variedad enferma ocupó más de 10 % de la molida diaria del ingenio. Presumiblemente, el establecimiento de la patología y su efecto negativo sobre la producción de azúcar alcanzará un periodo mínimo de 10 años para encontrar respuestas entre las variedades. Se discuten algunas medidas con el objetivo de contrarrestar el desarrollo de nuevas epidemias y sus efectos devastadores

Palabras claves
Escaldadura foliar, epifítia, germoplasma, resistencia, pérdidas

EPIPHYTIOLOGIC GROWING OF SUGAR CANE LEAF SCALD (*Xanthomonas albilineans*) Ashby, Dowson: **ACTUAL AND FUTURE CONSEQUENCES**

JR. Pérez Milian[1], G. Pérez, Madyu Matos, Joaquín Montalván[4], Emilio Aguiar[2], Esther L. Peralta[3] y A. Chinea[1]

[1] Sugarcane Experiment Station, (EPICA) Matanzas, Cuba
[2] Sugar Mills Australia, Cuba
[3] National Sugarcane Researches Institute (INICA), Cuba
[4] Sugarcane Experiment Station, (EPICA), Camaguey, Cuba
E.mail: **epica@atenas.inf.cu**

ABSTRACT

During the last decade (1 991- 2 000) something happened in different countries a simultaneous growing of the sugarcane leaf scald with epiphytiological characteristics. The research made in Cuba showed that was motivated by the climate deterioration, physiological state of plantations and the presence of susceptible varieties. Among the commercial varieties was observed a little bit of resistance, motivated by the influence of the edafoclimated conditions. The Cuban germplasm collections showed almost 20 % of the natural susceptibility while in 230 studied genotypes in artificial inoculation, 90 % had more than 10 % of severity instead of its genetical procedence, it seems to be related with the narrow genetic base due to the high degree of consanguinity among their parents having similar behavior in offspring. *In situ* survey was observed in a susceptible variety more than 90 % of the affected plants and 25 - 30 % dead stools. It was observed some interference's in the fabric process due to the high dextrane production and the yielding average of 0.5-1.0 % when the disease variety had more than 10 % of the sugar cane daily processed by the sugar mill. We discuss some rules with the purpose to reduce the development of epiphytes and their huge effects.

Key words: leaf scald, epiphytic, germplasm, resistance, losses

INTRODUCCION

La última década ha sido marcada por la aparición simultánea, en diferentes países cañeros, de la escaldadura foliar de la caña de azúcar causada por la bacteria *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson (Saumtaly et al. 1995) A partir de 1998 reapareció en Cuba, con características epifíticas, fenómeno asociado, según Pérez Milián et al., (2000 y 2003), ha significativos cambios ocurridos, durante ese periodo, en detrimento de las condiciones meteorológicas, así como del estado fisiológico de las plantaciones. De acuerdo con diferentes autores esta patología es un enigma con respecto a la severidad de su ataque y la susceptibilidad de las variedades cultivadas. Los períodos de estrés debido a las sequías, lluvias diarias y disminución de temperaturas están supuestamente vinculados con el incremento de la

enfermedad (Ricaud y Ryan, 1989). Esta misma fuente se refiere a las diferencias de comportamiento de una variedad dentro del mismo país o zona, lo que reafirma la tesis de los resultados observados en Cuba.
Por éstas razones se impone la necesidad de estudiar el desarrollo natural del patógeno en las condiciones de nuestro país, así como valorar el potencial de pérdidas al que está expuesta la producción azucarera frente a manifestaciones del patógeno en presencia de variedades susceptibles y condiciones ambientales y fisiológicas favorables para el desarrollo del patógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudió el desarrollo natural de la escaldadura foliar en la Colección de Germoplasma de Matanzas, así como en áreas experimentales y comerciales de diferentes regiones del país. Fueron seleccionados, por su valor de uso en el programa de mejoramiento en Cuba, 230 genotipos que se inocularon por el método de decapitación (Rott *et al.*, 1997), para lo cual se efectuó un corte sobre el tercer dewlap visible con una tijera previamente sumergida en la suspensión bacteriana ($2x10^8$ ufc/ml); el análisis se realizó aplicando la escala de Rott et al, (1997).
En la empresa azucarera Australia se realizaron muestreos aleatorios durante las zafras 1998 y 1999 en áreas sembradas con la variedad C120-78 en cepas de primero y segundo retoño. En cinco puntos de 10 m lineales cada uno se determinó el número de tallos afectados y sanos. Una muestra de 5 tallos sanos y otra con igual número enfermos para determinar Brix, Pol, Pureza, Pol en caña y Dextrana % Brix. El nivel de deterioro fue comparando el periodo de zafra correspondiente a 1986 cuando aun no existía la escaldadura en estas áreas con 1998 cuando apareció el primer brote de la enfermedad. Se tomaron dos decenas de marzo 1999 en las que la C120-78 ocupó más del 10% de la molida diaria.
En los casos donde fue necesario se aplicó la prueba T de Student al 5% de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación natural del germoplasma

La explosión de la escaldadura foliar de la caña de azúcar afectó muy fuertemente la Colección de Germoplasma de la Estación Experimental de Jovellanos, con un acumulado que alcanzó la cifra de 531 genotipos que representan 18.6% del total.

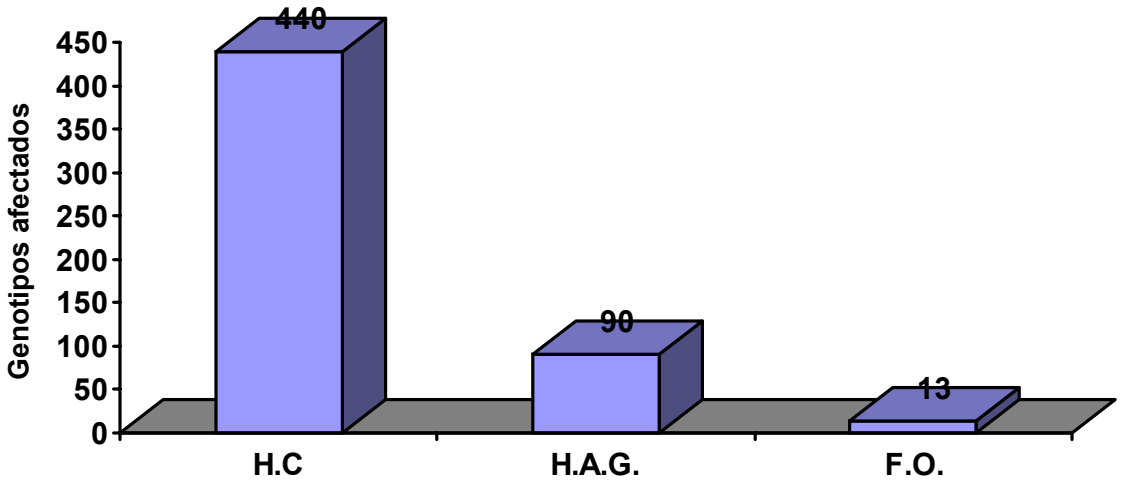


Figura 1. Total de genotipos con presencia de la enfermedad. (H.C.-Híbrido Comercial; H.A.G. -Híbridos en diferentes estadios de avance generacional; F.O-Formas Originales)

Como puede observarse en la figura 1 la procedencia genética no tuvo ninguna influencia en la manifestación de los síntomas de la enfermedad. Una situación análoga es observada en la casi totalidad de las variedades comerciales y en desarrollo, en las cuales se ha observado muy poca resistencia (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de variedades comerciales y en desarrollo en Cuba, así como su progenitor y presencia o no de la enfermedad.

Variedad	**Progenitores**	**Presencia**	**Variedad**	**Progenitores**	Presencia
Ja 60-5	Ja 55-663 x B42231	+	C137-81	B74343 x Merceditas	+
C323-68	B4362 x C84-51	+	C140-81	B77446 x "	?
C120-78	Co 421 x C87-51	+	C128-83	CP 52-43 x Ja 60-5	¿
C266-70	CO 281 x POJ 2878	+	C85-101	C1616-75 x C87-51	+
My 5514	CP 34-79 x B45181	+	Co 997	Co 683 x Co 63-32	+
C87-51	Co 281 x POJ 2878	+	C86-503	C568-75 x Ja 60-5	+
CP52-43	CP43-64 x CP38-34	+	C86-456	PR980 x Ja60-5	+
C1051-73	B42231 x C431-62	+	C86-12	Desconocidos	+
Ja 64-19	Ja 55-663 x Ja 54-309	+	C85-102	My 5514 x C227-59	+
Ty 70-17	C87-51 x B42231	?	C85-212	C1616-75 x C87-51	+
C568-75	C236-51 x B45181	?	C85-214	C152-70 x C334-64	+
B7274	HJ57-41 x Policruce	?	C85-392	C87-51 x Ja60-5	?
B63118	B4906 x B49119	+	C1324-74	B45181 x C87-51	+
C1616-75	C389-52 x C79-54	+	C85-1	C1616-75 x C87-51	+
C294-70	B42231 x C87-51	+	C439-72	C236-51 x B42231	+
B77418	B71182 x B63118	?	C86-602	B42231 x Ja 64-19	¿
C290-73	C236-51 x B42231	+	L55-5	CP 38-24 x CP 43-74	+
C751-75	C389-52 x My 54129	?	C2180-80	Ja 60-5 X C87-51	¿
C138-77	My 5514 x C97-59	?	C91-301	C1616-75 x POJ 2878	+
C111-79	B73318 x B59162	+	B80250	Desconocidos	¿
C132-81	B7542 x B63118	?	B80509	Desconocidos	¿

Leyenda: + Presencia natural de la enfermedad; ¿ no observada

El análisis genealógico del material afectado que ha sido donador de susceptibilidad, nos conduce a afirmar que la gran mayoría provienen de los trabajos iniciales realizados en Java y la India, donde se obtuvo la serie de las variedades POJ, encabezadas por la POJ 2878, así como variedades de Coimbatore. De ahí que la base genética de gran parte de nuestros mejores progenitores sea muy estrecha lo que reduce la posibilidad de obtener resistencia a esta enfermedad en el material con fines comerciales, según se presentó en la tabla 1. La importancia de la resistencia varietal para el control de enfermedades es incuestionable, sin embargo, en éste caso la falta de inmediatez parece ser el factor negativo mas importante por lo que otras acciones como la erradicación de focos, trabajo con la semilla, caracterización de zonas, así como el estudio y manejo de variedades, serán las formas de lucha mas importantes para esta etapa.

Los resultados de las pruebas por inoculación artificial a 230 variedades del germoplasma activo ante la Escaldadura foliar son presentados en la figura 2, donde se observa que mas de 94% de los genotipos estudiados mostraron síntomas de la enfermedad.

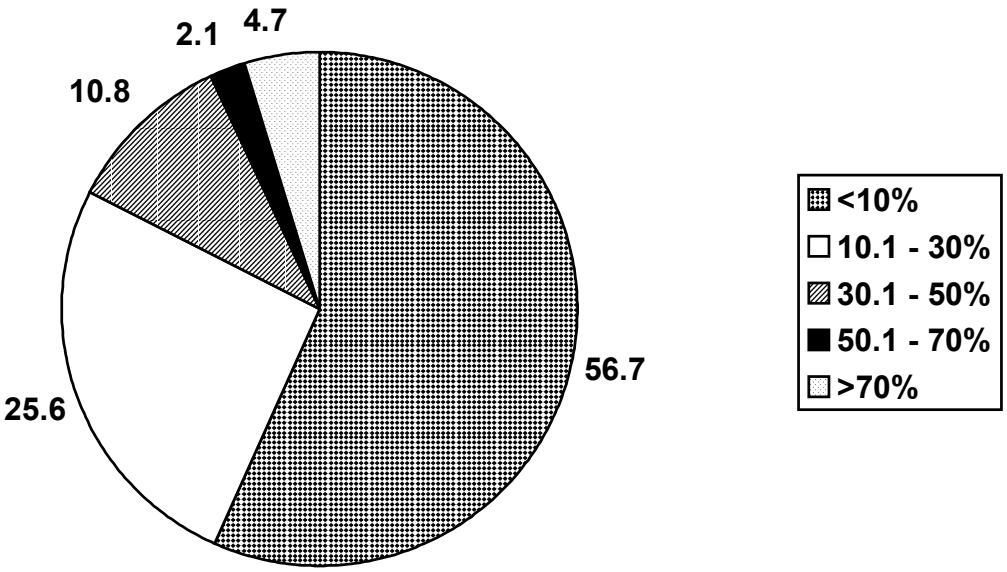


Fig. Distribución porcentual de los diferentes grados de severidad alcanzados por los genotipos estudiados bajo condiciones de inoculación artificial.

Cengicaña acepta como límite máximo 10% de severidad para liberar una variedad con fines comerciales (González et al.,1997). En el estudio discutido, el 43% de los genotipos estudiados superaron este rango; entre los valores mas significativos se observa que 12 variedades (CSG90- 273I-19, C88-93, C11-94, CP70-1133, C89-176, C1051-73, Ja 64-5, C75-95, Ja 14-4-3, C91-361, ML3-18 y C187-68) no presentaron ningún síntoma, aunque C1051-73 en Matanzas resultó susceptible en condiciones naturales y experimentales. Por otra parte las variedades Cuba Especial, C89-381 y PPQK mostraron las evidencias de la enfermedad en el 100% de la población Entre las variedades que mostraron los síntomas de escaldadura por inoculación artificial, solamente 14 han enfermado naturalmente. Otras fuentes han informado de la susceptibilidad de las variedades cubanas a Xanthomonas albilineans (Ordosgoitti et al. 1987), así como resultados de otras variedades donde se pone de manifiesto la existencia de gradientes muy bajos de resistencia (Chaves et al.,2000).

Evaluación de pérdidas

La escaldadura foliar afectó prácticamente el 100% de las plantaciones de la variedad C120-78 que ocupaba entonces más del 5% del área total de la empresa azucarera Australia. Los análisis de la calidad de los jugos realizados en el laboratorio arrojaron los resultados que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Análisis de la calidad de los jugos de la variedad C120-78 afectada por *Xanthomonas albilineans* en la empresa azucarera Australia.

Análisis	1998			1999		
	Sana	Enferma	Dif.	Sana	Enferma	Dif.
Brix Superior	23.85	21.78	2.07*	24.00	23.16	0.84
Brix Inferior	23.78	20.57	3.21*	24.90	22.08	2.82*
Brix Campo	25.82	21.17	2.65*	24.45	22.62	1.83*
Brix	21.06	19.86	1.20*	23.46	21.96	1.50*
Pol	19.50	17.60	1.90*	21.73	19.79	1.94*
Pureza	92.59	88.62	3.97*	92.62	90.12	2.50*
Pol en Caña	15.06	13.82	1.23*	18.13	16.45	1.68*

* Diferencia Significativa a 5%

Las evaluaciones mostraron que más del 90% de los plantones de esta variedad presentaban síntomas y el número de tallos molíbles secos o visiblemente afectados superaba el 25%, lo cual debe ser la causa fundamental de la baja calidad de los jugos.

Los datos que se presentan en la tabla constituyen una fuerte evidencia del daño que se produce en la calidad de los jugos de una variedad cuando su nivel de afectación alcanza superar los niveles permisibles. En la tabla 3, se muestran los resultados del análisis del deterioro producido por la escaldadura foliar sobre esta misma variedad, comparado con otras variedades no afectadas durante las zafras 1996 sin evidencias del ataque de la enfermedad y 1998 con la plantación afectada.

Tabla 3. Análisis del deterioro (Dextrana % Brix) de muestras para programación de corte en las zafras 1996 y 1998 en el CAI Australia de la provincia Matanzas.

CONCEPTOS	1996	1998
C120-78		
. Total de muestras	76	13
. Deterioradas (%)	82.9	69.2
. Valores < ó = 0.08 (%)	6	5
- Valores > 0.08 (%)	7.9	38.4
- Dextrana % Brix	0.038	0.069
Otras Variedades		
. Total de muestras	282	113
Deterioradas (%)	79.4	49.6
. Valores < ó = 0.08 (%)	18	10
- Valores > 0.08 (%)	6.3	8.8
- Dextrana % Brix	0.032	0.028
Diferencias		
- Deterioradas (%)	3.5	19.6
- Valores > 0.08 (%)	1.6	29.6
- Dextrana % Brix	0.006	0.041

La mejor evidencia de los efectos que la escaldadura foliar produce en el proceso de fabricación pueden ser observados en la figura 2.

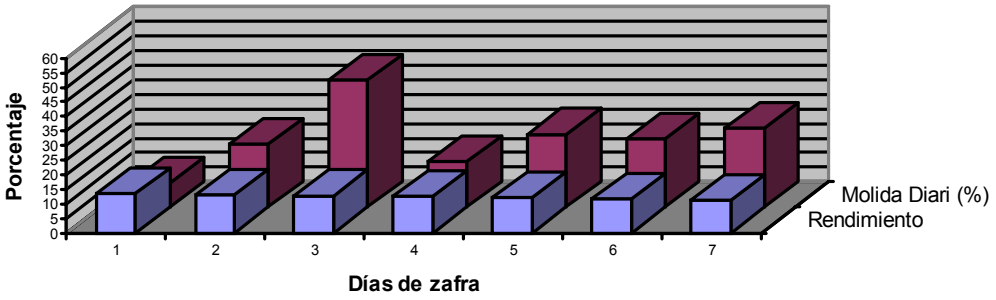


Fig. 2. Muestreos realizados durante el mes de marzo en el CAI Australia para determinar la influencia de la variedad C120-78, afectada con escaldadura, en el rendimiento industrial.

Como se expresa (Fig. 2) siempre que el porcentaje de la molida diaria de la variedad C120-78 fue superior al 10%, disminuyó el rendimiento industrial. Un análisis de toda la zafra demostró que siempre que se presentó esta situación los valores de reducción oscilaron entre 0.5-1%.

CONCLUSIONES

El 18.6% del genofondo de la caña de azúcar en Cuba ha presentado susceptibilidad natural a ***Xanthomonas albilineans*** y la casi totalidad de las variedades comerciales o en desarrollo muestran los síntomas con diferentes valores de severidad. Por inoculación artificial se determinó que, entre 230 variedades estudiadas, el 94% presentaron los síntomas de la enfermedad, alcanzando, el 43% de las mismas, valores de severidad de 10% o más.

La alta similitud encontrada entre las variedades puede estar determinada por la estrecha base genética de los progenitores mas explotados debido al alto grado de parentesco entre los mismos, lo cual ha traído una segregación de caracteres similares a la descendencia, entre ellos la susceptibilidad a esta enfermedad.

Las pérdidas calculadas *in situ* sobre la variedad susceptible C 120-78 en la empresa azucarera Australia, cuando la molida diaria con la variedad enferma superó el 10% estuvo entre o.5-1% del rendimiento industrial, motivado fundamentalmente por el deterioro de los jugos, en los cuales el nivel de dextrana alcanzó valores que superaron los límites establecidos.

El pleno establecimiento de éste patógeno en áreas donde las condiciones del clima favorezcan su desarrollo puede acarrear resultados muy desfavorables para la producción de azúcar si no se toman medidas que garanticen un estado fitosanitario de la plantación que permita la explotación del cultivo por periodos económicamente rentables. La importancia de la resistencia varietal para el control de enfermedades es incuestionable, sin embargo, en éste caso la falta de inmediatez parece ser el factor negativo mas importante por lo que otras acciones como la erradicación de focos, trabajo con la semilla, caracterización de zonas, así como el estudio y manejo de variedades, serán las formas de lucha mas importantes para esta etapa, sobre todo si pretendemos garantizar la diversidad en la composición varietal de nuestros campos cañeros.

REFERENCIAS

Chaves, M.R. (2000). Resistencia varietal a la escaldadura foliar de la caña de azúcar. En: Proyecto para determinar la resistencia varietal al mosaico, la roya, el carbón y la escaldadura foliar de la caña de azúcar. Eds. Flores, C.S, Ojeda, R.A, Chaves, M.R., Valdés, B.A., Juárez, F., Marin, Sr., Ayala, G.F. 50-60.

González Figueroa, Alex y Werner Ovalle Saenz (1997): Evaluación de cuatro métodos para la determinación de resistencia a escaldadura de la hoja **Xanthomonas albilineans (Ashby) Dowson** en caña de azúcar (Saccharum ssp.). XII Cong. De Técnicos Azuc. de Centro América y Panamá. Reprinted, 8pp.

Ordosgoitti, A., Aponte, A.& González, P. (1987). Reacción de variedades cubanas de caña de azúcar a ***Puccinea melanocepfala*** **Sydow et P.Sydow y Xanthomonas albilineans (Ashby) Dowson** en Venezuela. Agronomía Tropical 29(2):1-9.

Pérez Milián JR., A. Chinea, Madyú Matos y J. Montalván (2000) : Causas de la propagación y desarrollo de la escaldadura foliar de la caña de azúcar en Cuba. Resúmenes 15 Aniversario EPICA Santiago de Cuba.

Pérez Milián, JR., Madyu Matos, Joaquín Montalván, Esther l. Peralta, Gelasio Pérez, Omelio Carvajal y Antonio Chinea. (2003) : Desarrollo de la escaldadura foliar ***Xanthomonas albilineans*** (Ashby) Dowson de la caña de azúcar en Cuba: Patógeno, variedades y clima. Revista Protección Vegetal. En prensa.

Rott, P., Mohamed, I.S., Klett, P., Soupa, D., Saint-Albin, A., Feldman, P. & Letourny, P. (1997). Resistence to leaf scald disease is associated with limited colonization of sugarcane and wild relatives by ***Xanthomonas albilineans***. Phytopatology 87:2: 1202-1213.

Ricaud, C., & Ryan C.C. (1989). Leaf scald, In: Disease of sugarcane. Major diseases. Eds: C. Ricaud, B.T. Egan, A.G. Gillaspie Jr. and C.G. Hughes. Amsterdam. The Netherlands: Elsevier Science Publishers: 39-58.

Saumtaly, S., Medan, H. & Autrey, L.J.C. (1995). Detection, transmission and control of leaf scald of sugarcane caused by ***Xanthomonas albilineans*** **(Ashby) Dowson**. In: Proceeding of the XXII Congress ISSCT, 1995, Colombia, p136-144.

EL LABOREO LOCALIZADO CON EL C-101, RESULTADOS TECNICOS-ECONÓMICOS OBTENIDOS EN LA APLICACIÓN ENTRE EL PERIODO 1999-2001 EN LA PROVINCIA LAS TUNAS

THE THECNICAL AND ECONOMICAL RESULTS OBTAINET UIT THE LOCATE SOIL PREPARATION USING C-101 IN LASTUNAS PROVINCE IN THE PERIOD 1999-2001.

EDELMAR PUPO LABRDA, VICTOR M. TEJEDA MARRERO, LORENZO RODRÍGUEZ ESTRADAS, ELIA SAO PEÑA.

Instituto Nacional de Investigaciones de la caña de Azúcar (INICA), EPICA Las Tunas
E-mail: pupo@epica.ltunas.inf.cu

RESUMEN

En 1998 se introdujo el implemento C-101 para la preparación localizada del suelo en el cultivo de la caña de azúcar, para su evaluación técnica-económica se montó una extensión sobre suelo Sialitizado Cálcico del CAI Perú, se empleó la variante mecánica de tres labores en el laboreo localizado y como testigo el laboreo tradicional, se determinó en la fase de preparación los indicadores técnicos-económicos esénciales, luego de la plantación se estudió la resistencia a la penetración en el suelo en ambas tecnologías y el rendimiento final en caña planta.
Los resultados obtenidos demostraron la superioridad del laboreo localizado sobre el tradicional, al obtenerse ahorros del 50 porciento en el consumo de combustible, el 58 porciento en los costos de la tecnología, el 64 porciento en el tiempo de preparación, de igual forma se obtuvo incremento de un 43 porciento en la profundidad de surca, un 65 porciento la productividad del agregado, la resistencia a la penetración en el suelo tanto en narigón como en camellón fue significativamente inferior en los dos primeros perfiles estudiados, paralelamente se incrementa los rendimientos en 9.5 t/ha en el laboreo localizado con respecto al tradicional y se incrementa en 1552 ha la aplicación de dicha tecnología del año 1999 al 2001.
El uso del laboreo localizado entre el año 1999 y 2001 en la provincia las tunas permitió un ahorro de 354 t de combustible diesel y 309.2 mil pesos en las 8431 ha realizadas en este período.

Palabras claves: Laboreo localizado, Caña de azúcar, Conservación de suelo

ABSTRAT

C-101 was introduced in sugarcane in 1998 for the locate soil preparation, for the technical and economical evaluation was prepared an extension area in CAI Peru using three different mechanical variants of soil preparation , the traditional soil preparation. In the first phase was determined the principal economic indicators, after the plantation was studied the resistance to soil preparation for both technologies and the final yield for the first harvest . The result obtained show the superiority of located preparation compare with a traditional, more than a 50 % of fuel, 58 % of the technology cost, 64 % of the time in the soil

preparation and 65 % in the productivity with the implement was saved us the yield was increased in 9.5 t/ha with the located preparation compared with the traditional and was increase in 1152 ha of land prepared with the locate preparation between 1995 to 2001. In the possibility to save 354 t of fuel and $ 309200.
Key works: Locate soil preparation, Sugar cane, Soil conservation

INTRODUCCIÓN.

En el año 1998 se introduce el Implemento C-101 en la provincia Las Tunas para la preparación de suelos en el cultivo de la caña de azúcar, su principio de trabajo se basa en la no-inversión del prisma reduciendo el efecto de erosión y degradación del suelo, mantiene la cobertura de rastrojo aprovechando la humedad existente. Su generalización en la agricultura cañera en esta provincia, a sido de gran importancia por sus resultados y volúmenes de áreas realizadas.

En la preparación de suelo con las tecnologías tradicionales es hace necesario la realización de diferentes labores con equipos e implementos de distintos tipos y tamaños. Entre cada labor se requiere un plazo para que ocurra la descomposición de los restos de cosecha y la perdida de humedad, este está determinado por la textura del suelo, grado de humedad, volumen de restos de cosecha presentes en la superficie. Disminuir el proceso sin tener en cuenta estos factores antes mencionados sería producir consecuencias negativas que pueden afectar las propiedades físico químicas del suelo y su influencia sobre el rendimiento del cultivo, el C-101 cambia estos conceptos y revoluciona la preparación de suelos en el cultivo de la caña de azúcar.

El Implemento C-101 cambia los conceptos tradicionales de la preparación de los suelos, en primer lugar solo se alista una franja del suelo sin inversión del prisma y segundo crea condiciones diferentes en la superficie al dejar un semi-surco, que al quedar expuesto al aire y al sol, facilita la perdida rápida de humedad desde las capas inferiores del suelo, además no existen materiales enterrados que necesiten su descomposición siendo estos los factores claves que permiten la reducción del tiempo de preparación. Por el contrario, en la tecnología tradicional la pérdida de humedad ocurre de forma paulatina en la misma medida que el suelo se va moviendo con el laboreo sucesivo, lo que alarga el proceso de alistamiento.

Es objetivo de este trabajo, presentar los resultados técnicos económicos y agronómicos, que se han obtenido de investigaciones realizadas del laboreo localizado con C-101 así como su aplicación y/o generalización en la provincia Las Tunas desde su introducción en 1998 hasta el 2001.

MATERIALES V MÉTODOS

Este trabajo comprende los resultados de estudios realizados sobre suelo Sialitizado Cálcico del Complejo Agroindustrial Perú en el que se monto una extensión con la aplicación del laboreo localizado con el C-101 en la variante mecánica de tres labores, Descepe con C-101, Grada Intermedia y Surca con el C-101, empleando el tractor DT-75 como fuente energética y como testigo se utilizó el laboreo tradicional empleando el arado de Arrastre A-10000 realizando 5 labores Rotura, Grada, Cruce, Grada y Surca con Rome acoplado al tractor DT-75.

En cada tecnología se evaluaron los índices de consumo de combustible, productividad del agregado mediante foto cronometraje de tiempo, calidad de las labores realizando mediciones directas de profundidad, gastos de la tecnología por medio del control de los gastos y posteriormente al cultivo se le realizaron mediciones de resistencia a la penetración con la ayuda de un compactó metro de impacto realizado varias mediciones en narigón y camellón de ambas tecnologías y el rendimiento agrícola en (t/ha), en la cosecha en caña planta.

En el período del 1999 -2001 se tomaron las áreas que fueron realizadas con laboreo localizado en cada uno de los complejos agroindustriales de la provincia, y a partir de los elementos obtenidos en la evaluación técnico-económica, se determinó los ahorro de combustible y dinero que representó su empleo en esa área comparada con la tradicional.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Resultado técnico de explotación, económico y agro productivo.

Tabla 1. Resultado técnico de explotación, económico y agro productivo de las tecnologías de laboreo localizado y laboreo tradicional.

No	Indicadores	U/M	Localizado (C-101)	Tradicional (A-10000)	Diferencia
1	• Consumo de combustible	l/ha	48.71	97.61	48.9
2	• Profundidad de la surca	cm	28	16	12
3	• Rendimiento en caña planta	t/ha	44.36	34.84	9.52
4	• Productividad	ha/h	0.70	0.24	0.46
5	• Costos	$ha	31.74	75.95	44.21
6	• Tiempo	h/ha	3.72	10.49	6.77

Como podemos apreciar estos valores que se obtuvieron en el laboreo localizado como el consumo de combustible, los costos y el tiempo son inferiores al tradicional y de igual forma los valores de profundidad de surca, los rendimientos y la productividad son superiores.

Estos resultados se corresponden con estudios realizados por otros autores, en la Habana, Córdoba (1996) obtuvo un gasto de combustibles con esta tecnología de 44.14 l/ha, un costo de 31.19 $/ha, un tiempo de 4.47 h/ha y se incrementaron los rendimientos en 12.8 t/ha y de igual forma en Cienfuegos, Muñiz (1997) obtuvo resultados de 48.32 l/ha, 51.47 $/ha, 4.04 h/ha y 14.4 t/ha en los gastos de combustible, costo, tiempo e incremento de rendimientos respectivamente.

En Santiago de Cuba Almarales (1998) al realizarle estudios a esta tecnología para sus condiciones de suelo y clima, reporto los siguientes valores de gastos de combustible, costo, tiempo y rendimientos: 46.19 l/ha, 30.80 $/ha, 4.22 h/ha y 8.6 t/ha respectivamente.

Resistencia a la penetración

El grado de resistencia o dureza del suelo está estrechamente relacionado con el desarrollo de las raíces, comprobándose que la proliferación del sistema radical se afecta a partir de cierto nivel de compactación (Trouse, 1965), citado por García. I, (1999) siendo ésta una de las razones por lo que es necesario lograr un grado de mullición satisfactorio que asegure un adecuado balance aire-agua en el suelo. En este sentido, con el laboreo localizado, al no acondicionar el camellón, existen dudas sobre el estado real del suelo en el entresurco y los posibles efectos negativos que puede provocar en el desarrollo de la caña.

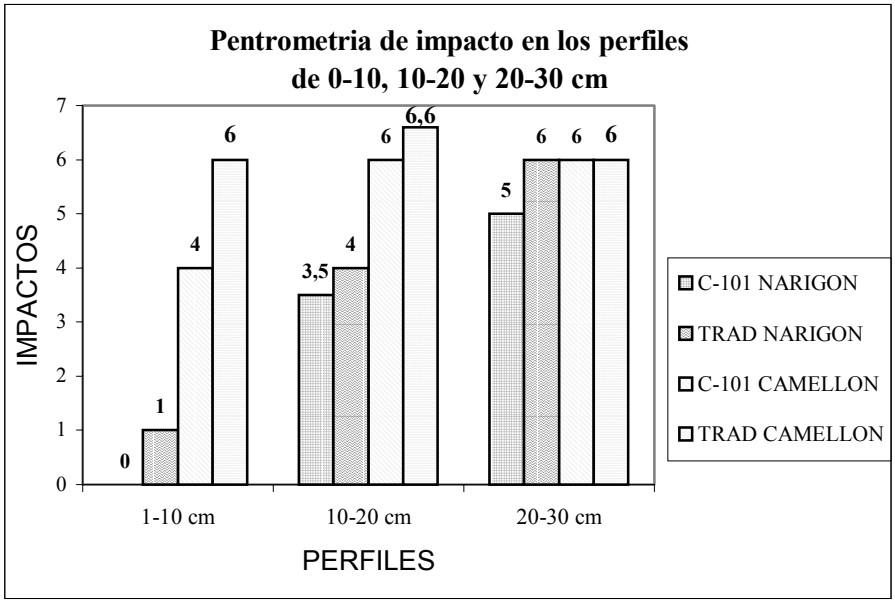


Figura 2. Resistencia a la penetración en un suelo Sialitizado Cálcico en Narigón y Camellón en laboreo localizado y tradicional para diferentes perfiles a los 120 días después de la siembra.

El gráfico muestra los resultados de la resistencia a la penetración determinado a través de un compacto metro realizado en la zona del narigón y camellón en lo diferentes perfiles de suelo, 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. Este demuestra lo contrario de los que pudiera esperarse, el nivel de resistencia del suelo en el camellón del tradicional es superior en los primeros 20 cm y solo se iguala a partir de este, de donde se infiere que las labores de cultivo mecánico y con tracción animal realizadas en la variante localizada posterior a la plantación de la caña, completaron el acondicionamiento del suelo hasta un estado comparable al alcanzado en el método tradicional.

Corroborando lo anterior, en el narigón del surco los valores de resistencia a la penetración también son inferiores cuando se utilizó el C101 en todos los perfiles destacando que en el tercer perfil (20-30) la resistencia en el tradicional se iguala para ambas zonas y por tanto, indica que en el laboreo localizado existe un suelo más suelto en la zona cercana a la cepa y con mejores condiciones para el desarrollo pleno del sistema de raíces. Este estado favorable del suelo debe interpretarse como un efecto residual de la preparación que, al hacer un laboreo más profundo y fraccionar mejor las capas inferiores sin inversión del prisma, su efecto están aun presente a los cuatro meses después de concluida la preparación.
García. I, (1999) en Villa Clara también en suelo Sialitizado Cálcico obtuvo similares resultados y se mantuvo el efecto de la desconpactación profunda por el C101 hasta los nueves meses solo que no realizó el estudio por perfiles sino que tomo las mediciones de 0-30 cm como un solo perfil.

<u>Aplicación en la provincia</u>

Entre los años 1999 y 20001 se ha aplicado esta tecnología en con diferentes variantes tecnológicas en los siete Complejos Agroindustriales, la tabla 2 muestra el comportamiento que ha tenido.

Tabla 2. Comportamiento de la aplicación del laboreo con C-101 en la provincia desde su introducción hasta el 2001.

No	CAI	U/M	1999	2000	2001
1	Jesús Menéndez	Ha	88.57	228.14	375.76
2	Antonio Guiteras	Ha	332.81	216.02	297.92
3	Argelia Libre	Ha	-	766.28	457.62
4	Perú	Ha	476.41	640.13	1656.49
5	Colombia	Ha	815.93	291.21	644.16
6	Amancio Rodríguez	Ha	93.94	228.14	411.99
7	Majibacoa	Ha	254.98	385.15	880.35
Total	**Provincia**	**Ha**	**2062.64**	**2755.07**	**3614**

Como se muestra en la tabla anterior el comportamiento del laboreo localizado desde su introducción en la provincia en el año 1998 y la realización de las primeras áreas en el año 1999 se incremento para el segundo año en 674 ha y de 859 ha para el tercer año el cual ha tenido un crecimiento medio por encima de las 750 ha por año y de 1552 con respecto al primer año, para un total de 8431 ha realizadas bajo esta nueva tecnología de preparación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar.

Esto demuestra el conocimiento que cada año adquieren los productores sobre el uso de esta tecnología además hay que destacar su importancia como tecnología sostenible y conservacionista lo cual ha permitido preparar 2345.8 ha con problemas de erosión o degradación, además se han ahorrado 354.5 toneladas de combustible por concepto de su aplicación así como 309.24 mil pesos, por tales razones podemos considerar la tecnología del laboreo localizado con el C-101 con una enorme importancia económica y medio ambientalista para la provincia.

CONCLUSIONES

Luego de realizar un análisis de los resultados expuestos en este informe arribamos a las siguientes conclusiones:

La tecnología de laboreo localizado con C101 permite acortar el tiempo de preparación y mantener los residuos de cosecha en la superficie.

La tecnología de laboreo localizado con C101 disminuye los gastos de combustible y los costos de preparación de suelos con respecto al método tradicional en mas del 50 porciento.

Con la tecnología del laboreo localizado no se afectan los rendimientos de los cultivos, si no que se incrementan.

La resistencia a la penetración en el C101 es inferior y sobre todo en los perfiles donde existe el mayor porciento de raíces (0-20 cm), creando mejores condiciones para su desarrollo, atribuible a la mayor profundidad de trabajo alcanzada con el implemento C101 y a un mejor fraccionamiento de las capas inferiores del suelo.

la aplicación del C-101 en esta provincia en 8431 ha permitió el ahorro de 354.5 toneladas de combustible y de 309.24 mil de pesos.

RECOMENDACIONES

Continuar la aplicación de esta tecnología en el cultivo de la caña de azúcar como acciones fundamentales hacia una agricultura sostenible, conservacionista y diversificada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Almarales. E, 1997. Resultados de la generalización de diferentes variantes de laboreo mínimo en Santiago de Cuba. Informe, INICA 1998.
2. Córdoba. R, 1996. Análisis de la aplicación del laboreo localizado en el CAI Abrahán Lincoln. Informe, INICA 1997.
3. Creach. I, 1993. Tecnologías de preparación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar. Ensayo, INICA 1998, pp 18.
4. García. I, 1997. Preparación localizada de suelos para la plantación de la caña de azúcar en Villa Clara. Informe INICA 1997, pp12.
5. MINAZ, 1998. Principios básicos para la aplicación de tecnologías de preparación de suelos en el marco de una agricultura conservacionista y sostenible. INICA-MINAZ-IIMA-CNCA, 1999, pp 77.
6. Muñiz. A, 1998. Resultado de la preparación de suelos con la tecnología del laboreo mínimo localizado en suelos pardos de la provincia de Cienfuegos. Informe, INICA 1998.
7. Pupo. E, 199. Evaluación técnico-económica del C-101 en la preparación de suelos en la provincia Las Tunas. Informe, INICA 1999.

HABILIDAD COMBINATORIA PARA LA RESISTENCIA AL CARBÓN EN PROGENITORES DE CAÑA DE AZÚCAR

L. Cabrera, A. Chinea, G. Pérez, Sandra Vidal, I. Abrante y Leidy Cortegaza.

Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) INICA, MINAZ Jovellanos CP 42 600 Matanzas, Cuba. E-mail: epica@atenas.inf.cu

RESUMEN

La enfermedad conocida como carbón de la caña de azúcar ***Ustilago scitaminea*** Sydow afecta sensiblemente el rendimiento agrícola y demanda altos gastos para el establecimiento de las medidas de lucha, cuando se cultivan variedades susceptibles en las plantaciones comerciales. El empleo de variedades resistentes es la medida más efectiva, práctica y económica para disminuir las pérdidas, pero se requiere conocer la habilidad combinatoria de los progenitores que se emplean en los programas de mejora genética, lo cual permitirá obtener mayores éxitos en la obtención de genotipos con altos niveles de resistencia. Partiendo de un grupo de progenitores con diferente comportamiento ante el ataque de la enfermedad fueron cruzados, empleando un diseño factorial en bloques al azar 4x4, para completar 16 cruces biparentales. La evaluación de las progenies en el campo después de la inoculación artificial con teliosporas de carbón, permite concluir que la Habilidad Combinatoria Específica (HCE) resulta más importante que la Habilidad Combinatoria General (HCG), para la búsqueda de variedades resistentes. En 6 de las combinaciones estudiadas se obtuvieron altos valores de HCE, siendo aceptables siempre que al menos, uno de los progenitores de cada combinación fuera resistente, mientras que los valores más bajos se obtuvieron de combinaciones entre variedades con resistencia intermedia y susceptibles. Se recomienda explotar la HCE y utilizar progenitores femeninos resistentes, debido al alto efecto materno, así como emplear al menos un progenitor resistente al establecer las combinaciones y en ningún caso cruzar dos variedades susceptibles entre sí.

Palabras clave: Carbón en caña de azúcar, Variedades resistentes, Habilidad combinatoria, Efecto materno.

ABSTRACT

The disease known as smut of sugar cane ***Ustilago scitaminea*** Sydow affects sensibly the agricultural yields and demands high cost for the settlement of struggle measures when we plant susceptible varieties in commercial plantations. The application of resistant varieties is most effective, practical and economical measure to decrease the loss, but it′s important to know the combining ability for the parents applied in genetic breeding program, then it′s going to get great success having high resistant levels of genotypes. A group of parents with different behavior when the disease attacks were crossed taking into account, the factorial design at random blocks 4x4 to complete 16 biparental crosses. The evaluation of progenies in the fields after the artificial inoculation with tiliospores of the smut tell us that the specific combining ability (SCA) is more important than the general combining ability (GCA) to find new resistant varieties. In 6 of the studied combinations we got high levels of SCA, being always acceptable to less one of the parents of each combination of course resistant, mean while the lowest combination levels got among varieties with intermediate and susceptible resistant, it′s recommended to exploit the SCA and use

female resistant parents, due to the high parental effects also apply at least a resistant parent to establish the combination and we can′t cross the susceptible varieties among themselves.

Key words: Smut in sugarcane, Resistant varieties, Combining ability, Female parent effect.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar ***Saccharum spp.*** (híbrido) es afectada por unas 139 enfermedades a nivel mundial, causadas por virus, fitoplasmas, bacterias, hongos, plantas parásitas, trastornos fisiológicos y ambientales, así como causas indeterminadas (Rott et al., 2000; Chinea y Rodríguez, 2004). De ellas, han sido detectadas en Cuba 57, las que afectan en mayor o menor grado la producción de caña y azúcar por unidad de superficie (Chinea, 2002). El carbón, causado por el hongo ***Ustilago scitaminea*** Sydow es una de las más importantes, debido a la amplia gama de variedades que ataca y a la cantidad de recursos que demanda la aplicación de medidas para su control. Desde la aparición de esta enfermedad en nuestro país se ha venido trabajando en la búsqueda de fuentes de resistencia, mediante el estudio del comportamiento de los diferentes genotipos existentes en la colección de germoplasma; sin embargo, resulta necesario evaluar la Habilidad Combinatoria General (HCG) y Específica (HCE) de los progenitores de mayor uso en los programas de mejora , con el objetivo de seleccionar los genotipos que permitan dirigir el proceso de hibridación y selección hacia aquellos caracteres que nos interesa fijar en las nuevas variedades.

Existen diferentes diseños genético-estadísticos para evaluar los resultados del fitomejoramiento, pero los más usados son el Dialélico y Factorial.

El diseño Dialélico ha sido empleado exitosamente con este fin en caña de azúcar por diferentes investigadores (Yang y Chu, 1962; Hogarth, 1973; Miller, 1977; Wu y col, 1980); mientras que en las condiciones específicas de Cuba, ha sido más efectivo el empleo del diseño Factorial (Ortiz y Pérez; 1984; Cabrera y col., 1987; Calaña y col., 1985), debido a la gran cantidad de resultados obtenidos y a las posibilidades de su aplicación práctica.

El objetivo del presente trabajo es determinar la Habilidad Combinatoria para el carácter resistencia al carbón en un grupo de progenitores de amplia utilización en los programas de mejora genética de la caña de azúcar que se desarrollan en Cuba, lo cual permitirá obtener mayores éxitos en la obtención de nuevas variedades con altos niveles de resistencia a dicha enfermedad, mayores potenciales de rendimiento agrícola así como amplios perfiles de adaptabilidad a las condiciones adversas del medio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de evaluar el comportamiento genético de la resistencia al carbón, fue seleccionado un grupo de progenitores en la colección de germoplasma del INICA, ubicada en la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) de Matanzas, con diferentes grados de resistencia a dicha enfermedad, estableciéndose con ellos un esquema de cruzamiento adaptado al diseño Factorial en bloques al azar 4x4 sin submuestreo, para dar origen a 16 cruces biparentales. Los progenitores empleados y sus grados de resistencia se relacionan a continuación, mediante el empleo de una escala de 4 valores, según Chinea (2002), donde:

Valor 1. No se observan síntomas.
Valor 2. Resistente a la enfermedad (R).
Valor 3. Intermedia (INT).
Valor 4. Susceptible (S).

Femeninos	Masculinos
CP52-43 (INT)	Ja64-19 (R)
C1566-75 (R)	B45181 (R)
CP72-2086 (R)	C323-68 (S)
C177-76 (S)	C227-59 (INT)

En el momento de efectuar el transplante a vivero, las raíces de las posturas de cada cruzamiento, fueron sumergidas durante 10 minutos en una suspensión de teliosporas de carbón con una concentración de $5x10^6$, o sea, 6 millones de teliosporas por mililitro de suspensión.
Dentro de las progenies obtenidas se tomaron al azar 240 posturas de cada combinación, las que se plantaron en un experimento a distancia de 80 cm entre plantas y 160 cm entre surcos y la población se distribuyó en 3 réplicas, quedando representada cada combinación por 80 individuos en cada réplica.
Los chequeos fitopatológicos para determinar el comportamiento ante el carbón se realizaron a cada individuo en planta y primer retoño con la siguiente frecuencia: el primero a los 3 meses, el segundo a los 6 meses y el tercero antes de la cosecha, donde se contabilizó el número de individuos por cruzamiento, así como el número de plantas que contrajeron la enfermedad, calculándose el porcentaje de resistencia de cada combinación. Posteriormente los datos fueron sometidos a un análisis factorial (Modelo I) efecto fijo para determinar la Habilidad Combinatoria General y Específica .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al valorarlos resultados del análisis del carácter resistencia al carbón (Tabla I) se pone de manifiesto que la fuente de variación debida a las interacciones, que representa la Habilidad Combinatoria Específica (HCE), resultó significativa, aportando estas el 38.2% y 35.6%, de la varianza genética total en planta y retoño respectivamente, mientras que los progenitores que expresan la Habilidad Combinatoria General (HCG), resultó significativa solamente para los femeninos; aportando estos valores del porcentaje de la varianza genética total muy inferiores a los presentados por las interacciones, lo que demuestra la mayor importancia que tiene la HCE para el mejoramiento de este carácter. Resultados similares a favor de la HCE han sido reportados por Pérez et al. (1986) para el carácter resistencia al Virus de Mosaico de la Caña de Azúcar (VMCA), trabajando con los progenitores.
En esta misma tabla I se aprecia dentro de los progenitores, el mayor aporte de los femeninos a la varianza total. De esto se desprende la importancia que tiene utilizar progenitores femeninos con mayores niveles de resistencia en los programas de mejoramiento genético para obtener nuevas variedades de caña de azúcar resistentes al carbón.
En la tabla II se exponen los valores de la HCG de cada uno de los progenitores evaluados, en la cual, se observa que los valores más altos de la HCG corresponden a los progenitores femeninos CP72-2086, C1566-75 y los masculinos B45181, Ja64-19, que son progenitores caracterizados como resistentes. Los restantes progenitores mostraron los valores más bajos de HCG en correspondencia con sus respectivos grados de resistencia.
Los mayores valores de HCE (Tabla III) fueron presentados por las siguientes combinaciones:
CP52-43 (INT) x B45181 (R)
CP72-2086 (R) x C323-668 (S)
C1566-75 (R) x C227-59 (INT)

C177-76 (S) x B45181 (R)
C177-76 (S) x Ja64-19 (R)

En sentido general se observa que uno de los progenitores utilizados es resistente (R); por el contrario los valores más bajos de HCE corresponden a las combinaciones entre progenitores con resistencia intermedia y susceptibles.

CP52-43 (INT) x C323-68 (S)
C177-78 (S) x C227-59 (INT)
CP52-43 (INT) x C227-59 (INT)

Tabla I. Resultados del diseño factorial (Modelo 1) efecto fijo.

Fuentes de variación	GL	PLANTA			RETOÑO		
		CM	Sig.	(%)varianza total	CM	Sig.	(%)varianza total
Réplicas	2	12.41	ns		24.18	ns	
Cruces	15	53.65	*	55.88	92.24	**	58.76
Femeninos	3	60.53	*	12.61	113.66	*	14.48
Masculinos	3	24.30	ns	5.06	68.05	ns	8.67
F x M	9	61.14	*	38.21	93.15	*	35.67
Error	30	20.35			30.74		
ES		2.60			3.20		

Tabla II. Habilidad Combinatoria General (HCG) de los progenitores.

Progenitores Femeninos	Planta	Retoño	Progenitores Masculinos	Plantas	Retoño
CP 72-2086	2.41	4.07	B 45181	1.45	1.81
C 1566-75	1.22	0.67	Ja64-19	0.88	1.95
C 177-76	-1.04	-2.10	C 227-59	-0.68	0.68
CP 52-43	-2.59	-2.64	C 323-68	-1.65	-3.07

Tabla III. Habilidad Combinatoria Específica (HCE) de las combinaciones.

Combinaciones	Planta	Retoño
CP52-43 x B45181	4.90	6.62
CP72-2086 x C323-68	4.54	6.33
C1566-75 x C227-59	3. 38	4.12
C177-76 x B45181	2.48	3.34
C177-76 x Ja64-19	1.89	2.78
CP52-43 x C227-59	2.23	1.81
C177-76 x C323-68	1.41	0.61
C1566-75 x Ja64-19	0.46	1.49
CP72-2086 x C227-59	0.20	-0.43
C1566-75 x C323-68	0.67	-3.32
CP52-43 x Ja64-19	-0.50	-1.23
CP72-2086 x Ja64-19	-1.85	-3.02
CP72-2086 x CP52-43	-2.89	-2.88

C1566-75 x B45181	-4.49	-4.08
C177-76 x C227-59	-5.80	-5.51
CP52-43 x C323-68	-6.64	-7.22

CONCLUSIONES

- La HCE resulta más importante que la HCG para la búsqueda de variedades resistentes al carbón, al aportar las interacciones mayores porcentajes de la varianza genética total que los aportados por los progenitores.
- Los progenitores CP72-2086, B45181, Ja64-19 y la C1566-75 mostraron mayor capacidad para transmitir el carácter resistencia al carbón a las progenies por sus altos valores de HCG.
- Los valores más altos de HCE fueron obtenidos en 5 de las 16 combinaciones estudiadas, siendo aceptables siempre que al menos uno de los progenitores de cada combinación resultara resistente, mientras que los valores más bajos correspondieron a combinaciones entre variedades con resistencia intermedia y susceptibles al carbón.

RECOMENDACIONES

- Para obtener genotipos resistentes al carbón debe explotarse la HCE de las combinaciones, así como utilizar progenitores femeninos resistentes, debido al alto efecto materno encontrado.
- Emplear al menos un progenitor resistente al carbón al establecer cruzamientos para obtener resistencia a dicha enfermedad y en ningún caso, cruzar dos variedades susceptibles entre sí.

BIBLIOGRAFÍA

Cabrera L., G. Pérez e I. Abrante. (1987), La Habilidad Combinatoria de los componentes del rendimiento de 8 progenitores utilizados en el mejoramiento de la Caña de Azúcar. Boletín INICA, pp. 3-4.

Calaña, J., R. Ortiz y J. Rodríguez. (1985), Caracterización del Banco de germoplasma de la Caña de Azúcar: I Cálculo de HCG para un grupo de progenitores V Seminario del INICA, pp 5-10.

Chinea, M. A. (2002), Metodología de evaluación fitosanitaria, En: Jorge, H., R. González, M. A. Casas e I. Jorge (Editores): Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. Boletín No. 1, Cuba&Caña INICA, pp. 45-50.

Chinea, M. A. y Rodríguez, L. E. (2004), Enfermedades de la caña de azúcar: Identificación y lucha. Segunda Edición, INICA, MINAZ, C. de La Habana, 200 pp, (En edición).

Hogarth, D. M. (1973), Methods of selection and estimation of genetical variation in populations of sugarcane, Ph. D Thesis Univ. of Queensland, Australia.

Milller, J. D. (1977), Combining ability and yield component analyses in five parents dealled cross in sugarcane. Crop Sci. 17: 545 – 547.

Ortiz, R. y G. Pérez. (1984), Habilidad combinatoria para la resistencia al VMCA en varios progenitores de Caña de Azúcar en Cuba. Trabajo presentado III Jornada Científica del INICA.

Pérez, G., L. Cabrera y O. Carvajal. (1986), Estimado de la Habilidad Combinatoria de la resistencia al virus del mosaico en 8 progenitores de Caña de Azúcar (Inédito), 8 pp.

Rott, P., Bailey, R. A., Comstock, J. C., Croft, B. J. and Saumtally, S. (2000), A guide to sugarcane diseases. CIRAD/ISSCT, Montpellier, France.

Wu, K. K., D. L. Heinz, H.K. Meyer and S. R. Ladd. (1980) , Combining ability and parental evaluation in five selected clones of sugarcane Theor. Appl. Genet. pp (56): 241-244.
Yang, T. C. y C. C. Chu. (1962) , Evaluation of combining ability in sugarcane Part I. Report of Taiwan Sug. Exp. Sta. No. 26 pp 1- 40.

APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA EL ESTUDIO DE SUELOS EN UNA EMPRESA AGRÍCOLA

A. Chinea Horta y P. L. Cortegaza Ávila

Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar, INICA, MINAZ. Carretera central km. 156. Jovellanos CP 42 600 Matanzas, Cuba.
E-mail: epica@atenas.inf.cu

RESUMEN

Se presenta la primera experiencia en la provincia de Matanzas sobre la aplicación de un SIG en una empresa agrícola. Numerosos aspectos pueden ser analizados utilizando estos sistemas como herramienta básica; fenómenos tales como la pendiente del terreno, que juega un rol importante no sólo desde el punto de vista de la formación del suelo, sino también de su degradación, causada por la erosión que es acelerada por agentes exógenos tales como la lluvia, el viento, corriente de aguas superficiales y la acción negativa del hombre. Un Modelo Digital de Elevación (MDE) permitió la realización de diferentes estudios en combinación con otras informaciones contenidas en el sistema. Se realizó la descripción del terreno, se determinaron puntos críticos del relieve que permiten caracterizar la existencia de líneas de drenaje o parte aguas. A partir del mapa raster de alturas y utilizando el método de reclasificación de mapas, se crearon mapas derivados de cumbres, de cauces que son combinados con los mapas de suelos, información que puede ser utilizada en el desarrollo de sistemas de riego de la empresa agrícola. Así mismo se determinó las zonas de riesgo de erosión donde el suelo debe ser tratado de forma diferenciada para evitar alteraciones en la capa arable, contribuyendo de esa forma a una explotación agrícola acorde con los principios de la agricultura sostenible.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, Modelo Digital de Elevación, Líneas de drenaje, Mapas de suelo, Agricultura sostenible.

APPLICATION OF A GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (GIS) FOR THE STUDY OF SOILS IN AN AGRICULTURE ENTERPRISE

A. Chinea Horta and P. L. Cortegaza Ávila

Provincial Sugar Cane Research Station of, INICA, MINAZ. Central highway km. 156. Jovellanos CP 42 600 Matanzas, Cuba. E-mail: epica@atenas.inf.cu

ABSTRACT

This it is the first experience showed in Matanzas province on the application of a GIS in an agricultural enterprise. A great amount of aspects can be analyzed using these systems like basic tool; such phenomenons as the slope of the land that not only play an important role from the point of view of the soil formation, but also of their degradation, caused by the erosion that is accelerated by such exogenous agents as the rain, the wind, current of superficial waters and the man's negative action. A Digital Elevation Model (DEM) it allowed the consolidation of different surveys in combination with other informations contained inside the system. It was carried out the description of the land, critical points of the surface were determined that they allow characterizing the existence of drainage lines or it leaves waters. Starting from the map raster of heights and using the method of reclassification of

maps, derived maps of summits ware done, of beds that are combined with the maps of soils information that can be used in the development of the irrigation systems of the agricultural enterprise. Likewise it was determined the areas of erosion risk where the soil should be treated in a different way to avoid alterations in the plowing layer contributing to an agricultural exploitation according with the principles of the sustainable agriculture.

Key words: Geographical Information systems, Elevation Digital Model, Drenage lines, Soil maps, Sostainable Agriculture.

INTRODUCCIÓN

Tres cuartas partes de la superficie agrícola de Cuba está afectada por diferentes procesos de degradación que limitan el potencial de rendimiento de los cultivos, tales como erosión, mal drenaje, pérdidas de fertilidad, bajo contenido de materia orgánica, baja retención de humedad, pedregosidad y rocosidad, entre otros (Cuellar *et al*., 2003). En ese sentido, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) toman cada vez más importancia en la agricultura actual ya que pueden satisfacer la demanda de información relevante y confiable en el menor tiempo posible para la planeación territorial, la modelización de diferentes escenarios y la toma de decisiones en general (Balmaseda *et al*., 1999). Constituyen herramientas necesarias para la integración de bases de datos espaciales y de atributos que representan grandes volúmenes de información de diversas fuentes en el marco de una empresa agrícola. La introducción de los Modelos Digitales de Elevación (MDE), estudios de variabilidad espacial y las clasificaciones difusas, nos permitió aprovechar las posibilidades de los SIG para el estudio del recurso suelo, mediante la generación de diferentes escenarios así como mapas temáticos, teniendo en cuenta un enfoque sostenible y conservacionista.

MATERIALES Y MÉTODOS

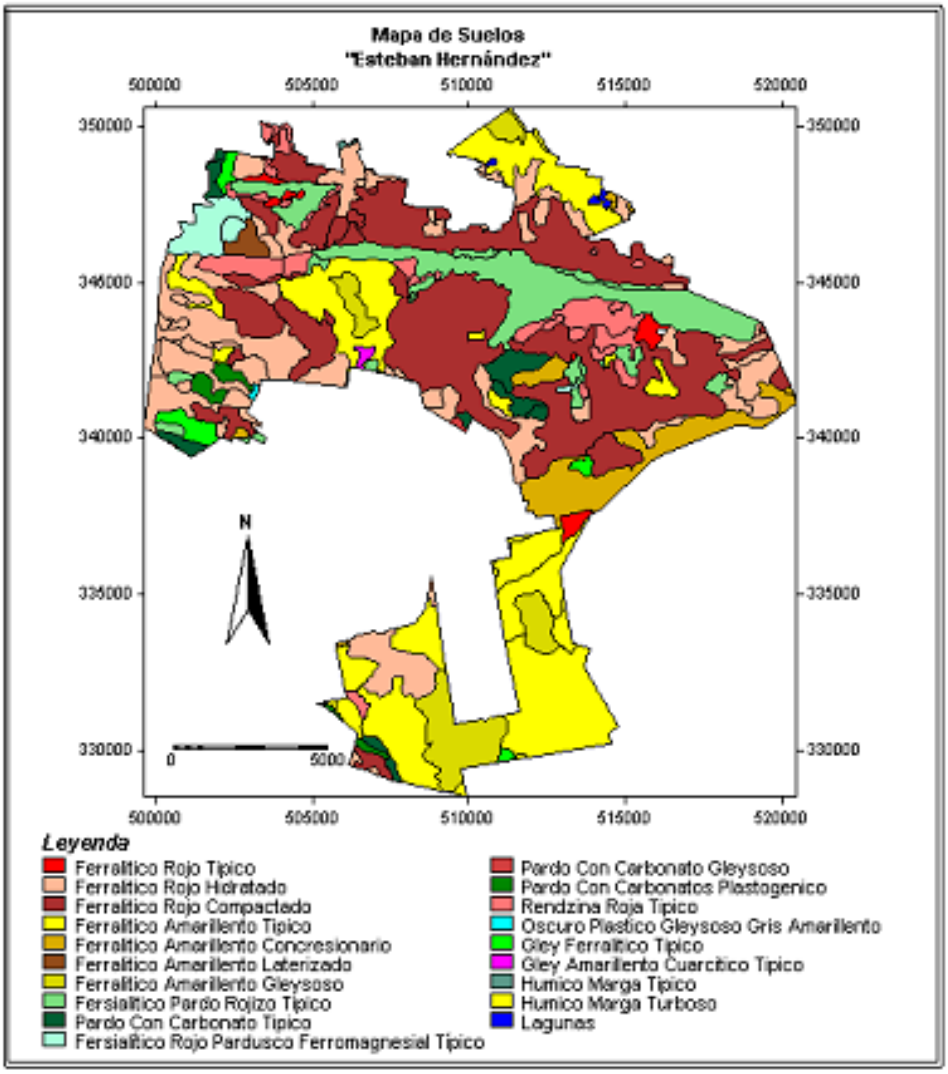
Para la realización de este trabajo, se tuvo en cuenta los resultados del estudio de la Evaluación de la Aptitud Física de las Tierras en la empresa agrícola "Esteban Hernández" (Cortegaza *et al*., 2001) y la base digital del catastro, como soporte para el proceso de reordenamiento territorial (Chinea Horta, 2002). El mapa de suelos y topográfico con curvas de nivel espaciadas a 10 metros, elaborado por el MINAG y el ICGC (1986), edición ampliada a escala 1:25 000 y el catastro especializado de la agricultura cañera, tomando como unidad mínima de manejo el bloque cañero, escala 1:25 000.
Fueron utilizados los sistemas CAD (*computer Aided Desing*) para la digitalización de las curvas de nivel y cotas puntuales de altitud, bloques cañeros, polígonos de suelos y otros aspectos de localización.
Las bases de datos resultantes de la evaluación de tierras con los factores limitantes y datos del sistema perfil fueron importadas por el Sistema de Información Geográfica ILWIS ver. 3.0 *for windows*. *Instalation and new functionality. Enschede, The Netherlands*, permitiendo la generación de los diferentes escenarios y mapas temáticos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del Área de Estudio. La Empresa Agrícola "Estaban Hernández" de la provincia Matanzas, cuyas áreas limitan al norte con la Empresa Forestal; al sur con la Empresa Pecuaria de Guamuta; por el este con la Empresa Pecuaria de Martí y por el oeste con las áreas de la empresa azucarera "España Republicana". Estructuralmente cuenta con seis UBPC, tres CPA, una CCS, una granja de autoconsumo, fábrica de levadura torula y Banco de Semilla Registrada de caña de azúcar, que totalizan una superficie cañera de 9 927.5 ha (739.7 cab.), distribuidas en bloques. El área geográfica total de la Empresa es de 18 560 ha (1 383 cab.). Se localiza en la parte más nororiental de la provincia, específicamente en la llanura costera de Cárdenas, que presenta elevaciones importantes como es el caso de la Sierra de Bibanasí, que divide en dos partes, al norte y al sur, las tierras de la

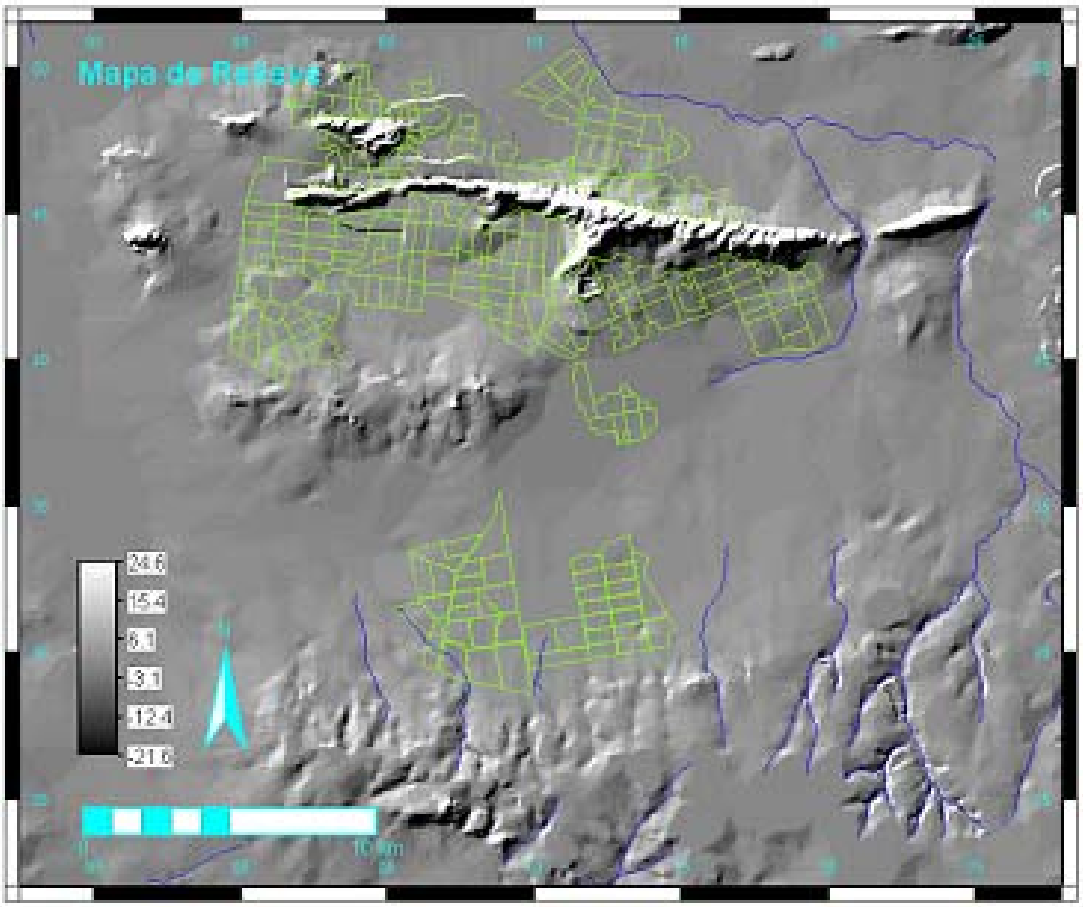
Empresa dando una conformación peculiar e interesante al paisaje de la zona. Posee una altura máxima de 114 metros sobre el nivel del mar, con pendientes entre 15 y 25 %, por lo que esta parte es considerada como terreno escabroso y se extiende 23.3 Km. en dirección este-oeste (MINAG, 1985).
Como se observa en la figura 1, los suelos forman bandas que se repiten tanto al norte como al sur de la Sierra y en orden predominante aparecen los tipos de suelos correspondientes a los agrupamientos Ferralitizados Cálcicos (89%), seguidos de los Sialitizados Cálcicos (5.82%) y Fersialitizados Cálcicos (3.32%). Además, existen los Gleyzados Ferralitizados que ocupan 1.70%, Ferralitizados cuarcíticos (0.11%) y Vertisuelos (0.05%).

Figura 1. Mapa de suelos de la empresa "Esteban Hernández".



La figura 2 muestra una descripción tridimensional del relieve de la zona, sobre la cual se superpone una capa que contiene la bloquificación de la Empresa, estructuralmente representada por los bloques como unidad mínima de manejo. La Sierra Bibanasí y el resto de las elevaciones se muestran bajo una iluminación artificial, como si el sol estuviera brillando desde el noroeste. Las pendientes dirigidas hacia el sureste son oscuras y las dirigidas al noroeste son muy brillantes. Estos resultados nos dan claridad sobre la dirección que toma la pendiente en el terreno. También se caracterizan los puntos críticos del relieve, así como las líneas de drenaje o parte-aguas principales. En esta zona, la cota 5 se aproxima a la costa hasta 0.4 Km., pasando por el sur de Punta Palmar.

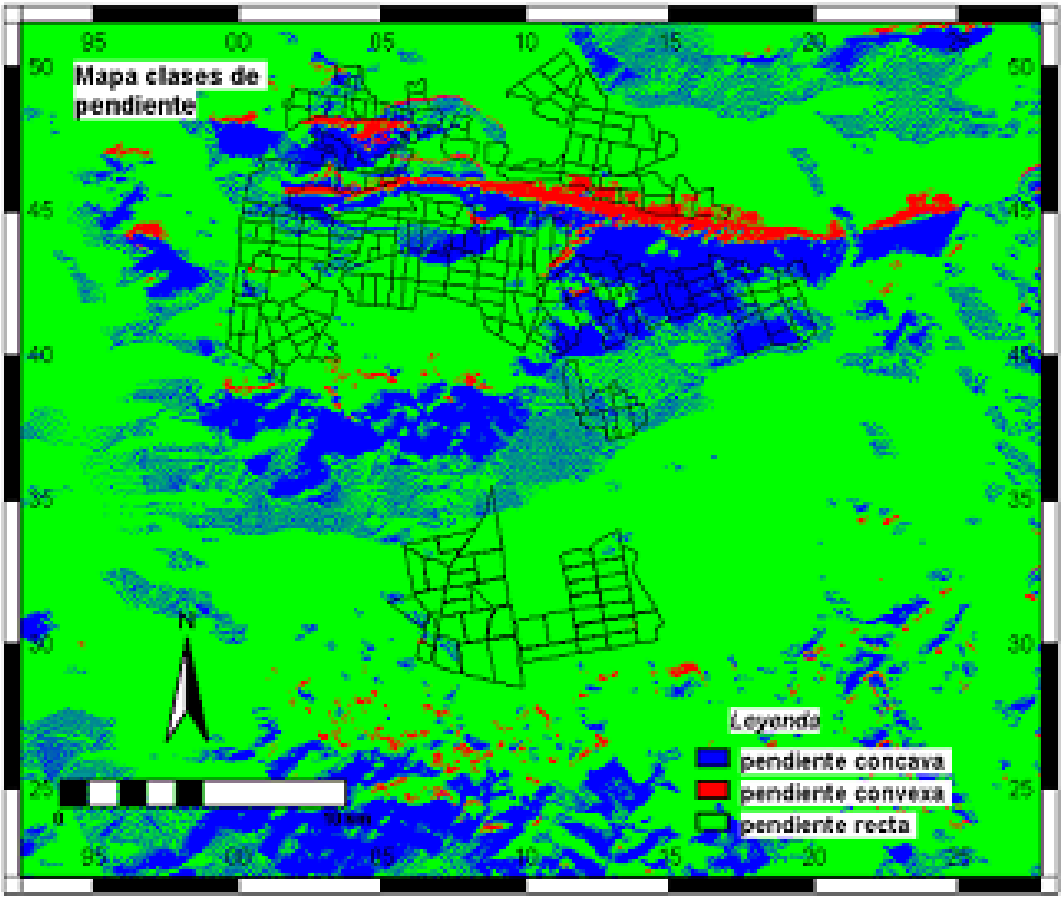
Figura 2. Mapa descriptivo del relieve de la zona estudiada.



La topografía de la zona en algunos casos es ondulada y fuertemente ondulada, que origina problemas de erosión en surcos, la cual no resulta muy acelerada debido a la cobertura vegetal existente y la cantidad de afloramientos rocosos que presenta (12%-25%) en esta área. La erosión hídrica es la más perjudicial en las condiciones donde se cultiva la caña de azúcar y en ella intervienen algunos factores tales como las precipitaciones, el grado de pendiente, la resistencia que le ofrece la cobertura vegetal y la capacidad del suelo para asimilar el agua superficial por infiltración (Ponce y Balmaceda, 1999). De estos factores, el más importante en las condiciones tropicales lo constituyen las precipitaciones y sobre todo, la energía de impacto de la lluvia, la cual se comporta con un promedio anual de 1 308 mm.

Un problema asociado a la erosión es la acumulación de los productos del acarreo. Las partículas en suspensión transportadas por las aguas de escorrentía son las responsables del sellado y disminución de la permeabilidad de los suelos en los que se depositan (Ponce y Balmaceda, 1999). Tomando en cuenta este criterio, se obtuvo el mapa clases de pendiente mediante reclasificación de mapas y sobre este se ha superpuesto una capa con la estructura de bloques cañeros de la Empresa, que permite observar al primer golpe de vista, las afectaciones según la pendiente sobre los bloques (Figura. 3). Los valores negativos indican pendientes convexas (rojo), mientras que los positivos representan pendientes cóncavas (azul) y los valores cercanos a cero representan pendientes rectas o suelos llanos (verde).

Figura. 3. Mapa de clases de pendiente.

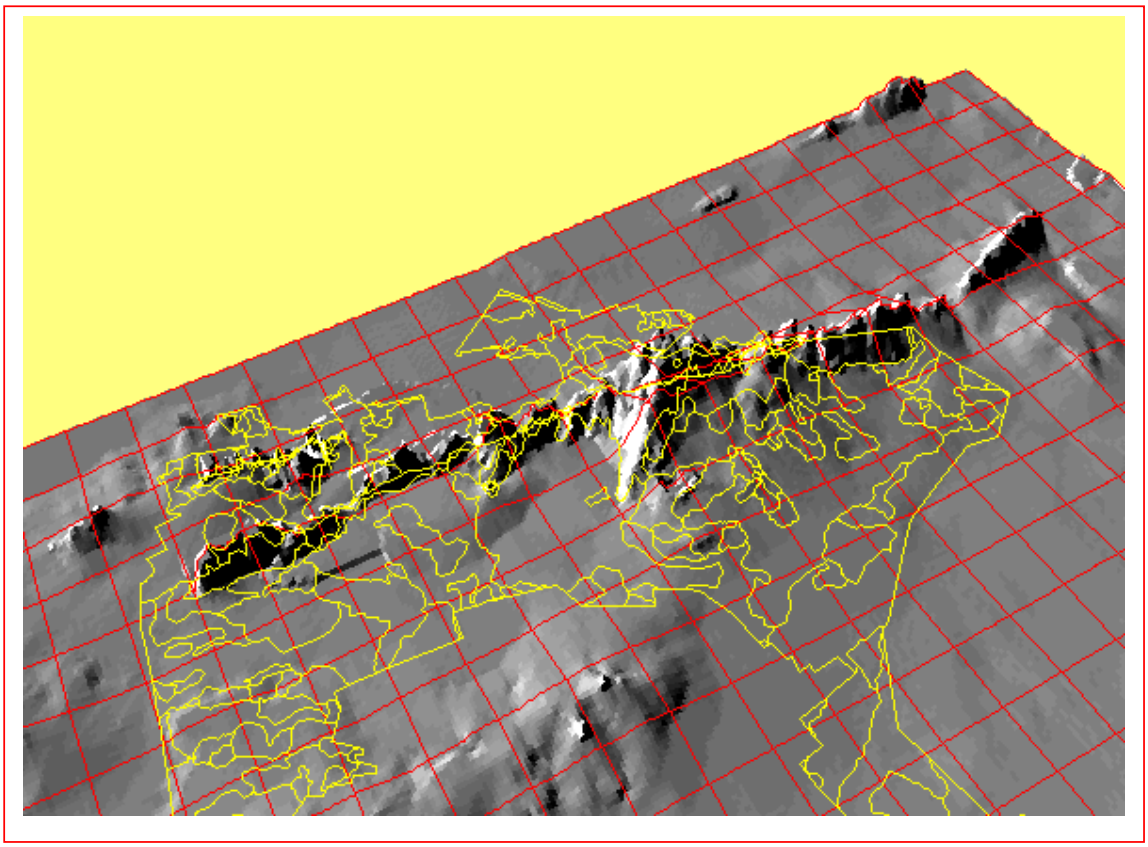


Mediante el análisis de los resultados del mapa de pendiente se pudo comprobar que la pendiente no representa un factor de importancia para un gran número de bloques, sobre todo, los que ocupan pendientes rectas, mientras que otros bloques están afectados por pendientes cóncavas, lo cual está relacionado con zonas de deposición, por lo que en estas áreas se pueden presentar condiciones de drenaje deficiente. El resto de los bloques se encuentran sobre pendientes convexas, lo cual demanda tomar medidas de manejo diferenciado con los mismos, ya que si se aplican labores inadecuadas se pueden originar graves problemas de erosión que se traducen en consecuencias perjudiciales para los cultivos.

El empleo de un Modelo Digital de Elevación (MDE) fue logrado mediante la interpolación de las cotas del terreno del área estudiada en el Sistema de Información Geográfica (SIG), que permitió ajustar las líneas de suelo cartografiadas a escala 1:25 000 (Figura 4), lo cual fue posible por el papel determinante del relieve en las características de los suelos. Estos resultados coinciden con lo planteado por Burrough (1986) y las experiencias obtenidas por Ponce de León *et al.* (1997) que emplearon esta metodología en la UBPC "Fernando García Rosales" del CAI "Manuel Martínez Prieto", para ajustar las líneas de suelo y definir la complejidad de la zona por medio del mapa de pendiente con el de drenaje acumulado. De igual forma, un MDE ha sido utilizado en Isla Mauricio para determinar la aptitud de las tierras respecto a la mecanización, según categorización de las

pendientes unida al tipo de suelo y fue elaborado un mapa de aptitud para su empleo en todos los ingenios azucareros de dicho país (MSIRI, 2000).
Al analizar las características del mapa elaborado, se pone de manifiesto una gran coincidencia con los resultados obtenidos en la evaluación de la aptitud física de las tierras (Cortegaza et al., 2001) en la empresa "Esteban Hernández", por lo cual, constituye una importante herramienta para la toma de decisiones por el personal técnico, que permitirá una explotación más adecuada de las tierras disponibles.

Figura 4. Modelo Digital de Elevación con las líneas de suelos superpuesta.



CONCLUSIONES

- Los suelos del área estudiada forman bandas que se repiten al norte y al sur de la Sierra de Bibanasí, predominando los agrupamientos correspondientes a Ferralitizados Cálcicos, seguidos de los Sialitizados Cálcicos y Fersialitizados Cálcicos, entre otros.

- La descripción tridimensional del relieve de la zona, muestra la dirección de la pendiente en el terreno, los puntos críticos y las líneas de drenaje o parte-aguas.

- El mapa de clases de pendiente obtenido permite identificar en los bloques cañeros las pendientes convexas, cóncavas y pendientes rectas o suelos llanos, lo cual posibilita la aplicación de medidas agrotécnicas adecuadas a los principios de una agricultura sostenible.

- El empleo de un Modelo Digital de Elevación permitió ajustar las líneas de suelo cartografiadas y el mapa elaborado manifestó gran coincidencia con los resultados obtenidos en la evaluación de la aptitud física de las tierras.

BIBLIOGRAFÍA

BALMASEDA, E. C., PONCE de LEÓN, D.; GONZÁLEZ, D. J. y SEGRERA, F. S. (1999), Informe Sistemas de Información Geográfica del CAI "Patria o Muerte". INICA, MINAZ, 44pp.

BORROUGH, P. A. (1986), Principles of GIS for land resourses assessment. NY. Oxford Univ. XIII, 193 pp.

CHINEA, H. A. (2002), Base digital del catastro provincial. Archivos PIMA, EPICA Matanzas.

CORTEGAZA, A. P. L.; MADAN, D. L.; CHINEA, H. A. y otros. (2001), Informe evaluación de la aptitud física de las tierras del CAI "Esteban Hernández". pp. 64.

CUELLAR, A. I.; LEON, O. M.; GÓMEZ, O. A. y otros. (2003), Caña de azúcar, paradigma de sostenibilidad. Producciones gráficas MINREX, 1: 15-23.

ILWIS Academic, ITC. Ver. 3.0 for Windows. (2001), User's Guide. Enschede, the Netherlands.

MINAG, (1985), Suelos de la provincia Matanzas. Dir. Gral. Suelos y Fertilizantes. Editorial Científico-Técnica. pp. 14-17.

MSIRI, (2000), Environment and natural resourses management. MSIRI Annual Report, pp. 55-64.

PONCE de LEÓN, D., L. BENITEZ, C. BALMASEDA y M. E. SANCHEZ. (1997), Evaluación de tierras en áreas cañeras por medio de SIG y AGRO 24. INICA, MINAZ, 37 pp.

PONCE de LEÓN, D. y BALMASEDA, E. C. (1999), El recurso suelo en el cultivo de la caña de azúcar. SERFE, INICA, MINAZ, 122 pp.

BASES PARA EL USO Y MANEJO DE LOS SUELOS PERTENECIENTES AL MINAZ EN LA PROVINCIA DE MATANZAS EN EL MARCO DE LA TAREA "ÁLVARO REYNOSO"

P. L. Cortegaza[1], A. Chinea Horta[1], A. Fernández[1], F. Hernández[1], R. González[1], H. Rodríguez[1], F. Cuadras[1], R. Sánchez[2], Leainys Madan[1], F. Morales[1], G. Barroso[1], O. Vandrell[1], A. Valdés[1] y Danay Flores[1].

1. **Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera central km 156. Jovellanos 42600. Matanzas**
2. **Grupo Empresarial Azucarero (GEA). Puente Canimar, Carretera a Varadero. Matanzas**

RESUMEN

La Tarea "Álvaro Reynoso", que actualmente desarrolla el Ministerio del Azúcar (MINAZ) en todo el país, constituye el proceso de más grandes transformaciones que ha enfrentado la agroindustria cañera cubana en el periodo revolucionario. En este marco, resulta de suma importancia el establecimiento en la provincia de Matanzas de un programa coherente, sobre bases científico técnicas sólidas, para el uso y manejo correcto del recurso suelo, atendiendo a que este es uno de los territorios que se someterá a los más profundos cambios de su entorno agrícola. En el trabajo se presentan los principales resultados de la estrategia desarrollada en esta provincia para darle respuesta a los aspectos anteriores. Los acciones de mayor trascendencia arrojaron la creación de las bases para la diversificación agraria en aquellas áreas que no se destinarán al cultivo de la caña de azúcar, a partir de la evaluación la aptitud de la tierra de toda la superficie agrícola del MINAZ (173396.70 ha) para 26 variantes de cultivos alternativos; la conformación de las bases catastrales y del uso perspectivo del suelo en las nuevas estructuras organizativas; la identificación y caracterización de los principales factores limitantes del suelo, lo que derivó en programas de mejoramiento y conservación de suelo más objetivos, dirigidos a las condiciones específicas de cada unidad de tierra en los diferentes bloques de las unidades productoras. Esto último indicó la presencia de más de 100000 ha con algún tipo de afectación, sobresaliendo por la extensión de su manifestación, la acidez, drenaje deficiente y compactación.

Palabras Claves: Suelo, evaluación, conservación, Matanzas, diversificación

BASES FOR THE USE AND MANAGEMENT OF THE LANDS BELONGING TO MINAZ IN MATANZAS PROVINCE IN THE CONTEXT OF THE "ÁLVARO REYNOSO" TASK

P. L. Cortegaza[1], A. Chinea Horta[1], A. Fernández[1], F. Hernández[1], R. González[1], H. Rodríguez[1], F. Cuadras[1], R. Sánchez[2], Leainys Madan[1], F. Morales[1], G. Barroso[1], O. Vandrell[1], A. Valdés[1] and Danay Flores[1].

1. **Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera central Km. 156. Jovellanos 42600. Matanzas. E-mail: epica@atenas.inf.cu**
2. **Grupo Empresarial Azucarero (GEA). Puente Canimar, Carretera a Varadero. Matanzas. E-mail: delegado@delegación.mt.minaz.cu**

ABSTRACT

The "Álvaro Reynoso" Task, that at this moment is developed by Sugar Ministry (MINAZ) in all cuban provinces, constitutes the process of biggest transformations that has been developed into sugar agroindustry in the revolutionary period. This way, the establishment in Matanzas province of a coherent program for the use and correct handling of the soil resource, based on solid technical and scientist elements, result of supreme importance, in attention to that it is one of the territories that will face the deepest changes in his agricultural environment. In the work, the main results of the strategy developed in this province to give answer to the previous aspects are presented. The actions more significant were concentrated on the creation of the bases for the agrarian diversification in those areas that won't be dedicated to the cultivation of the sugarcane, starting from the land evaluation of the total agricultural surface of the MINAZ (173396.70 ha) for 26 variants of alternative cultivations, the conformation of the map bases and of the promissory use of the land in the new organizational structures and the identification and characterization of the main restrictive factors of the soil, that derived in more objective programs the soil improvement and conservation that were directed to the specific conditions of each land unit in the blocks of the different sugarcane production organizations. This last it indicated the presence of more than 100000 ha that exist with some kind of affectation, standing out for the extension of their manifestation, acidity, bad drainage and compaction.

Key words: Soil, evaluation, conservation, Matanzas, diversification

BASES PARA EL USO Y MANEJO DE LOS SUELOS PERTENECIENTES AL MINAZ EN LA PROVINCIA DE MATANZAS EN EL MARCO DE LA TAREA "ÁLVARO REYNOSO"

P. L. Cortegaza[1], A. Chinea Horta[1], A. Fernández[1], F. Hernández[1], R. González[1], H. Rodríguez[1], F. Cuadras[1], R. Sánchez[2], Leainys Madan[1], F. Morales[1], G. Barroso[1], O. Vandrell[1], A. Valdés[1] y Danay Flores[1].

1 **Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera central km 156. Jovellanos 42600. Matanzas**
2 **Grupo Empresarial Azucarero (GEA). Puente Canimar, Carretera a Varadero. Matanzas**

INTRODUCCIÓN

En el año 2000 comenzó a desarrollarse en todo el país el Programa de Evaluación de la Aptitud de las Tierras dedicadas al Cultivo de la Caña de Azúcar. Este proceso respondía a la imperante necesidad que presentaba el MINAZ de conocer la aptitud física y económica de su fondo de tierra en pos de sentar las bases desde el punto de vista agrario para el proceso de reestructuración que dio comienzo en el año 2002 y que se ha identificado como Tarea "Álvaro Reynoso".

Una vez que concluyó la primera fase, donde se seleccionaron las tierras de mejor aptitud para concentrar en ellas el cultivo de la caña de azúcar y se realizó una redistribución de las áreas en nuevas empresas, se necesitaba con suma urgencia darle respuesta a varias cuestiones esenciales para garantizar el éxito del proceso, de manera que las transformaciones se desarrollaran sobre bases científico técnicas sólidas y que el recurso suelo no se viera perjudicado, fenómeno que resulta frecuente cuando se trata de cambios en su destino.

Dentro de aspectos de mayor envergadura resultaba imperativo crear las bases para la diversificación agraria en aquellas áreas que no se destinarían al cultivo de la caña de azúcar, de forma tal que se pudieran alcanzar altos potenciales en los nuevos cultivos que se implementarían; conformar, a corto plazo, las bases catastrales y de suelo de las nuevas estructuras organizativas de las empresas azucareras, mieleras y agropecuarias que emanarían del proceso de reestructuración, y que esto se tradujera para sus directivos en una correcta toma de decisiones; y por último, caracterizar y cuantificar los principales factores limitantes del suelo, de manera que fuera posible establecer un programa de mejoramiento y de conservación de suelo efectivo, dirigido a las condiciones de cada lugar y de esta forma mitigar o solucionar los procesos de degradación de los suelos que se han venido manifestando a través de los años.

En este trabajo se presentan los principales resultados de la estrategia desarrollada en la provincia de Matanzas para darle respuesta a los aspectos anteriores y el impacto de la implementación en nuestra principal agroindustria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Creación de las bases para la diversificación agraria: Se realizó la evaluación de la aptitud de las Tierras para 26 variantes de cultivos alternativos, haciendo énfasis en los de mayor arraigo y posibilidades de cultivar en el territorio, que se identificaron y caracterizaron a partir de encuestas aplicadas a los productores. El análisis principal de fundamentó en los criterios del Sistema de evaluación AGRO24 del Ministerio de la Agricultura (MINAGRI). Este sistema emplea 11 variables de suelo y clima para determinar las categorías de Aptitud de las tierras (Mesa y Mesa, 1993). Además, se utilizaron bases de conocimientos existentes en la provincia que contribuyeron mejorar la precisión del resultado. En este sentido, resultaron de mucha importancia los criterios y valores críticos aportados por la Dirección Provincial de Suelo del MINAGRI, que permitieron profundizar en el análisis y caracterización de los requisitos de los cultivos incluidos en la evaluación.

Se utilizó como fuente principal de datos el Mapa Nacional de Suelos, escala 1:25000 del MINAGRI y los perfiles asociados al mismo. Los registros de precipitaciones se tomaron de los pluviómetros ubicados en cada CAI y de las estaciones meteorológicas enclavadas en el área bajo estudio.
Para la captura de la información y las recodificaciones necesarias, se empleó el sistema automatizado PreAgro24, que facilitó la entrada de datos al sistema Agro24 y la adecuación de los resultados de la evaluación (INICA, 2000). La aptitud de los diferentes tipos de uso de la tierra se expresaron según las clases establecidas por las directivas para la evaluación de tierras en condiciones de secano (FAO, 1985) y que se presentan en la Tabla I.

Tabla I. Clases de aptitud de las tierras (FAO, 1985)

Clases	Definición
A1	Sumamente Apta
A2	Moderadamente Apta
A3	Marginalmente Apta
N	No Apta

Creación de las bases catastrales: Se utilizó como referencia la información digital de los mapas catastrales de los antiguos complejos agroindustriales (CAI) a escala 1:25000, la información socioeconómica brindada por los productores sobre sus respectivas áreas con la ayuda de encuestas, y la aptitud de la tierra para otros cultivos. Toda esta información fue procesada con la ayuda de sistemas CAD, de forma que no solo quedará establecida su estructura territorial, sino, además, los usos perspectivos de la tierra en cada empresa.

Conformación de los programas de conservación y mejoramiento de suelos: Se realizó básicamente el levantamiento de los principales factores de suelo que pueden limitar el desarrollo de los cultivos agrícolas, los cuales se caracterizaron en atención a la información descrita en el mapa nacional de suelo 1:25000. Los factores estudiados fueron los siguientes:

- Pendiente
- Pedregosidad
- Rocosidad
- Acidez
- Capacidad de Cambio Catiónico (CCC)
- Drenaje
- Compactación
- Profundidad efectiva

Una vez caracterizadas todas las áreas, se establecieron para cada bloque, las medidas de mejoramiento y conservación de forma automatizada, utilizando como referencia las indicaciones que se muestran en la Tabla II.

Tabla II. Factores limitantes de suelo y sus correspondientes medidas de conservación y/o mejoramiento (MINAGRI, 2002)

Factores limitantes	Medidas de conservación y/o mejoramiento de del suelo
Profundidad efectiva	Aplicación de materia orgánica (Compost, cachaza, ceniza), incorporación de abonos verdes
Mal drenaje	Drenaje mayor Drenaje parcelario, ingeniero o semi ingeniero en áreas de riego Drenaje parcelario elemental
Compactación	Cultivo de descompactación, aplicación de enmiendas orgánicas
Salinidad	Lavado, labores de cultivo en función de la localización y características del suelo, y aplicación de yeso.
Pendiente	Orientación de surcos, Siembra en contorno (más del 5 %)
Pedregosidad	Recogida de piedras (si es costeable, si no, no utilizar la mecanización)
Rocosidad	Recogida de obstáculos
Acidez	Encalado, enmiendas orgánicas
Bajo cambio catiónico	Adición de materia orgánica, utilización de zeolita

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de la evaluación de las tierras para los cultivos alternativos, las diferentes empresas disponen de un menú de usos de suelo a nivel de bloque, o sea, alternativas de cultivos para cada uno de los polígonos de suelos donde se inscriben los distintos bloques. Estas alternativas pueden ser utilizadas en función de sus potencialidades (que se expresan a partir de sus respectivas aptitudes) y posibilidades de mercado. En la Tabla III se muestra un ejemplo de la información resultante del proceso evaluativo.

Tabla III. Fragmento de la evaluación de tierras para cultivos alternativos (Emp. Azucarera "México").

Id_suelo	Id_Bloque	Div	%	SUELO*	Area (ha)	BONIATO	CAFÉ	CALABAZA	CITRICO	COL
3010074	301030009	1	70	PCT	38.5200	A2	N	A2	N	A2
3010030	301030009	2	30	HCT	16.5100	A2	N	A3	N	A2
3010074	301030010	1	100	PCT	97.9700	A2	N	A2	N	A2
3010028	301030013	1	50	HCT	16.1000	A3	N	A3	N	A3
3010074	301030013	2	30	PCT	9.6600	A2	N	A2	N	A2
3010026	301030013	3	20	PCP	6.4400	A2	A3	A3	A3	A2
3010074	301030017	1	100	PCT	33.5500	A2	N	A2	N	A2
3010031	301030019	1	40	PCT	14.4900	A1	A3	A2	A3	A2
3010034	301030019	2	40	PCT	14.4900	A3	N	A3	N	A3

(*) PCT: Pardo con Carbonato Típico; HCT: Húmico Carbonático Típico; PCP: Pardo con Carbonato Plastogénico

La integración de los resultados expuestos anteriormente con las bases catastrales resultantes de las nuevas 10 empresas (6 Azucareras, 2 Mieleras y 2 Agropecuarias) arrojó como resultado los mapas de uso perspectivo de la tierra, lo cual se ejemplifica en la figura 1.

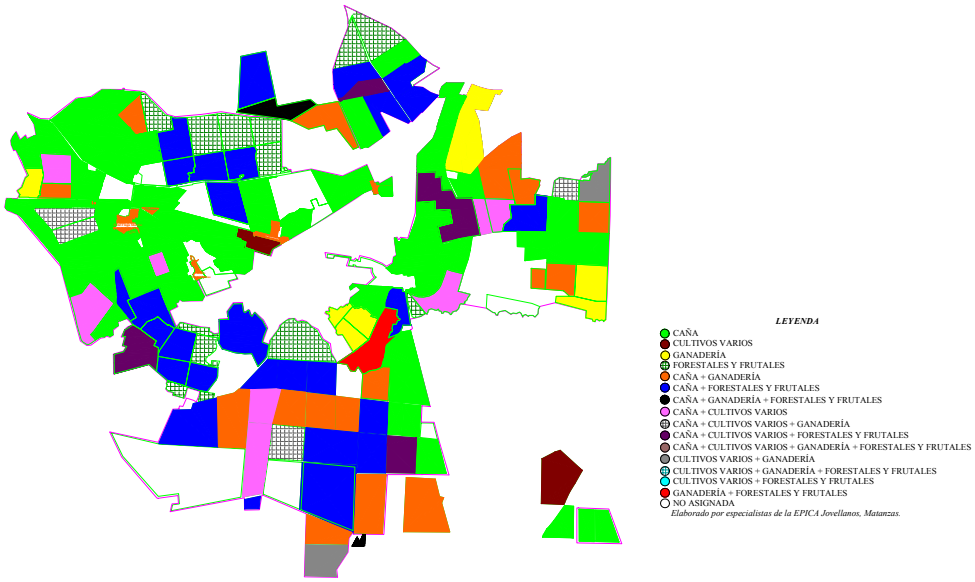


Fig. 1. Ejemplo de un mapa de la nueva estructura y uso perspectivo del suelo de una empresa (Empresa azucarera México)

Resulta importante indicar que la solución de los conflictos de uso, o sea, el cambio de los usos actuales de la tierra por los perspectivos, llevará tiempo, recursos e inteligencia por parte de directivos y productores. En la actualidad restan, aún, más del 50% de la superficie que se encuentra enmarcada en este proceso de transformaciones por iniciar las inversiones. No obstante, y es lo que resulta más significativo, a partir de este trabajo se cuenta con la bases científico-técnica para enfrentar el proceso.

La caracterización de los factores de suelo, limitativos para el cultivo de la caña de azúcar, en cada uno de los polígonos de suelo ubicados en la superficie agrícola de las empresas del MINAZ en Matanzas (173396.70 ha) arrojó que más del 60 % de la misma está afectada por algún factor, lo que significa más de 100000 ha con limitaciones, independientemente de la intensidad y magnitud de cómo se manifiesten. Dentro de los factores que se destacan por su extensión se encuentran: presencia de acidez, mal drenaje y compactación, en ese orden (ver figura 2).

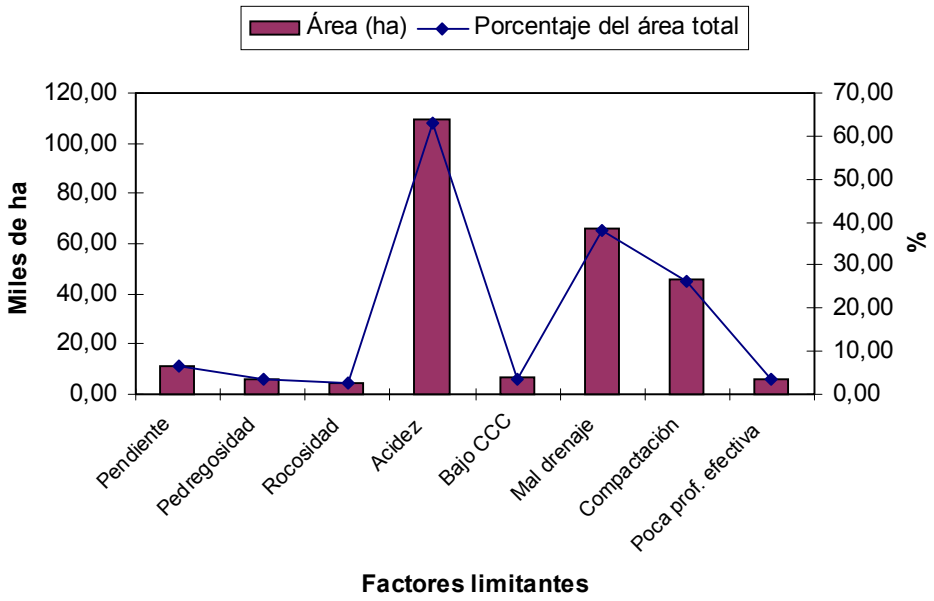


Fig. 2. Superficie con limitantes de suelo para los cultivos agrícolas en el área perteneciente al MINAZ en la provincia de Matanzas

Lo anterior permitió trazar un programa de conservación y mejoramiento de suelo más efectivo en cada unidad de producción, que respondiera a las afectaciones identificadas en cada polígono de suelo. En este sentido, desde mediados del año 2002 se comenzaron a realizar las primeras labores y ya existen empresas, como por ejemplo, España Republicana donde sus unidades disponen y han aplicado algunas cantidades de compost, producidas por la propia empresa. Estas acciones resultan realmente alentadoras si se compara con años anteriores (principalmente los más difíciles del periodo especial), donde hablar de medidas de conservación y producción de abonos orgánicos en las entidades del MINAZ resultaban verdaderas utopías.
En la Tabla IV se presenta un ejemplo de resumen del plan de mejoramiento y conservación de una empresa azucarera hasta el año 2010 y la marcha de su ejecución hasta julio del 2003.

Cuadro IV. Ejemplo de los planes consolidados desarrollados a nivel de empresa para el manejo y conservación del suelo (Empresa Azucarera Mario Muñoz).

ACTIVIDAD	ÁREA (M ha)		PLAN POR AÑO (M ha)			
	Afectadas	Beneficiadas	2003	2004	2005	2006/10
Aplicación de cachaza						
Aplicación de compost	5.4660		0.0156	0.7017	0.8136	3.9351
Aplicación de materia orgánica	5.4660		0.0156	0.7017	0.8136	3.9351
Drenaje parcelario ingeniero				0.0671	0.0671	
Drenaje parcelario semi ingeniero	3.0785	0.6064	0.1586	0.6441	0.9936	3.2642
Drenaje elemental	3.6063	3.6063	2.3708	2.2531	2.3352	4.7661
Nivelación			0.1586	0.6441	0.9936	3.2642
Construcción de canales (km)						

ACTIVIDAD	ÁREA (M ha)		PLAN POR AÑO (M ha)			
	Afectadas	Beneficiadas	2003	2004	2005	2006/10
Reconstrucción de canales (km)	0.3665	0.0180	0.0050	0.0695	0.0460	0.3155
Subsolación						
Rectificación ríos y arroyos (km)	0.0388	0.0102		0.0100	0.0100	0.0086
Construcción de viales (km)				0.0191	0.0158	0.0320
Cultivo de descompactación	3.6724	1.2456	1.2145	1.2677	1.1122	2.2140
Laboreo mínimo	3.4095		0.6154	0.5678	1.1159	1.2813
Cultivo profundo	2.5718	0.4405	0.8859	0.8418	0.8419	1.1628
Enyesado						
Lavado de suelo						
Siembra en contorno						
Recogida de obstáculos	5.3700	0.7240	1.2848	1.3942	1.3095	2.3592
Encalado	0.5997					0.5997
Aplicación de zeolita						
Cobertura de paja						
Otras labores						

CONCLUSIONES

1. A partir del trabajo desarrollado fue posible crear las bases científico-técnicas para la diversificación agraria en aquellas áreas que no se destinarán al cultivo de la caña de azúcar, ya que se dispone de la aptitud de la superficie agrícola del MINAZ (173396.70 ha) para 26 variantes de cultivos alternativos, en sus diferentes categorías.
2. Las bases para diversificación, en manos de los productores, permiten que éstos dispongan de un menú de usos del suelo que les posibilita realizar la selección de los de mayores perspectivas para sus tierras.
3. La estrategia mantenida desde el comienzo de la Tarea "Álvaro Reynoso" permitió la creación de las bases catastrales y de uso perspectivo del suelo de las nuevas estructuras organizativas de las empresas azucareras, mieleras y agropecuarias en un mínimo lapso de tiempo.
4. La evaluación de los principales factores limitantes del suelo posibilitó identificarlos y caracterizarlos, lo que derivó en programas de mejoramientos y conservación del suelo más objetivos, dirigidos a las condiciones específicas de cada polígono de suelo en los diferentes bloques de las unidades productoras.
5. Los factores limitantes de suelo más extendidos en el área agrícola del MINAZ en la provincia de Matanzas resultaron ser la acidez, drenaje deficiente y compactación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INICA (2000), PreAgro24. Programa para la preparación de datos de entrada al AGRO24. Grupo de Evaluación de Tierras, INICA.
- MESA, A., A. MESA (1993), AGRO24. Sistema para el cálculo del potencial productivo de los suelos. Versión 4.0. Agrosoft, CNSF. MINAG.
- MINAGRI (2002), Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelo. 38 pp
- FAO (1985) Directivas: evaluación de tierras para la agricultura en secano. Roma. Boletín No. 52. pp. 168-170.

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE DOS NUEVAS VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR OBTENIDAS EN CAMAGÜEY, EVALUADAS EN CUATRO ZONAS AGROECOLÓGICAS DE LA PROVINCIA.

F. Valladares, J.Vallina, F. de Prada, I. Torres, J. Montalván.

***Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Camagüey. Florida CP 72810, Camagüey Cuba. E – Mail fvalladares@epica.cm.minaz.cu**

RESUMEN

Para la determinación del comportamiento agroazucarero de 28 nuevos genotipos de caña de azúcar procedentes de las selecciones de los años 1988 y 1989, se evaluaron cuatro estudios de campo ubicados en otras tantas localidades de la provincia, en un período que abarca desde 1997 hasta abril del año 2001. El análisis de las variables t caña/ha, porcentaje de pol en caña y t pol/ha, particularizan el potencial agroproductivo de los genotipos C 88-356 y C 89-372. Por su alto rendimiento agrícola y aceptable contenido azucarero presentan características adecuadas para su extensión. La dinámica de pol en caña las definen como variedades de madurez media a tardía, de aquí la conveniencia de su utilización en el ciclo de frío. Con la finalidad de determinar el efecto de los componentes de varianza, en la expresión de las variables de cosecha, se utilizaron los datos de las dos variedades más destacadas, estudiadas en las localidades de Florida y Cándido González, durante dos cepas, utilizando para ello el análisis de varianza factorial. De manera general se observó la clara influencia de la localidad en la variación fenotípica total en los caracteres evaluados, lo que se corresponde con la particular diferencia de los suelos en cada región.

Palabras claves: caña de azúcar, variedades, genotipo-ambiente

ANALYSIS OF THE PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF TWO NEW OBTAINED VARIETIES OF CANE OF SUGAR IN CAMAGÜEY, EVALUATED IN FOUR AREAS AGROECOLÓGICAL OF THE COUNTRY.

SUMMARY

For the determination of the behavior farm- industrial of 28 new genotips of cane of sugar coming from the selections of the years 1988 and 1989, four field studies were evaluated located in other so many towns of the county, in one period that embraces from 1997 until April of the year 2001. The analysis of the variable t cane/ha, pol percent in cane and t pol/ha, they particularize the potential farm-indusry of the genotipos C 88-356 and C 89-372. For their high yield agricultural and good sugar content they present appropriate characteristics for their extension. The pol dynamics in cane defines them as varieties of half maturity to late, of here the convenience of its use in the cycle of cold. With the purpose of determining the effect of the variance components, in the expression of the crop variables, the data of the two more outstanding varieties were used, studied in the towns of Florida and Cándido González, during two stumps, using for it the analysis of factorial variance. In a general way the white was observed it

influences of the town in the variation total fenotípical in the evaluated characters, what belongs together with the matter differs of the soil in each region.

Keywords: **sugarcane, varieties, genotype-environment**

INTRODUCCION

La sistemática incorporación de nuevas variedades de caña de azúcar de alto potencial agroazucarero, con capacidad para adaptarse a ambientes específicos, en reemplazo de otras que durante su período de explotación comercial han sufrido no sólo una gradual depresión de sus rendimientos, sino también el deterioro de sus capacidades de reacción ante las principales enfermedades, constituye uno de los pilares donde se sustenta la permanencia actual y futura de la industria azucarera cubana, sobre todo si consideramos que las actuales condiciones económicas no favorecen en modo alguno la inversión de grandes recursos en este sector.

Este incremento en la productividad, plantea la necesidad de contar con genotipos adecuados para cada exigencia particular, de aquí la importancia de un programa de mejoramiento bien fundamentado; que en la actualidad se acepta como una tecnología de positiva influencia en la rentabilidad de la producción azucarera (Cuenya, 1994 y Matsuoka et al., 1995).

El proceso de selección vigente que aplica el INICA, contempla entre sus etapas finales, la siembra anual de ensayos en varias localidades representativas del área cañera en cada provincia (MINAZ-INICA, 2002). Las series en estudio son evaluadas generalmente durante dos o tres cosechas; esta información complementada con los resultados que aportan las pruebas específicas frente a las principales enfermedades, definen su inclusión en la fase de extensión y validación comercial.

Para cumplir con los requerimientos exigidos, se emprendió el estudio de las selecciones correspondientes a los años 1988 y 1989, en cuatro localidades de la provincia de Camagüey, con el objetivo de conocer cuales de estas variedades resultaban destacadas a través de zonas agroclimáticas y cepas evaluadas.

Un objetivo adicional del trabajo, lo constituyó el análisis de la influencia de los factores ambientales en el comportamiento de estas nuevas variedades, en los únicos bloques experimentales vigentes de nuestra provincia. En tal sentido, fue nuestra intención, reafirmar una vez más la particular importancia de las localidades como causa de variación, toda vez que se ha producido una drástica disminución de los lugares de prueba, quedando excluidas de esta red de ensayos importantes categorías de suelos cañeros.

MATERIALES Y METODOS

El largo y costoso proceso de selección de nuevas variedades de caña de azúcar, exige en su última etapa, que los nuevos genotipos sean estudiados en condiciones edafoclimáticas diferentes. Ello tiene como propósito, la evaluación de las características agroazucareras de los individuos promisorios en distintas situaciones agroecológicas. Es por esto, que los ensayos utilizados en el trabajo se montaron en cuatro localidades cañeras de la provincia: Sierra de Cubitas, Cándido González, Panamá y en áreas de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Camagüey, caracterizados por los tipos de suelos que a continuación señalamos siguiendo el orden anterior: Oscuros plásticos gleyzados, Ferralíticos amarillentos y Pardos con carbonatos en las dos últimas regiones (Hernández et al., 1975).

Se estudiaron un total de 28 genotipos procedentes de las selecciones de los años 1988 y 1989, incluyendo como controles a las variedades: Ja60-5, C87-51.

La relación de estudios por localidad, fecha de plantación y cosecha, así como las edades y cepas evaluadas, se resumen en el siguiente cuadro:

Localidad	Plantación	Cosecha	Edad	Cepa
EPICA Camg.	Sep./97	Ene./99 Mar/00 Abr/01	16 14 13	Planta 1Ret 2Ret.
C. González.	Sep/97	Feb/99 Abril/00	17 14	Planta 1Ret.
Panamá	Abril/98	Dic/99	20	Planta
S. Cubitas	Sep/98	Feb/00	17	Planta

Los estudios se sembraron como bloques al azar con tres réplicas. Cada parcela quedó conformada por cuatro surcos de 7.5 m de largo y distancia de camellón de 1.6m.

El rendimiento agrícola expresado en toneladas de caña por hectárea, se obtuvo por pesaje directo de los tallos, los que se cortaron verdes. Para el cálculo del porcentaje de pol en caña se tomaron 10 tallos al azar de cada parcela una semana antes de la cosecha. La variable toneladas de pol por hectárea se halló por multiplicación directa de ambos factores.

La información procedente de cada estudio, se procesó de forma independiente según análisis de varianzas de doble clasificación, comparando las medias por la prueba de rango múltiple de Duncan; para ello se utilizó el programa SPSS/PC (2002). Queremos significar que el análisis de los resultados se centra sólo en las variedades C88-356 y C89-372, dado el destacado comportamiento que presentaron en todas las localidades y cepas estudiadas.

Las curvas de maduración de los genotipos antes citados y de los testigos Ja60-5 y C87-51, se obtuvieron por medio del programa de ajuste de curvas Curve Expert (1997). Con el fin de medir el efecto de los componentes del ambiente sobre los nuevos genotipos, se utilizó un análisis de varianza factorial para el tratamiento de la información procedente de los estudios ubicados en áreas de la EPICA de Camagüey y de la Empresa Cañera Cándido González, donde se consideró como un tercer factor a la cepa; en este análisis se descartaron el resto de las localidades, por contar sólo con las evaluaciones de caña planta.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados derivados de los análisis de varianza y las necesarias pruebas de comparación de medias de todo el material en estudio muestra que dos de estos genotipos: C88-356 y C89-372, se destacan por sus notables rendimientos agrícolas (Fig. 1).

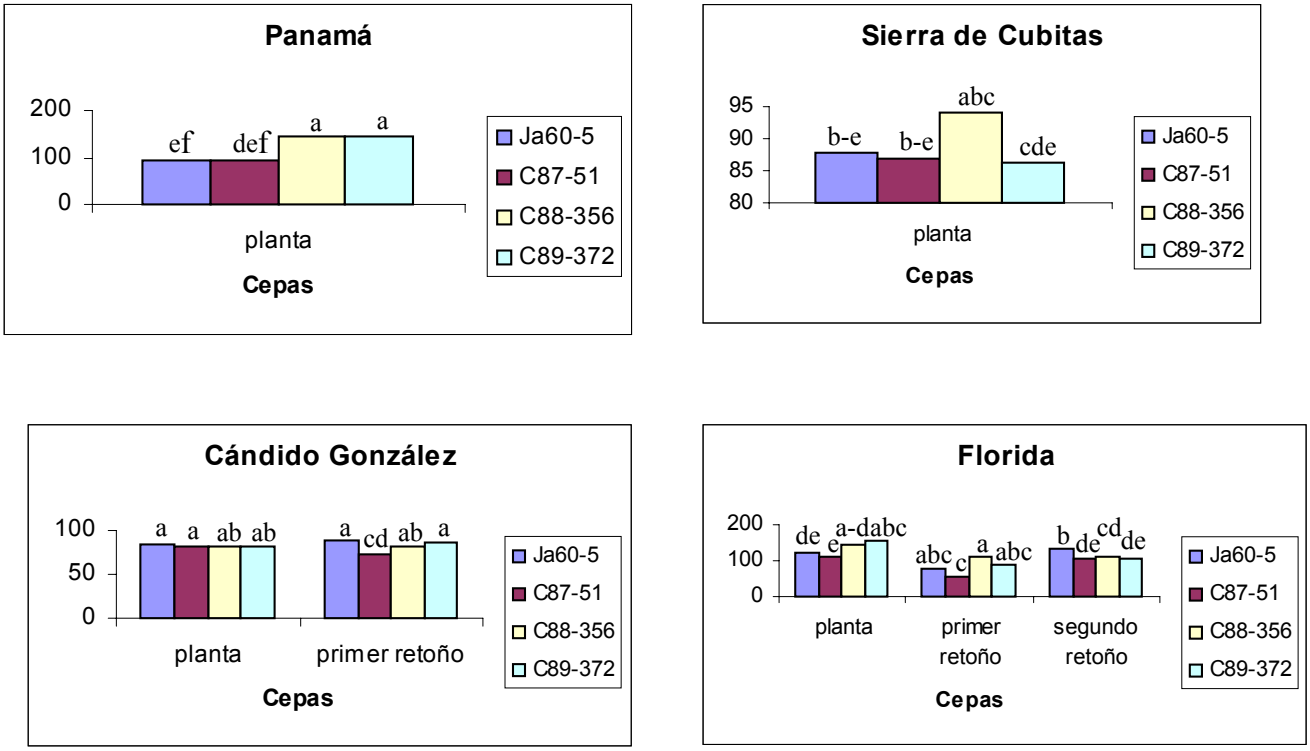


Fig. 1: Comportamiento del rendimiento agrícola (T de caña /ha) alcanzado por las nuevas variedades C88-356 y C89-372, En cuatro zonas agroecológicas de la provincia de Camagüey. Valores en una misma gráfica sin letras comunes difieren estadísticamente (P<0.01)

Estas variedades alcanzan producciones de caña, que en todas las localidades y años estudiados resultan al menos estadísticamente igual a uno de los testigos. Sobresalen los rendimientos obtenidos en áreas del bloque experimental de la Empresa Panamá y de la EPICA de Camagüey, particularmente en la cepa de caña planta.

Los estimados del porcentaje de pol en caña (Fig. 2), permiten apreciar que sólo en la Empresa "Candido González" en la cepa de planta, la variedad C88-356 resultó significativamente inferior al testigo Ja 60-5; en el resto de las zonas y cepas considerados, no se encontraron diferencias estadísticas.

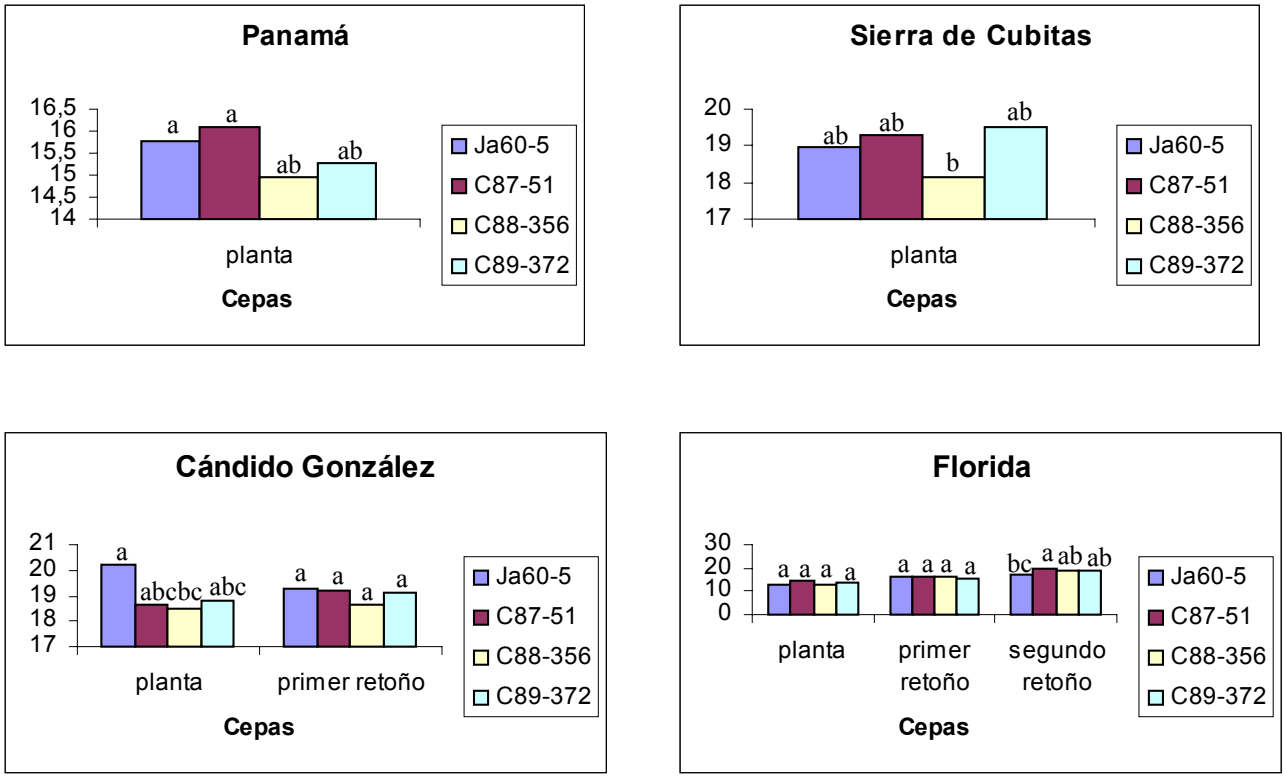


Fig. 2 Comportamiento del porcentaje de pol en caña alcanzado por las nuevas variedades C88-356 y C89-372 en cuatro zonas agroecológicas de la provincia de Camagüey.

Las medias correspondientes a las toneladas de pol por hectárea y sus respectivos niveles de significación, se resumen en la Figura 3.

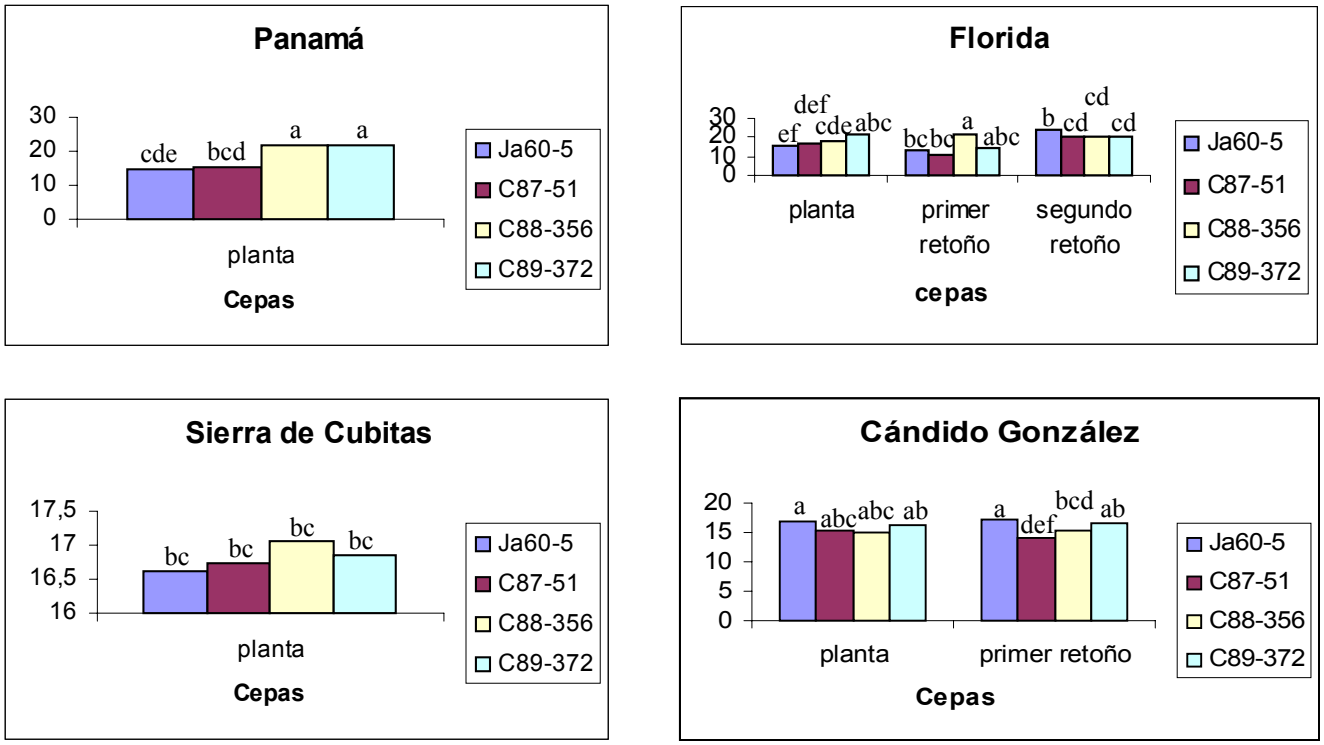
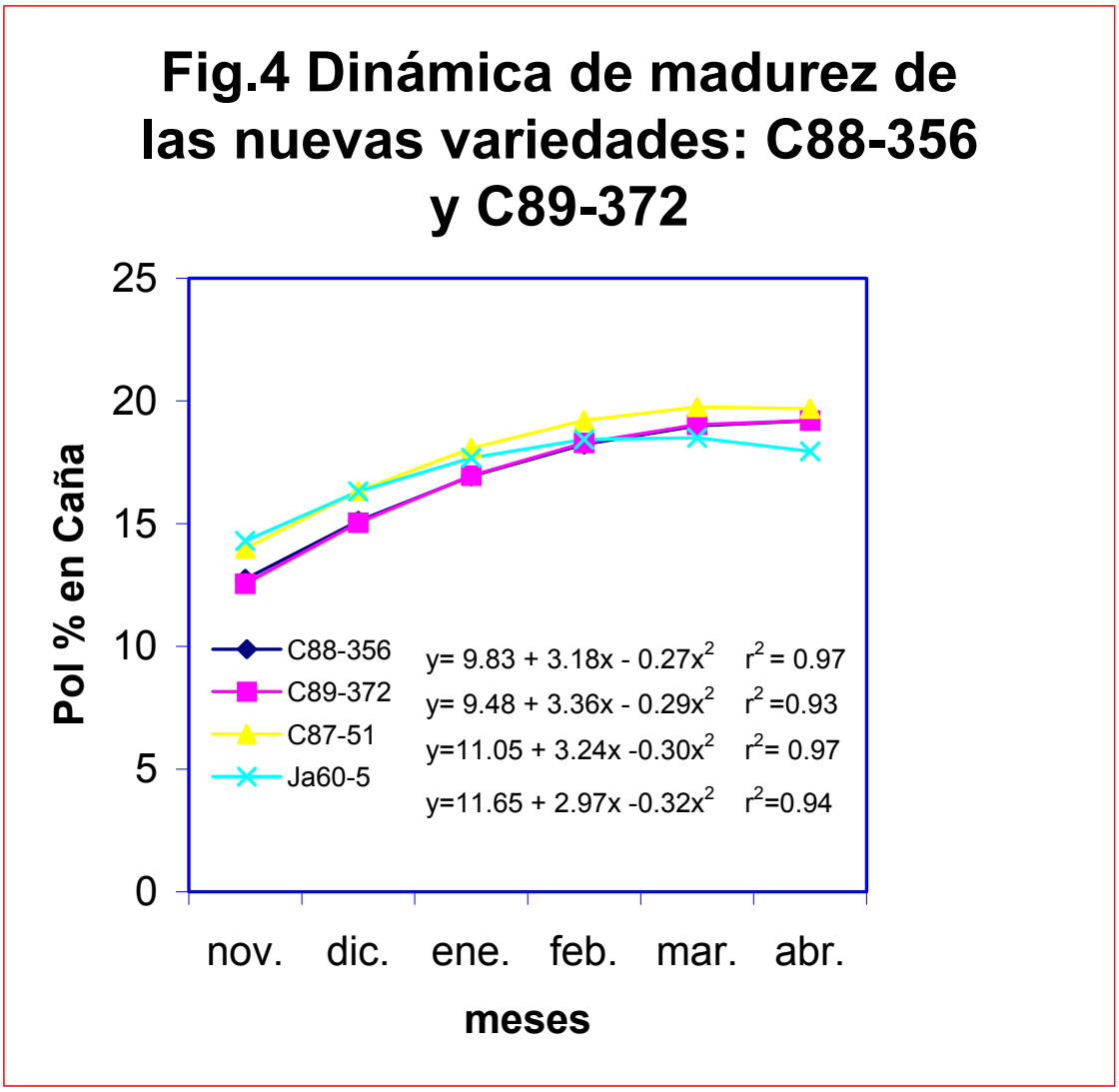


Fig. 3: Comportamiento de las toneladas de pol por hectáreas alcanzado por las nuevas variedades C88-356 y C89-372 en cuatro zonas agroecológicas de la provincia Camagüey.

Se observan los buenos registros alcanzados por estas dos variedades en las áreas de la EPICA de Camagüey y de Panamá, donde resultan de modo general significativamente superiores a los testigos ($p<0.01$), o de similar comportamiento.
Es necesario destacar además, que las variedades C 88-356 y C 89-372 se caracterizan por su buena brotación, cierre de campo temprano y densidad poblacional por metro lineal que oscila entre 10-12 tallos, cifras estas que no pocas veces superan. La calidad interna de sus tallos es muy buena, y no florecen en las condiciones propias de las localidades consideradas en los estudios. Difieren en cuanto al hábito de crecimiento y despaje: la primera se distingue por su porte erecto y autodespaje, mientras la segunda crece oblicuamente y presenta un despaje regular.
La madurez es de media a tardía (Fig. 4), por lo que resultaría particularmente ventajoso utilizarlas como cañas de frío, cosechándolas entre los meses de febrero y marzo donde alcanzan su óptimo potencial.



El comportamiento fitosanitario de estas dos variedades resulta alentador. En las pruebas estatales, la variedad C88-356 se muestra resistente al carbón (Ustilago scitaminea H. Sydow), mientras que la C89-372 resulta intermedia. Frente a Xanthomonas albilineans (Ashby) Dowson, patógeno de la escaldadura de la hoja, se destacan por su probada resistencia. Por otra parte, ante la roya (Puccinia melanocephala H. y P. Sydow), reaccionan como moderadamente resistente. En condiciones naturales no se han visto afectados por estas u otras enfermedades.

En la Tabla I aparecen los resultados del análisis de varianza factorial para los caracteres evaluados en estos dos genotipos y en los testigos utilizados.

Tabla I: Valores de las fuentes de variación obtenidas del ANOVA factorial, expresadas como estimados del cuadrado medio y su porcentaje de aportación.

Fuente de variación	Ton caña/ha	Sig.	%	% de pol en caña	Sig.	%	T pol/ha	Sig.	%
Variedad (V)	1527.93	***	4.95	2.75	*	1.05	15.91	**	8.75
Localidad (L)	15525.28	***	40.55	194.21	***	74.61	27.54	**	15.14
V x L	1939.72	***	6.28	1.51	NS	0.58	42.95	***	23.62
Cepa (C)	7625.5	***	24.69	26.59	***	10.22	28.95	**	15.92
V x C	371.27	*	1.20	0.72	NS	0.28	16.10	**	8.85
L x C	6437.12	***	28.84	31.02	***	11.92	22.82	**	12.55
V x L x C	351.85	*	1.14	2.31	*	0.88	21.63	**	11.89
Replicas	15.0	NS	-	0.45	NS	-	2.93	NS	-
Error	91.63	-	-	0.71	-	-	2.97	-	-
X ± E. S	94.31±1.38			16.86 ± 0.12			15.36 ± 0.25		
CV (%)	10.15			5.00			11.22		

- *** Significativo al nivel de probabilidad de 0.05.**
- **** Significativo al nivel de probabilidad de 0.01.**
- ***** Significativo al nivel de probabilidad de 0.001**

Se aprecia que el efecto de las localidades y las cepas resultó muy importante en la expresión de las variables en estudio, por lo que influyen de manera directa en la varianza ambiental. La acción conjunta de ambos fue altamente significativa para las variables de cosecha, demostrando además la importante contribución del ambiente a la variación fenotípica total de este cultivo, lo que concuerda con resultados similares reportados por Bernal et al. (1984 y 1988), González et al.(1988) y Jorge et al. (1996).

La variación debida a la interacción variedad x localidad, resultó significativa para las toneladas de caña/ha y toneladas pol/ha, lo que indica el diferente comportamiento de los genotipos para estos caracteres en las localidades seleccionadas. Se observaron además, diferencias significativas en la interacción variedad x cepa en las mismas variables, mostrando con ello una variación de las condiciones ambientales durante el período.

Por otra parte, la interacción de segundo orden: variedad x localidad x cepa, significativa para los tres caracteres en estudio, sugiere la necesidad de evaluar las nuevas variedades en diferentes ambientes

En sentido general, podemos decir, que la localidad como parte del ambiente, representó la causa de variación más importante. La cepa y la interacción localidad x cepa, representaron también componentes importantes. De aquí el imprescindible mantenimiento de las localidades de pruebas establecidas en nuestra provincia.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de los análisis biométricos, se pueden relacionar las siguientes conclusiones de carácter general:

- **Las nuevas variedades C 88-356 y C 89-372 alcanzan notable rendimiento agrícola y aceptable contenido azucarero, en todas las localidades donde se evaluaron.**
- **El comportamiento fitosanitario de estas variedades bajo las condiciones específicas de infección provocada, resulta muy alentador en nuestra provincia, donde enfermedades como la escaldadura de la hoja, han obligado a la prematura sustitución de nuevas variedades que se encontraban en fase de explotación comercial.**

- **Los factores del ambiente constituyeron la proporción más grande de la varianza fenotípica total en los tres caracteres evaluados, lo que corrobora el uso de experimentos de variedades en zonas cañeras que difieran sobre todo en suelo y clima.**

RECOMENDACIONES

- **Por sus promisorios resultados, las variedades C 88-356 y C 89-372 deben pasar a la fase de extensión y validación comercial.**
- **En plantaciones de frío estas variedades resultan muy apropiadas en aquellas regiones cañeras de rendimientos deprimidos, donde el límite productivo de 54 ton/ha, resultara inalcanzable con las variedades que mantienen en explotación.**
- **Deben evaluarse como primaveras quedadas en un número mayor de localidades, considerando la importancia de este ciclo en las condiciones particulares de nuestro país.**

- **La gran influencia del ambiente en comparación con la discreta variación aportada por los genotipos, recomienda el adecuado mantenimiento de los bloques experimentales actuales, sin descartar la ampliación de esta red de ensayos dentro de límites técnicos y económicos razonables.**

REFERENCIA

1. **Bernal, L. N., S. Castro, J. M. Mesa y P.P. Leal (1988). Resultados de la variedad C 1324-74 en cinco zonas agroclimáticas cañeras 45 Cong. ATAC. Tomo III: p.83-98.**
2. **Bernal, L.N., E. López y L. Guardarrama. (1984). Interacción genotipo ambiente en caña de azúcar (Saccharum spp.Hibrido) en tres localidades de la provincia de matanzas 44 Cong. ATAC. p. 105-116.**
3. **Cuenya, M.I. (1994) Mejeramiento de la calidad industrial de la caña de azúcar. Problemática actual y perspectivas futuras. Avance Agroindustrial. Año 14. No. 57: 19-22.**
4. **Curve Expert (1997) . Versión 1.34.**
5. **González, M.A., O. Peña y M. Guerra (1988) . Comportamiento agroproductivo de las variedades del año 1975 en la provincia de Las Tunas. II Estimación de la interacción genotipo ambiente. 45 Cong. ATAC. Tomo III: p. 72-82.**
6. **Hernández, A. (1975). Segunda clasificación genética de los suelos de Cuba. Rev. Agricultura 13 (1) : 44-49.**
7. **Jorge, S. H., H. García, V. González, Z. Fernández-Vega y R. Díaz (1996). Interacción genotipo-ambiente en variedades de caña de azúcar en Cienfuegos, comparación de métodos para la estimación de la estabilidad. Rev. ATAC 1-96: 34-42.**
8. **Matsuoka, S., H. Arizono, A. I. Bassinello, A.C.A. Gheller, H. P.Hoffmann é Masuda (1995) . Variedades super precuces de cana de Açucar Acool & Açucar 78:22-30.**
9. **MINAZ-INICA (2002). Normas y Procedimientos del Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar. La Habana, 98-140 p.**
10. **SPSS/PC For windows (2002). Versión 8.0**

LA EFICIENCIA DE LA SELECCIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR Y LA CALIDAD DEL AMBIENTE

THE EFFICIENCY OF THE SELECTION IN SUGARCANE AND THE QUALITY OF ENVIROMENTS

Héctor García, Héctor Jorge, Yandy Esteves, Ibis Jorge y José M. Mesa

Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
Carretera CAI Martínez Prieto Km 2 ½. Edificio IPROYAZ, Boyeros, CP19310.
Ciudad de la Habana. Cuba e-mail: hectorgp@inica.edu.cu

RESUMEN

El proceso de reordenamiento de la agroindustria azucarera cubana está sustentado en que la producción de la caña se materialice en los suelos de mayor aptitud física, no obstante existen zonas dentro de esas categorías que presentan estrés abiótico por drenaje excesivo (29%) ó por sobrehumedecimiento (24%) por tanto la obtención de nuevas variedades tolerantes a tales condiciones juega un papel importante. En estudios de selección realizados bajo diferentes grados de estrés ambiental se corroboró que en los ambientes más restringidos se acentúan marcadamente los parámetros genético-estadísticos, lo que hace que la eficiencia de la selección sea superior en los mismos, justificando que la selección se efectué en éstos y no en ambientes favorables como comúnmente se realiza.

Palabras claves: selección, estrés ambiental, parámetros genéticos

ABSTRACT

Cuban sugar Agro-industry is in noteworthy evolution sustained in that the cane production must be carried out just on the soils classified as highest by its physical aptitudes. Nevertheless, inside it classification there are areas displaying abiotic stresses by drought (29%) and bad draining (24%), in this way, production of tolerant varieties to both abiotic stresses is a crucial point for genetics. In selection studies made under different abiotic stress were corroborated that in restrict environments, genetic-statistic parameters were significatively increased, indicating that the selection efficiency will be highest which justify the use of its stress environments for an efficient selection.

Key Words: selection, environment stress, genetic-parameter

1. INTRODUCCIÓN

En los momentos actuales a pesar de la depresión que en el mercado internacional han experimentado los precios del azúcar, la industria azucarera continuará constituyendo un peso importante en la economía cubana, estimándose que su aporte represente aproximadamente 40% de las exportaciones del país (Varela, 2002).

A pesar del reordenamiento de las áreas destinadas para la producción de caña, aún no podrá prescindirse de áreas con limitaciones para el cultivo. Según los resultados de la Evaluación de la Aptitud Física de la tierra del MINAZ (Villegas y col., 2003), entre los suelos aptos, 29,8% potencialmente pueden presentar estrés por déficit hídrico, a causa de su excesivo drenaje. Por otra parte el estrés por deficiente drenaje puede presentarse en 24,3% de esta área. Ante tales limitaciones una de las soluciones más prácticas y económicas lo constituye la obtención de genotipos con cierto grado de tolerancia a estas condiciones de estrés.

En Cuba con la ejecución durante el período 1996 – 2000 de dos proyectos de investigación se dieron los primeros pasos en la concepción de programas de mejoramiento específicos de obtención de variedades para condiciones de estrés por sobrehumedecimiento (Ojeda, 1999) e hidrosalino (Cruz, 2000). A pesar de los resultados alcanzados aún permanecen muchos aspectos por resolver.

El Programa de Mejora cubano para la obtención de variedades comerciales, no está concebido para dar respuesta a la problemática formulada anteriormente, puesto que de los cinco sitios donde se lleva a cabo el proceso completo de estudio y selección del material obtenido (Jorge y Jorge, 2003), solo dos poseen características suelo-climáticas que asemejan las condiciones de estrés ambiental referidas. Entre los mejoradotes de plantas aún existe controversia sobre cuál debe ser el mejor ambiente de selección. Sobre este punto existen dos grandes corrientes de opinión: la primera establece que el mejor ambiente es el que proporciona a las plantas las condiciones óptimas para expresar al máximo su potencial genético mientras que la segunda sostiene que aquellos genotipos que respondan bien a condiciones desfavorables lo harán mejor en condiciones favorables. En este trabajo se planteó como objetivo principal estudiar la influencia del ambiente sobre la estimación de algunos parámetros genéticos, con vistas aportar mayores elementos que permitan el perfeccionamiento del programa de obtención de nuevas variedades.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios se desarrollaron durante el período comprendido entre enero de 1998 y marzo del 2001, en áreas experimentales de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara - Cienfuegos y en cuatro Unidades Productoras de Caña de la Empresa Azucarera Guillermo Moncada de la provincia Cienfuegos; representativos estos sitios del macizo cañero de la región central del país y caracterizados por presentar diferentes grados de estrés ambiental.

En total fueron utilizados cinco sitios de prueba con cinco tipos de suelo, según la Segunda Clasificación Genética de los suelos cubanos (Hernández y col., 1975) y dos condiciones de estrés ambiental (déficit hídrico y drenaje deficiente). La selección de los sitios se realizó teniendo en cuenta que el estrés ambiental, es la consecuencia de la acción combinada de un grupo de factores que involucran al suelo y las condiciones climáticas, con una marcada repercusión en los rendimientos del cultivo. Con la finalidad de referenciar las afectaciones que sobre el rendimiento producen las condiciones de estrés ambiental objeto de estudio se seleccionó una localidad patrón sin esas características.

Se estudió una población de 12 cruces biparentales de la serie 1991, representativos del Programa de Mejoramiento Genético cubano con fines comerciales, según el diseño genético – estadístico Biparental, el tamaño de la parcela fue de 3,2 m^2 (2,0 m x 1,6 m), con 40 individuos por combinación, que se distribuyeron en el campo en bloques completamente al azar.
Se estimación los parámetros genéticos – estadísticos de los caracteres brix refractométrico (BR), número de tallos (NT), altura (ALT) y diámetro (DIA), mediante el análisis de las cosechas individuales de cada localidad y cepa, a través del modelo de clasificación simple de efecto balanceado aleatorio de Kempthorne, (1952). Estos parámetros se relacionaron con la calidad del ambiente, que se evaluó mediante el rendimiento relativo, a través de la expresión:

$$\text{Rendimiento relativo} = \frac{RA}{RAMP}$$

Donde:

RA. Rendimiento del ambiente
RAMP. Rendimiento del ambiente de mayor promedio

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para todos los caracteres estudiados pudo apreciarse que en los ambientes más restringidos se acentuaron marcadamente los parámetros genético – estadísticos corroborarse a través de los modelos encontrados (Figura 3), lo que hace que la eficiencia de la selección sea superior en los mismos, ello justifica que la selección de individuos para ambientes limitados por los diferentes estrés ambientales, sea realizada en esos propios ambientes y no ambientes favorables. Estos resultados guardan cierta correspondencia con los reportados por Atlin y Frey, (1990); Ud-Din *y col.,* (1992); Martínez y López 2002 y Suebo y Edelbanes, (2002), en cultivos como la Avena, Trigo y Cebada respectivamente.

ESTUDIO DE POBLACIONES CLONALES Y GENOTIPOS DE CAÑA DE AZÚCAR (SACCHARUM SPP.) EN CUBA BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS POR SEQUÍA

STUDY OF CLONALLY POPULATIONS AND SUGARCANE (SACCHARUM SPP.) GENOTYPES UNDER DROUGHT STRESS IN CUBA

Héctor Jorge Suárez, Héctor García Pérez, Ibis Jorge Gómez y José M. Mesa López

Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera CAI Martínez Prieto Km 2 ½. Edificio IPROYAZ, Boyeros, CP19310. Ciudad de la Habana
hector@inica.edu.cu

Resumen

El estudio fue realizado con el propósito de analizar el comportamiento y la respuesta de un grupo de combinaciones y genotipos en condiciones de sequía en la región central de Cuba. Fueron evaluadas dos poblaciones clonales de la selección de 1991 y 16 cultivares en cuatro localidades, mediante ocho experimentos con 16 cosechas, en el período de febrero de 1998 y marzo del 2001. Se estimaron parámetros genético-estadísticos a través de los Diseños Biparental y Carolina del Norte I, también se caracterizaron los ambientes de prueba para los estudios de selección de variedades bajo estas condiciones. En las poblaciones clonales existió un predominio del efecto ambiental, lo que justifica la necesidad de replicar en tiempo y espacio los estudios. El brix refractométrico y el diámetro fueron los caracteres de mayor variabilidad genética, expresada por el peso relativo de la varianza genética y los estimados de heredabilidad. La combinación C137-81 x C120-78 fue la de mejor comportamiento y los genotipos C89-161 y C89-176 resultaron los de mayor estabilidad fenotípica.

Abstract

To analyze the genetic responses in both parent combinations and sugarcane genotypes under drought stress present study was carry out in the central region of Cuba. Two clonally populations from 1991 'selection and 16 genotypes were evaluated in fourth localities (mediated eight experiments including 16 harvests) during February 1998-March 2001 period. By biparental and North Carolina designs, statistics-genetic parameters were estimated; environment' tests for selection studies were also characterized under its conditions. A prevalence of the environmental effect was demonstrated in clonally populations, justifying that the studies must be replicated in both time and space. Refractometric brix and diameter were the traits showing the largest genetic variability expressed by the relative weight of the genetic variances and the heritability estimated. C137-81 x C120-78 parent combination shows the best performance, as well genotypes C89-161 and C89-176 reveal the high phenotypic stability.

Palabras Claves: genotipo, estrés, ambiente

Key Words: genotypes, stress, environment

1. INTRODUCCIÓN

En los momentos actuales a pesar de la depresión que en el mercado internacional han experimentado los precios del azúcar, la industria azucarera continuará constituyendo un peso importante en la economía cubana, estimándose que su aporte represente aproximadamente 40% de las exportaciones del país (Varela, 2002).

Para alcanzar tales propósitos el Ministerio del Azúcar (MINAZ) se encuentra inmerso en un profundo proceso de reordenamiento (Tarea Álvaro Reynoso) con vista a disminuir los costos y hacer más competitiva su industria.

Este proceso tiene como base la evaluación de la aptitud física de las tierras, disponiéndose que en todas las regiones cañeras del país la producción de caña esté sustentada en los suelos de mayor categoría (Aptos (A1) y Moderadamente Aptos (A2)), no obstante aún no podrá prescindirse de áreas con limitaciones para el cultivo.

Generalmente en la agricultura, las plantas están sometidas de una u otra forma a estrés y la habilidad de resistirlo tiene gran importancia económica (De Armas y otros, 1988), de hecho muchos problemas agrícolas se deben a que tierras buenas existen en áreas que poseen condiciones climáticas desfavorables.

De los resultados de la evaluación de la aptitud física de la tierra del MINAZ (Villegas y otros, 2003), entre los suelos aptos para el cultivo de la caña de azúcar, 29,8% potencialmente pueden presentar estrés por déficit hídrico, a causa de su excesivo drenaje. De manera particular por provincias este porcentaje llega a alcanzar proporciones considerables en Camagüey (51%), Cienfuegos (47,2%) y Villa Clara (42,9%). Ante tales limitaciones una de las soluciones más prácticas y económicas lo constituye la obtención de genotipos con cierto grado de tolerancia a las condiciones de estrés ambiental referidas.

El Programa de Mejora cubano para la obtención de variedades comerciales, no está concebido para dar respuesta a la problemática formulada anteriormente, puesto que de los cinco sitios donde se lleva a cabo el proceso completo de estudio y selección del material obtenido (Jorge y Jorge, 2003), solo dos poseen características suelo-climáticas que asemejan las condiciones de estrés ambiental referidas.

Considerando las limitaciones anteriormente abordadas se desarrolló este trabajo para el cuál fueron planteados los objetivos siguientes:

1. Determinar parámetros genético – estadísticos que permitan el perfeccionamiento y el aumento de la eficiencia de la selección bajo condiciones de estrés por sequía.
2. Estudiar el comportamiento y la respuesta de un grupo de progenitores, progenies y cultivares ante las condiciones de estrés por sequía, en la región central del país.
3. Caracterizar, clasificar y definir los principales ambientes de prueba para el desarrollo de los ensayos de selección de variedades adaptadas a las condiciones de estrés por sequía.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios se desarrollaron durante el período comprendido entre enero de 1998 y marzo del 2001, en áreas experimentales de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara – Cienfuegos (Bloques experimentales Espartaco y Antonio Sánchez) y en dos Unidades Productoras de Caña (Rosalía y Charca,) de la Empresa Azucarera (EA) Guillermo Moncada, provincia Cienfuegos; seleccionados teniendo en cuenta que, el estrés por sequía es la consecuencia

de la acción combinada de un grupo de factores que involucran al suelo y las condiciones climáticas, con una marcada repercusión en los rendimientos del cultivo. Con la finalidad de referenciar las afectaciones que sobre el rendimiento producen las condiciones de estrés ambiental por déficit hídrico se consideró una localidad patrón sin esas características (Bloque experimental Ifraín Alfonso).

Los ensayos abarcaron dos etapas (Lote clonal 2 y Estudios replicados) del actual esquema de selección de la caña de azúcar en Cuba (Bernal y Milanés, 1997) y para satisfacer los objetivos planteados fueron conducidos 8 experimentos de campo, evaluados en las cepas de caña planta y retoño, con 16 cosechas. Se trabajó de forma paralela con dos poblaciones de 12 cruces biparentales, tomados al azar del Programa de Mejoramiento Genético cubano, serie 1991. La primera se analizó según el diseño genético – estadístico Biparental y la segunda de acuerdo con el diseño Jerárquico ó Carolina del Norte I (CNMI), con un total de tres progenitores masculinos, apareándose cada uno con tres grupos de cuatro hembras. En la etapa de estudios replicados se evaluaron 16 variedades también tomadas al azar de las liberadas por este programa.

Se estimación los parámetros genéticos – estadísticos de los caracteres brix refractométrico, número de tallos, altura y diámetro, en la etapa clonal mientras en los estudios regionales se evaluó el rendimiento agrícola y la calidad industrial de las variedades, según se establece en las Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba (Jorge y otros, 2002).

La caracterización hidrofísica y físico-química de los suelos se realizó siguiendo las metodologías vigentes en el INICA (INICA, 1990), mientras los datos climáticos se obtuvieron de las estaciones meteorológicas del Instituto de Meteorología de Cuba distribuidas en la región estudiada.

La estabilidad de las variedades se estimó mediante el método de Coordenadas Principales de Westcott (1987), mientras la caracterización de los ambientes de prueba se efectuó a través de un análisis de componentes principales sobre la base de la matriz de correlaciones simples, considerando los ambientes de prueba como individuos y como variables los valores medios respectivos de los caracteres, sus parámetros genéticos y las variables meteorológicas, hidrofísicas y químicas del suelo..

3. RESUTADOS Y DISCUSIÓN

Bajo condiciones de estrés por déficit hídrico, de acuerdo con los resultados de los análisis de varianza, se presentaron diferencias significativas ($p<0,05$) en la interacción de los cruces con las localidades en todos los caracteres excepto en el brix refractométrico, lo que puso de manifiesto la importancia del aprovechamiento eficiente de la misma en la obtención genotipos con una respuesta adecuada a estas condiciones de estrés ambiental.

En las dos cepas evaluadas se pudo apreciar (Tabla I), un mayor efecto del componente ambiental (77,2 – 95,4% caña planta, 38,6 – 74,1% retoño), resultados que se corresponden con los reportados por Castro (1991) y Jorge (1996), en sitios de selección presumiblemente ausentes de estrés. La mayor magnitud de la contribución del ambiente respecto a los reportes de los autores citados anteriormente hace suponer que bajo condiciones de estrés dicho comportamiento se acentúa, lo que sugiere la necesidad de seleccionar los progenitores y las progenies bajo tales condiciones para obtener genotipos adaptados a este tipo de estrés.

En retoño, aunque continuó predominando el componente ambiental, se apreció su disminución en todos los caracteres, atribuibles a que en esta cepa ya el cultivo está más establecido y por ende puede proporcionar una mayor respuesta genética, lo que coincide con los reportes de Ojeda (1995) y Abrantes (1986). En correspondencia con los valores de los componentes de la varianza genética,

así como los de heredabilidad, dirigir la selección principalmente en retoño hacia el brix refractométrico como criterio de la calidad, así como hacia diámetro y número de tallos como componentes del rendimiento agrícola, pudiera representar una estrategia acertada.

El empleo del modelo completo (Tabla II), confirmó la existencia de interacción de los genotipos con el ambiente. En el brix resultaron altamente significativas ($p<0.01$), genotipo x localidad (GXL) y genotipo x cepa (GXC), mientras para diámetro y altura fue la de último orden genotipo x localidad x cepa (GXLXC). Por otra parte la descomposición de las varianzas reafirmó la magnitud del componente ambiental (35,4 - 94,9%) y la mayor expresión genética del brix (18,8%) respecto a los restantes caracteres y por consiguiente su fiabilidad como criterio de selección para la obtención de nuevos cultivares, que permite efectuar la selección de manera efectiva bajo cualesquiera de las variantes (localidades y cepas) estudiadas, al resultar prácticamente despreciables las contribuciones de los componentes de varianza de sus interacciones (σ^2_{GC}, σ^2_{LC}, σ^2_{GLC}), ello unido a que resultó el carácter más heredable (0,37).

Tabla I: Componentes de varianza. Diseño Biparental

Comp. Varianza	Planta					Retoño				
	Brix refractométrico					Brix refractométrico				
	σ^2	±	ES		PVT	σ^2	±	ES		PVT
σ^2_G	0,87	±	0,37	*	16,8	1,16	±	0,47		32,2
σ^2_L	0,04	±	0,04		0,7	0,06	±	0,06		1,8
σ^2_{GL}	0,01	±	0,05		0,2	0,04	±	0,04		1,1
σ^2_E	4,29	±	0,02	*	82,3	2,24	±	0,01	*	64,0
VA	4,32				82,9	2,30				65,7
$\overline{X}$ ± ES	19,88	±	0,07			20,24	±	0,05		
h^2_e	0,34	±	0,14			0,66	±	0,27	*	
CVG (%)	6,65					7,54				
	Diámetro					Diámetro				
σ^2_G	0,03	±	0,01	*	20,1	0,15	±	0,07	*	34,1
σ^2_L	0,00	±	0,00		0,0	0,03	±	0,01		6,8
σ^2_{GL}	0,00	±	0,00		2,7	0,12	±	0,01	*	27,3
σ^2_E	0,11	±	0,00	*	77,2	0,14	±	0,00	*	31,8
VA	0,11				77,2	0,17				38,6
$\overline{X}$ ± ES	2,72	±	0,01			2,58	±	0,01		
h^2_e	0,40	±	0,18	*		0,68	±	0,31	*	
CVG (%)	8.91					21,56				
	No. de tallos					No. de tallos				
σ^2_G	3,94	±	2,19		3,7	1,20	±	0,57	*	19,9
σ^2_L	24,62	±	20,30		23,2	0,00	±	0,15		0,0
σ^2_{GL}	0,98	±	1,14		0,9	0,36	±	0,18	*	6,0
σ^2_E	76,77	±	6,28	*	72,2	4,46	±	0,02	*	74,1
VA	101,40				95,4	4,46				74,1
$\overline{X}$ ± ES	10,39	±	0,29			12,70	±	0,07		
h^2_e	0,07	±	0,04			0,40	±	0,19		
CVG (%)	22,10					14,20				
	Altura					Altura				
σ^2_G	144,74	±	67,01	*	18,2	41,45	±	68,64		4,8
σ^2_L	1,70	±	4,96		0,2	101,38	±	96,79		11,6
σ^2_{GL}	33,33	±	19,12		4,2	189,05	±	79,45	*	21,7

σ^2_E	615,02	±	403,26		77,4	540,28	±	311,19		61,9
VA	616,72				77,6	641,65				73,6
$\overline{X}$ ± ES	236,42	±	0,81			201,41	±	0,76		
h^2_e	0,36	±	0,09	*		0,10	±	0,16		
CVG (%)	7,20					3,85				

σ^2_G. Componente varianza genética
σ^2_L. Componente varianza localidad
σ^2_{GL}. Componente varianza genotipo x localidad
σ^2_E. Componente varianza error
VA. Varianza ambiental
*. Estimado preciso del componente de varianza

En los restantes caracteres la interacción de las cepas puede generar cambios significativos en el trabajo de mejora, acentuando más la expresión ambiental en el numero de tallos (24,8% σ^2_{LC}), mientras que para diámetro y altura contribuyó más a la interacción genotipo - ambiente (52,4%, 2,3% y 9%, 11,8% respectivamente de los componentes σ^2_{GC}, σ^2_{GLC}) demostrando la capacidad discriminatoria de las localidades y cepas y que los mayores avances podrían lograrse cuando sea aprovechado eficientemente el efecto que produce la replicación de los trabajos de selección en tiempo y espacio, confirmando los resultados obtenidos por Ortiz y Caballero (1989); Milanés y otros (1992); Cruz (1994); Jorge y García (1994) y Jorge (1996).

Tabla II: Componentes de varianza. Diseño Biparental Modelo Completo

Comp. Varianza	Brix refractométrico					No. de tallos				
	σ^2	±	ES		PVT	σ^2	±	ES		PVT
σ^2_G	1,01	±	0,42	*	18,8	2,32	±	1,16	*	3,3
σ^2_L	0,05	±	0,05		0,9	7,55	±	6,25		10,9
σ^2_{GL}	0,05	±	0,04		1,0	0,67	±	0,51		1,0
σ^2_{GC}	0					0,48	±	0,44		0,7
σ^2_{LC}	0					17,06	±	14,00		24,8
σ^2_{GLC}	0					0,04	±	0,41		0,1
σ^2_E	4,27	±	0,01	*	79,3	40,61	±	0,88	*	59,1
VGA	0,05				1,0	1,19				1,7
VA	4,32				80,2	65,22				94,9
$\overline{X}$ ± ES	20,06	±	0,05			22,95	±	0,15		
h^2_e	0,37	±	0,18	*		0,07	±	0,03		
CVG (%)	7,30					9,38				
	Diámetro					Altura				
σ^2_G	0,02	±	0,01	*	6,7	77,29	±	43,30		7,6
σ^2_L	0,00	±	0,00		0,5	13,09	±	14,78		1,3
σ^2_{GL}	0,01	±	0,00	*	3,2	51,12	±	34,93		5,0
σ^2_{GC}	0,15	±	0,06	*	52,4	91,68	±	46,92		9,0
σ^2_{LC}	0,00	±	0,00		1,0	86,90	±	72,07		8,5
σ^2_{GLC}	0,01	±	0,00		2,3	120,15	±	52,79	*	11,8
σ^2_E	0,10	±	0,00	*	33,8	577,65	±	178,06	*	56,8
VGA	0,17				57,9	262,94				25,8
VA	0,10				35,4	677,65				66,6
$\overline{X}$ ± ES	2,65	±	0,01			218,91	±	0,55		
h^2_e	0,13	±	0,07			0,15	±	0,09		
CVG (%)	7,38					5,68				

σ^2_G. Componente varianza genética
σ^2_L. Componente varianza localidad
σ^2_{GL}. Componente varianza genotipo x localidad
σ^2_{GC}. Componente varianza genotipo x cepa
σ^2_{LC}. Comp. varianza localidad x cepa
σ^2_{GLC}. Comp. varianza genotipo x loc. x cepa

σ^2_E. Componente varianza error
VA. Varianza ambiental
VGA. Varianza interacción genotipo ambiente
*. Estimado preciso del componente de varianza

Resultó evidente la limitada variabilidad genética para los caracteres componentes del rendimiento agrícola (no rebasó 7,6%) imponiendo la utilización de nuevos progenitores y combinaciones en la concepción de un programa de mejoramiento específico para las condiciones de estrés por déficit hídrico, teniendo en cuenta que bajo estas condiciones resulta de vital importancia disponer de genotipos que aporten elevadas producciones agrícolas que puedan compensar un contenido azucarero de medio a bajo.

Con el auxilio del diseño Jerárquico se estimaron los componentes de varianza que se presentan en la tabla III, en ella resalta la posibilidad de avanzar en la obtención de genotipos con cierto grado de respuesta al estrés por sequía, si son considerados en caña planta el brix refractométrico y el diámetro por su mayor variabilidad atribuible a los progenitores y heredabilidad, no así para número de tallos y altura que experimentaron una alta influencia de las localidades (96.2% y 75.3% respectivamente), lo que hace lento el progreso por selección.

Tabla III: Componentes de varianza. Diseño Jerárquico. Modelo reducido. Cepa Planta

Comp. Varianza	Brix refractométrico					No. de tallos				
	σ^2	±	ES		PVT	σ^2	±	ES		PVT
σ^2_l	1.68	±	0.68		52.8	334.35	±	275.73		96.2
σ^2_m	0.38	±	0.96		11.9	4.92	±	3.47		1.4
σ^2_f	0.24	±	1.72		7.5	0.74	±	13.79		0.2
σ^2_{lm}	0.08	±	0.04		2.5	1.02	±	0.98		0.3
σ^2_{lf}	0.13	±	0.04	*	4.1	2.39	±	0.82	*	0.7
σ^2_e	0.67	±	0.00	*	21.1	4.30	±	0.02	*	1.2
VGA	0.21				6.6	3.41				1.0
VA	2.35				73.9	338.65				97.4
$\overline{X}$ ± ES	19.31	±	0.02			23.46	±	0.07		
h_m	0.48	±	0.70			0.06	±	0.04		
h_f	0.30	±	0.90			0.01	±	0.16		
h_{mf}	0.39	±	0.80			0.03	±	0.10		
CVG	4.09					10.10				
	Diámetro					Altura				
σ^2_l	0.04	±	0.22		16.00	1193.17	±	1173.99		75.3
σ^2_m	0.03	±	0.02		12.00	47.35	±	70.59		3.0
σ^2_f	0.01	±	0.00	*	4.0	2.45	±	73.65		0.1
σ^2_{lm}	0.00	±	0.00		1.2	76.12	±	68.99		4.8
σ^2_{lf}	0.02	±	0.01		8.0	159.58	±	52.15	*	10.1
σ^2_e	0.15	±	0.00	*	60.0	106.46	±	13.52	*	6.7
VGA	0.02				8.0	235.70				14.9
VA	0.19				76.0	1299.63				82.0
$\overline{X}$ ± ES	2.56	±	0.00			238.77	±	0.33		
h_m	0.48	±	0.32			0.12	±	0.18		
h_f	0.16	±	0.01	*		0.01	±	0.18		
h_{mf}	0.32	±	0.16	*		0.03	±	0.18		
CVG	7.81					2.96				

Componente varianza (σ^2) para localidad (l), masculino (m), femenino (f), localidad x masculino (lm), localidad x femenino (lf) y del error (e). Estimado preciso (*), Varianza de la interacción genotipo ambiente (VGA), Varianza ambiental (VA), Error estándar (ES), Porcentaje de contribución a la varianza total (PVT), heredabilidad (h), masculino (m), femenino (f), masculino-femenino (mf), Coeficiente Variación Genético (CVG).

Estos resultados con la mayor precisión que le imprime el diseño genético estadístico utilizado, vienen a confirmar los obtenidos con el uso del biparental, en lo referente al enfoque de la selección principalmente hacia los caracteres brix y diámetro como componentes de la calidad y del rendimiento agrícola respectivamente, por la mayor naturaleza genética encontrada en sus expresiones (Abrantes 1986; Castro, 1991; Cruz, 1994; Mesa, 1995).

Con respecto a la fracción de la varianza total atribuible a los progenitores, la varianza y heredabilidad de los masculinos superó la de femeninos, resultados que se encuentran en correspondencia con los reportados por Hogarth (1977) y González (1997), este último para el brix refractométrico en suelos categorizados de una buena fertilidad natural.

En retoño (Tabla IV) se confirmó también lo expresado en caña planta para el Brix y el diámetro, es de resaltar que la contribución de las localidades se hizo menos marcada en todos los caracteres evaluados causando una reducción favorable del efecto ambiental y un incremento de los estimados de heredabilidad que confirman lo práctico que resulta efectuar la selección definitiva en dicha cepa como lo señalaran Abrantes, (1986); Cruz, (1994) y Jorge, (1996).

Tabla IV. Componentes de varianza. Diseño Jerárquico. Modelo reducido. Cepa Retoño

Comp. Varianza *	Brix refractométrico					No. de tallos				
	σ^2	±	ES		PVT	σ^2	±	ES		PVT
σ^2_l	0.34	±	0.49		15.7	1.03	±	0.80		35.9
σ^2_m	0.37	±	0.43		16.1	0.31	±	1.07		10.8
σ^2_f	0.23	±	0.52		10.0	0.24	±	1.83		8.4
σ^2_{lm}	0.31	±	0.06		13.5	0.29	±	0.30		10.1
σ^2_{lf}	0.20	±	0.05	*	8.7	0.22	±	0.05	*	7.7
σ^2_e	0.84	±	0.00	*	36.7	0.78	±	0.00	*	27.2
VGA	0.51				22.3	0.51				17.8
VA	1.18				51.5	1.81				63.1
$\overline{X}$ ± ES	20.03	±	0.02			25.63	±	0.02		
h_m	0.64	±	0.75			0.43	±	0.93		
h_f	0.40	±	0.90			0.33	±	0.87		
h_{mf}	0.52	±	0.82			0.38	±	0.90		
CVG	3.84					2.89				
	Diámetro					Altura				
σ^2_l	0.05	±	0.06		18.5	163.81	±	68.95		42.2
σ^2_m	0.04	±	0.05		14.8	31.51	±	18.73		8.1
σ^2_f	0.03	±	0.06		11.1	9.64	±	41.84		2.5
σ^2_{lm}	0.02	±	0.01		7.4	29.30	±	18.78		7.5
σ^2_{lf}	0.02	±	0.01		7.4	30.53	±	15.71	*	7.9
σ^2_e	0.11	±	0.00	*	40.7	122.92	±	18.03	*	31.7
VGA	0.04				14.8	59.83				15.4
VA	0.16				59.2	286.73				73.9
$\overline{X}$ ± ES	2.39	±	0.01			225.51	±	0.36		

h_m	0.59	±	0.74	0.32	±	0.19
h_f	0.44	±	0.89	0.09	±	0.43
h_{mf}	0.52	±	0.81	0.21	±	0.31
CVG	10.88			2.84		

***. Descritos en la tabla III**

Según el análisis de varianza las diferencias en cuanto al contenido azucarero resultó significativa ($p<0,05$) para las combinaciones, las localidades y su interacción (Figura 4a). Los cruces de mejor comportamiento fueron: 1 (C137-81 x C120-78), 2 (CP29-103 x B45181), 3 (B77330 x CP70-1133) y 4 (B80250 x C227-59), que tuvieron un comportamiento similar al testigo en ambas localidades, destacando que el primero lo superó en Rosalía. Por el contrario los cruces 11 (C266-70 x My55-14) y 12 (B6368 x C87-51) mostraron las mayores limitaciones, atribuibles a su genealogía (provienen de progenitores de contenido azucarero medio a bajo (Pérez y otros, 1997), resultados que se corresponden plenamente con los discutidos a partir de la aplicación de los diferentes diseños genético – estadísticos, en lo referente a la alta heredabilidad de este carácter.

En el número de tallos el progreso de la selección se hizo más evidente ya que todos los cruces al menos en una localidad igualaron o superaron al testigo, con destaque para el 9 (H109 x S186-84), 10 (NCo310 x CP70-1133), 11 y 12 que fueron superiores en ambas localidades.

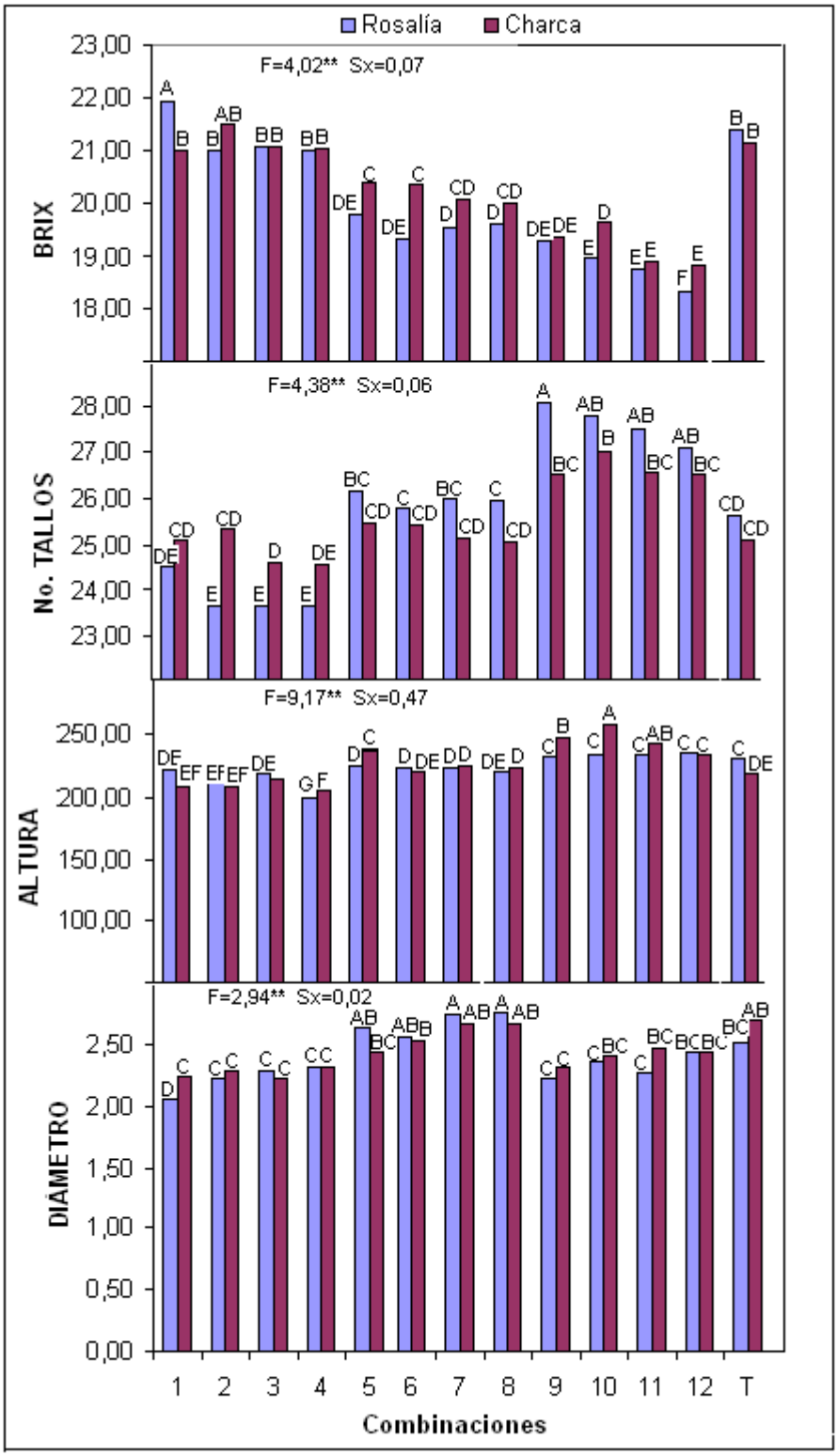


Fig. 1 Interacción Combinación X Localidad. Cepa Retoño

Los resultados de la altura y el diámetro, siguieron la misma tendencia del número de tallos en lo referente a que todas las combinaciones, igualaron al menos al testigo en una localidad, con excepción de la 4 y 1 respectivamente que fueron inferiores. En este caso resaltaron sobre el comportamiento del resto la 9, 10, 11 y 12 en altura y la 5, 7 y 8 en diámetro.
Si se comparan los resultados del contenido azucarero y de los componentes del rendimiento agrícola, se hace notable que la discriminación de las combinaciones fue diferente, ello viene a confirmar la relación negativa que existe entre la calidad azucarera y el rendimiento cañero (Mariotti, 1971; Ortiz, 1982; Abrantes, 1986), que hace lento el proceso de mejora, que conlleva a la necesidad de establecer compromisos a la hora de efectuar la selección de manera tal que la mejora de un carácter no afecte significativamente al otro.

Estabilidad de los genotipos

La estimación de la estabilidad a través del análisis de los ciclos de bajo rendimiento (L1 a L8) para t caña.ha $^{-1}$ (Tabla V) detectó el comportamiento satisfactorio de las variedades C86-165 (9) y My55-14 (15), al tiempo que en C89-176 (13) se puso de manifiesto en los ciclos L1, L2, L3, L7 y L8. Los cultivares C89-161 (12) y C86-156 (8) buenos resultados en las dos combinaciones de mayores rendimientos. Cuando el análisis se realizó considerando los ambientes de alto rendimiento (H1- H8) se confirmó la estabilidad de C86-165 (9), C89-161 (12), C86-156 (8) y C89-176 (13).

En el porcentaje de pol en caña clasificaron como estables las variedades C1051-73 (3), C86-12 (7), C88-187 (11) y C89-161 (12) por presentar resultados destacados en al menos seis de los ocho ciclos analizados, tanto de alto (H) como de bajo (L) rendimiento. En el caso de la primera variedad estos resultados confirman los reportados por López, (1986) y Jorge y otros, (1996); mientras para las restantes constituyen un fuerte aval para su desarrollo en áreas de producción de similares condiciones, con mayores perspectivas para C89-161 (12) que igualmente resultó estable en el rendimiento cañero. En este sentido también resulta meritorio mencionar el desempeño de C86-156 (9) que aportó altas producciones en los dos ciclos de más bajos rendimientos (H1, H2).

El análisis del rendimiento en azúcar por unidad de superficie (t pol.ha^{-1}) permitió realizar una valoración más integral de los cultivares y confirmar de ese modo la estabilidad de C89-161 (12) (altos rendimientos en 7 ciclos L (1,2,3,4,6,7 y 8) y 6 ciclos H (3,4,5,6,7, y 8), comportamiento similar alcanzó C89-176 (13).

Tabla V. Resultados del análisis de estabilidad

	Ciclos de bajo rendimiento							
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
CTHA	7,11,13,15	2,7,15	2,7,9,13,15	2,7,9,15	1,7,9,15	2,4,5,9,15	9,12,13,15	9,12,15
PPC	3,11,12	3,7,11,12	3,11,12	3,11,12	3,11,12	3,11,12	3,11,12	3,11,12
PTHA	7,8,9,12,13	5,8,12,13	8,9,12,13	8,9,12,13	5,8,9,12	8,9,12	8,9,12	8,9,12,13
	Ciclos de alto rendimiento							
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
CTHA	8,9,12,13	8,9,12,13	5,8,9,12,13	5,8,9,12,13	5,8,9,12	5,8,9,12	5,8,9,12	5,9,12,15
PPC	7,11,12	3,7,11	3,7,11	3,7,11,12	3,7,11,12	3,7,11,12	3,11,12	3,11,12
PTHA	2,7,11,13	2,7,13	1,2,11	1,2,7,12	1,9,12	7,8,9,12,15	7,8,9,12	8,9,12,13

CTHA. t caña.ha^{-1} PPC. Porcentaje de pol en caña PTHA. t pol.ha^{-1}

Caracterización de los ambientes de prueba

A través del análisis de componentes principales se pudo conocer que las variables utilizadas para caracterizar los ambientes de prueba en estudios regionales, explicaron en las primeras tres componentes 73% de la varianza total (Tabla VI) y que en estos ambientes de limitaciones por sequía, las precipitaciones del período noviembre – abril (LLNVAB, LLENAB), juegan un papel decisivo en la producción agrícola, estando este comportamiento muy relacionado con la evaporación y la evapotranspiración de dicho periodo la cuál varió significativamente entre los 10 ambientes estudiados.

Es de destacar la importancia que también ejercieron las propiedades hidrofísicas y químicas del suelo. Varios autores han arribado a conclusiones similares referente a la importancia de las mismas en la caracterización y agrupamiento de suelos tanto en Cuba (Hernández, 1995; Pineda, 2002) como en otros países cañeros de la región (Pérez, 1999).

En la figura 2 donde están representadas las componentes 1 y 2 se apreció la formación de seis grupos, en los cuáles no aparecieron solapamientos entre localidades, excepto Sánchez Planta y Retoño y Espartaco retoño, por lo que cobra importancia significativa que la selección se efectúe de manera independiente en cada una de éstas localidades si se quieren obtener variedades adaptables a sus diferentes condiciones, de manera tal que no es de esperar que el actual procedimiento de efectuar la selección solo en Ifrain Alfonso (localidad patrón sin estrés) ofrezca avances en la obtención de nuevas variedades.

Tabla VI. Valores y vectores propios

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3
Valor	8.905	6.465	3.023
Prop. Variación Total	35.6%	25.9%	12.1%
Prop. Acumulada	35.6%	61.5%	73.6%
CTHA	0.061	0.795	0.812
PPC	0.024	0.239	0.293
PTHA	0.082	0.753	0.778
CC	0.592	0.770	0.771
DA	0.006	0.034	0.750
PES	0.527	0.643	0.759
VINF	0.267	0.469	0.713
NAG	0.688	0.747	0.872
PEF	0.642	0.691	0.776
CIC	0.366	0.525	0.529
APT	0.635	0.813	0.814
PH	0.026	0.108	0.589
LLT	0.604	0.612	0.623
LLMYOC	0.412	0.794	0.828
LLNVDC	0.514	0.718	0.753
LLNVAB	0.637	0.747	0.768
LLENAB	0.747	0.754	0.756
EVMYOC	0.006	0.386	0.529
EVNVDC	0.071	0.346	0.807
EVNVAB	0.498	0.665	0.930
EVENAB	0.671	0.806	0.862

EVTMYOC	0.002	0.757	0.858
EVTNVDC	0.088	0.577	0.578
EVTNVAB	0.569	0.819	0.831
EVTENAB	0.205	0.778	0.801

Las localidades de mayor estrés por sequía (Sánchez, Rosalía y Charca) no presentaron diferencias entre los ambientes de caña planta y retoño lo que sugiere en correspondencia con los resultados hasta presentados que sea priorizada la cepa de retoño como la de mayor importancia para la selección de variedades tolerantes a la sequía.

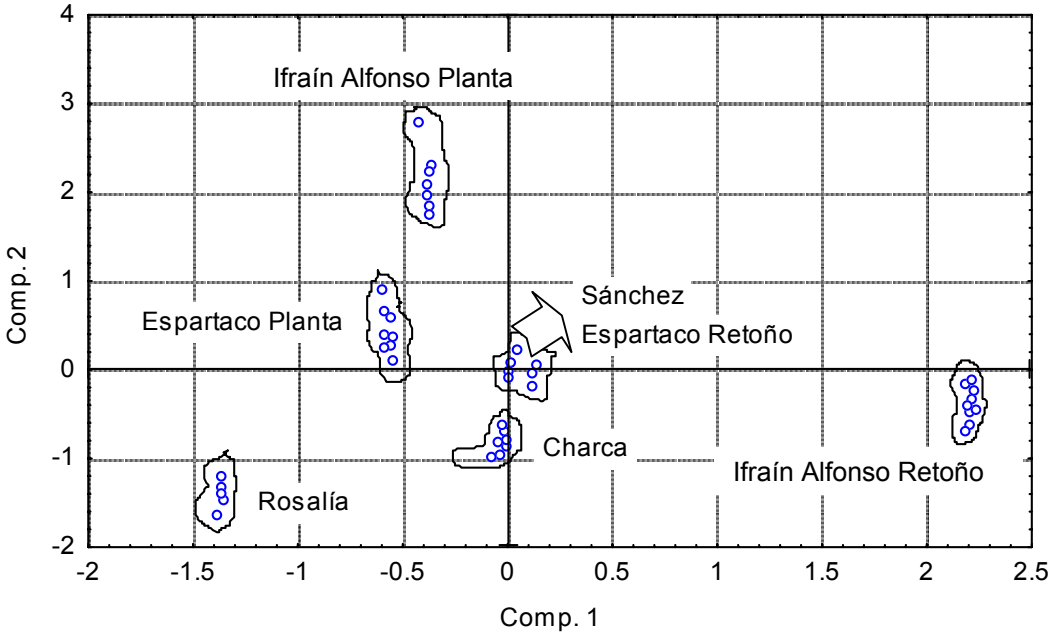


Fig. 2 Representación de las variedades en las componentes 1 y 2

4. CONCLUSIONES

- Bajo condiciones de estrés ambiental por sequía en etapas clonales, se produce un predominante efecto ambiental que lo que justifica la replicación en tiempo y espacio de los estudios para que la selección para tales condiciones se efectué en dichos sitios.
- La reducción del componente σ^2_A de la cosecha de caña planta a retoño sugiere la elección de la última cepa para efectuar la selección definitiva, encontrándose variabilidad genética explotable para brix y diámetro en el estrés por sequía, expresada en el peso relativo del componente σ^2_G y los estimados de h^2f.
- La evaluación de las progenies de los cruces biparentales demostró que la selección de clones tolerantes al estrés ambiental por sequía es factible mediante la selección desde etapas iniciales en estos ambientes, destacándose de manera integral en ambas condiciones de estrés la combinación 1 (C137-81 x C120-78).
- Las variedades de menor afectación por el estrés ambientales fueron: C89-161, C89-176 y C86-156 en ambas condiciones; C86-165 en sequía y C132-81, C86-12 y SP70-1284 en mal drenaje.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abrantes, R.I. (1986): Caracterización de poblaciones de caña de azúcar en las primeras etapas de selección. Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. 95pp.
2. Bernal, N.; N. Milanés. (1997):"Evaluación y utilización de los recursos genéticos de la caña de la caña de azúcar. En: Recursos Genéticos de la caña de azúcar. Publicaciones IMAGO. INICA. Ciudad de la Habana.
3. Castro; S. (1991): Evaluación de ambientes y genotipos de caña de azúcar en la provincia de Holguín. Tesis para optar por el grado científico de Dr. En Ciencias Agrícolas. INICA, MINAZ: 95pp
4. Cruz, R. (1994): "Evaluación de progenitores de caña de azúcar (*Sacharum spp.*) a partir de la caracterización de sus progenies en las etapas iniciales de selección. Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA, MINAZ. P.100.
5. De Armas, U.R.; E. Ortega y Rosa Rodés (1988): "Fisiología Vegetal". Editorial Pueblo y Educación. C. de la Habana. Cuba p311-323.
6. González, R.M. (1997): "Establecimiento de las bases para el mejoramiento y la obtención de variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp*. híbrido de alto contenido azucarero y madurez temprana. Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. 122pp.
7. Hernández, J. (1995): "Evaluación, manejo y corrección de la fertilidad de los suelos Ferralíticos cuarcíticos dedicados al cultivo de la caña de azúcar". Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA. MINAZ. pp105
8. Jorge, H y H. García (1994): Influencia de las localidades en la segunda etapa de selección de variedades de caña de azúcar. I. Análisis univariado y Multivariado. Resúmenes VJornada Científica del INICA. P27.
9. Jorge, H.; H. García; V.A. González; Zuleika Fernández-Vega y R. Díaz (1996): "Interacción Genotipo-Ambiente en variedades de caña de azúcar en Cienfuegos, Comparación de métodos para la estimación de la estabilidad". Revista ATAC No. 1. Enero-Julio p34-42.
10. Jorge; H. (1996): "Estudio genético de los componentes agroazucareros en las etapas clonales del esquema de selección partiendo de posturas aviveradas de caña de azúcar (Sccharum spp). Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. En Ciencias Agrícolas. 90pp
11. Jorge, H.; R. González, M. Casas e Ibis Jorge. (2002a): "Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. Boletín No. 1 Cuba&Caña. INICA. 308p.
12. López, P.E. (1986): Influencia de algunos factores del ambiente sobre el rendimiento y aplicación de tres métodos de estabilidad en los estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en las provincias de Camagüey y Ciego de Avila. Tesis en opción al grado de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA. 198pp.
13. Mariotti, J.A. (1977): Sugarcane clonal selection research in Argentina. A review of experimental results. Proc. XVI COng. ISSCT. 14(1):121-136.
14. Mesa, J.M. (1995): Algunas estimaciones de parámetros genético – estadísticos y simulación de la eficiencia de la selección de poblaciones de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA. MIMAZ. 101 pp.
15. Milanés, N.; J.M. Mesa; María C. Balance y Norman Hervis. (1997): "Recomendación de variedades de caña de azúcar para la ganadería en la provincia de la Habana". Revista ATAC No. 2.13p

16. Ojeda, Eulalia (1995): “El método del postuclon como vía para la obtención de variedades de caña de azúcar con madurez temprana. Tesis en opción al grado científico de Dr. Ciencias Agrícolas. INICA, MINAZ. 102p.
17. Ortiz, R y A. Caballero (1989): Effectiveness of early sugarcane selection procedures in Cuba. Proc. ISSCT 20:932-937.
18. Pérez, G.; F. De Prada y A. Chinea (1997): “Caracterización de los recursos genéticos de la caña de azúcar (Catálago). En: Recursos Genéticos de la Caña de Azúcar. Publicaciones IMAGO. p117-249.
19. Pérez, Z. F. (1999): Los suelos y el uso de los fertilizantes en la caña de azúcar, para la provincia de Tucuman, Argentina. Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA. MINAZ. Cuba. 102pp
20. Pineda, Enma (2002): "Los factores edáficos y la respuesta de la caña de azúcar a los fertilizantes". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. UAH, INICA. 123p.
21. Varela, J. (2002): “Reestructuración en el sector azucarero. Vamos a moler la caña que económicamente se justifique”. Periódico Granma Viernes 23 Agosto p8.
22. Villegas, R. y Ledia Benites, Editores. Evaluación de la aptitud física de las tierras dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en Cuba, base para la diversificación de la agroindustria azucarera. Informe INICA, MINAZ. 2003

LA LABRANZA EN BANDAS EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR

Autores: R. Córdoba Tomás; E. Velarde Sosa; R. Zuaznábar Zuaznábar; A. Gómez Ruiz.

Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Pinar del Río – La Habana (INICA).
e-mail: cordoba@inica.edu.cu

Resumen

Las tecnológicas de preparación de suelos empleada tradicionalmente para la plantación de la caña de azúcar constituyen un paradigma de la agronomía, a pesar de los probados efecto negativos que causan al suelo; acción que se agudiza en suelos ondulados y en zonas bajas, donde los procesos de degradación de conjunto con los cambios provocados en la estructura del suelo por el laboreo excesivo conducen a un deterioro evidente de las propiedades físicas y química de los mismos, convirtiéndolos en infértiles e improductivos. En los últimos años la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Pinar del río – La Habana, siguiendo tendencias internacionales, en las que se recomienda la labranza mínima, desarrollo una tecnología para la preparación de suelos con un mínimo de operaciones y una reducción significativa de los costos, con el objetivo de mejorar la capacidad bioactiva de los suelos por dos vías: la reducción de la compactación de los suelos y la disminución de la alteración de su estructura. El laboreo localizado o en bandas constituye una variante de las tecnologías de labranza reducida, apropiada para la preparación de suelos cañeros. En este tipo de labranza se prepara y se surca solo el área donde se ubica la plantación a demoler. Durante este proceso la promoción del suelo se realiza en dos capas, de forma sucesiva, quedando desprendidas las cepas de caña, las cuales mueren por deshidratación. La descomposición de las cepas se puedes acelerar con el empleo de de gradas o rastras de discos o con rotovatores. Los resultados de la aplicación del laboreo localizado en áreas comerciales para el cultivo de caña de azúcar han tenido un gran impacto económico, pues las evaluaciones realizadas reportan ahorros superiores al 60% respecto a las tecnologías tradicionalmente usadas y un incremento de los rendimiento de no menos de 10 t/ha.

Palabras claves: Caña de azúcar; suelos, agricultura.

SOIL PREPARATION IN BANDSFOR SUGAR CANE CROP.

Soil preparation technologies have been traditionally employed for sugar cane plantations in spite of negative effects over the soils. These processes together with the change in structure because for excessive soil preparation imply soil physical and chemical condition deterioration, infertility and low productivity. Last years Cane Sugar Territorial Station Pinar del Rio – La Habana in accordance with international tendency of minimum soil preparation has developed a new soil preparation technology for increase soil bioactive capacity by means of soil compact reduction and deterioration decreasing of soil structure.
During this process the soil promotion by layers, successively, was carried out, whereas the cane strain die by dehydration. Strain destruction is posible to accelerate by the action of different agricultural equipment. Application results of minimum soil preparation in sugar cane commercial areas has had a great economical impact, reporting saving of 60% respect to traditional technologies and an increase of yield bigger than 10 t/ha.

Key words: sugar cane; soil; agricultura.

APROXIMACIÒN A LA SIEMBRA DIRECTA EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, UNA EXPERIENCIA CUBANA

Autores: R. Córdoba Tomás; E. Velarde Sosa; R. Zuaznabar Zuaznabar.

Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Pinar del Río – La Habana (INICA).
e-mail: cordoba@inica.edu.cu

Introducción.

La práctica de labrar el suelo antes de sembrar es tan universal que el arado ha sido desde hace siglo el principal símbolo de la agricultura. Sin embargo, es una de las principales causas de la degradación de los suelos, cuyos elementos fundamentales se pierden lentamente, convirtiéndolos en infértiles e improductivos.

Por otra parte, la labranza de los suelos es entre todas las prácticas agrícolas la que más energía consume, ejemplo de ello lo es el cultivo de la caña de azúcar donde se requiere hasta 300 kWh para labrar totalmente una hectárea de suelo. Luego la mitad del suelo roturado no tiene función agrícola en el momento de la siembra y cuando la planta comienza su crecimiento gran parte del área se ha compactado por el tráfico de los tractores.

La siembra directa, es una operación tecnológica que se contrapone radicalmente al paradigma del laboreo total del suelo, no obstante en las condiciones de la caña no es totalmente practicable ya que a diferencia de la mayoría de los cultivos de ciclo corto, la cantidad de suelo con que se tapa la caña es mucho menor, que la cantidad que se ubica sobre el mismo cuando se desarrolla la planta. En consecuencia, la plantación de la caña implica el desplazamiento lateral de una parte importante del suelo, que posteriormente debe regresar a su ubicación original. El laboreo localizado ó en bandas constituye una forma de labranza mínima, que se aproxima a la siembra directa, cuando se cumple la premisa de mullir sólo la banda necesaria para ubicar el sistema radicular de las plantas y mover el suelo sólo lo suficiente para lograr en los primeros días de desarrollo de los esqueje una capa de tierra sobre los mismos en el rango de 5 – 10 cm. Esta técnica proporciona un sustancial ahorro de recursos y tiempo además de reportar numerosos beneficios al suelo, que contribuirán al mejoramiento de sus propiedades físico-mecánicas y biológicas.

Para la ejecución de la tecnología de laboreo localizado en el cultivo de la caña de azúcar se desarrollaron varios implementos, de los cuales el descepador escarificador C-101 resultó el más apropiado, dado a su efectividad en el cumplimiento de los requisitos agrotécnicos y su poca complejidad, de ahí que fuera extendido a todas las provincias del país.

En el presente trabajo se exponen los principales resultados alcanzados con esta aproximación a la siembra directa respecto a la tecnología de plantación empleada tradicionalmente.

Materiales y métodos.

Para la definición de una tecnología de laboreo en el cultivo de la caña de azúcar se requirió cumplir los siguientes objetivos:

- Evaluar las variantes tecnológicas.
- Extender las tecnologías más racionales.
- Definir esquemas flexibles para el control de malezas y la eliminación de retoños de la plantación anterior.

Las opciones tecnológicas evaluadas estuvieron enmarcadas en 2 variantes básicas de labranza:
Laboreo localizado mecánico: Consiste en labrar solo la faja de suelo donde se ubica la plantación a demoler, empleando para ello implementos de rejas de cincel provistos de cuchillas de corte horizontal.
Laboreo localizado químico: Se elimina la plantación a demoler a través de herbicidas, para luego roturar y surcar con implementos con rejas de cincel y cuchillas de corte horizontal.
Para tales propósitos se emplearon los siguientes implementos:

- Descepador escarificador C-101 (Figura 1), que es un implemento provisto de 2 órganos de trabajo colocados en tandem: el primero consiste en un brazo con reja de cincel y aletas cortadoras, que mullen el suelo y cortan la cepa a una profundidad de 15 cm. y un ancho de 90 cm. el segundo, otro brazo provisto de reja y aletas, que corta el suelo a profundidades de 25 a 30 cm. con un ancho de 50 cm. .
- Grada de discos.

Figura 1. Vistas del descepador escarificador C-101 trabajando sobre un suelo con cobertura de residuos agrícolas.

Como fuente energética se emplearon tractores cuya potencia osciló entre 80 y 120 hp.
Las mediciones realizadas se hicieron de acuerdo a las metodologías que establecen las Normas Cubanas para Maquinas Agropecuarias y Forestales.
Como base comparativa se tomaron las tecnologías tradicionalmente empleadas por los agricultores cañeros en las zonas en que se evaluaron las nuevas variantes tecnológicas.

Resultados y discusión

Las tecnologías de laboreo localizado fueron evaluadas en las provincias da La Habana; Cienfuegos; Las Tunas y Santiago de Cuba, Sobre suelos ferralíticos rojos (ferrasol) y Pardos con carbonatos (cambisol).
Las opciones tecnológicas evaluadas aparecen en la tabla I.

Opciones tecnológicas evaluadas.

Tabla I

Opción	Operaciones que la componen
I Mecánica	1. Descepe y rotura con C101 2. Surque con C101
II Mecánica	1. Rotura y descepe con C101 2. Mullido con grada de discos 3. Profundizado y surque con C101
III Química	1. Aplicar herbicida al hilo de la caña 60 días después del corte 2. Rotura y surque con C101

De las opciones que aparecen en la tabla 1 las variantes I y II fueron las más económicas en recursos y tiempo. Para establecer una comparación entre las tecnologías se adopto evaluar la calidad de los surcos realizados como indicador de la calidad de la tecnología empleada. Los resultados alcanzados se resumen en la tabla II.

Principales indicadores de calidad de las nuevas variantes de laboreo.

Tabla II

No.	Variantes	Profundidad media de surcado (cm.)	Desviación media entre surcos (cm.)
1	Mecánico localizado	30	±10
2	Químico localizado	22	±11
3	Tradicional	23	±13

Como se aprecia en la tabla anterior los mejores indicadores se lograron con las tecnologías de laboreo mecánico localizado y el químico localizado.

Durante las evaluaciones realizadas se observaron las siguientes ventajas agronómicas:

- Se atenúa la erosión y degradación del suelo, pues se elimina o minimiza el empleo de los arados de discos y gradas.
- No se rompen las guardarrayas, las cuales quedan firmes para el uso de los sistemas de riego y tiro de la caña de semilla.
- Se obtiene un surco con un lecho más adecuado para el asentamiento de la semilla, ya que no quedan sobre el piso de arado, como ocurre en el sistema tradicional.
- Hay mayor aprovechamiento de la humedad del suelo, al no romperse la capilaridad de toda el área por lo que la siembra se realiza con mayor aprovechamiento de la humedad residual.
- Se mejora la infiltración del agua en el suelo y se evitan los encharcamientos.
- Los residuos de la plantación anterior enriquecen el suelo y mejoran sus propiedades físico mecánicas, justamente en el área de mayor actividad biológica.
- Se controlan y reducen las poblaciones de malezas como “Don Carlos” y “Paraná”, así como otras hierbas rizomáticas y estoloníferas, que son extraídas a la superficie.
- Se logra alistar el área en un plazo de tiempo, permitiendo sembrar las tierras bajas de secano en el momento oportuno.
- Se logra una mejor germinación de la nueva plantación.

Desde el punto de vista tecnológico y explotativo se determinaron un conjunto de particularidades del laboreo localizado, entre las que se destacan las siguientes:

- Se logra un uso más racional de la energía al labrarse sólo una parte del terreno, no llegando a alcanzar el 50 % del área.
- Se reducen el número de operaciones desde la rotura hasta el surcado, (nunca será mayor a 3).
- Aplicación idónea de la fuerza traccional de los tractores, al actuar siempre el rodaje sobre el área no elaborada.
- Mayor productividad de los medios de trabajo.

- Como el camellón queda firme, se puede comenzar la siembra mucho antes que en el sistema tradicional, cuando hay exceso de humedad en los campos.
- Disminución de los niveles de compactación.

El análisis económico dio como resultado que de las tres variantes analizadas, el laboreo localizado con medios mecánicos fue el de menor costo, seguido por la variante química. Los gastos promedios por unidad de área se resumen en la tabla III.

Gastos promedios totales por variante (para la elaboración de 1 ha)

Tabla III

No.	Variantes	Costos totales ($)	Ahorro %
1	Mecánico localizado	23.72	77.33
2	Químico localizado	31.72	69.67
3	Tradicional	104.61	-

De acuerdo con los resultados logrados en las provincias donde se aplican las tecnologías de laboreo localizado se ha demostrado que se obtienen significativos ahorros de recursos y se reportan incrementos de los rendimientos. Los datos de la tabla IV corroboran estos resultados.

Principales datos económicos alcanzados con la labranza localizada o en bandas.

Tabla IV.

Provincia	Tecnología	Gastos $/ha	Ahorro %	Incremento promedio de los rendimientos t./ha
La Habana	Localizado	31.20	74.04	16.98
	Testigo	120.20		
Cienfuegos	Localizado	51.48	62.75	18.20
	Testigo	138.22		
Santiago de Cuba	Localizado	30.81	70.55	10.19
	Testigo	104.61		
Las Tunas	Localizado	31.74	58.21	9.52
	Testigo	75.95		

El laboreo localizado tiene, además de las ventajas económicas expuestas, dos efectos económicos especiales:

- La posibilidad de preparar el suelo sin eliminar la paja de la superficie, lo que permite incorporar al suelo entre 5 y 10 t de residuos orgánicos;
- La posibilidad de elaborar el suelo con tractores ligeros en sustitución de los pesados.

Como resultado de esta experiencia se ha extendido a todo el país estas tecnologías y se incrementa anualmente el volumen de tierras preparadas con este método de labranza. Hoy día esta previsto que el 70% de las áreas cañeras planificadas para demolición se preparen por esta vía, lo cual contribuirá no solo a garantizar un ahorra sustancial de recursos y combustibles, si no también, a mejorar y preservar los suelos para las futuras generaciones.

Bibliografía.

1. Díaz, J. C; et al. “Curso de control Integral de malezas en caña de azúcar”. 2002.
2. Monier Quintana, R; Creach Rodríguez, I; Almarales, E. “Laboreo mínimo localizado para el cultivo de la caña de azúcar en suelos pardos con carbonatos de la provincia Santiago de Cuba”. 1994.
3. Muñiz González, A; et al. “Preparación de suelos por el método de laboreo localizado en suelos pardos de la provincia Cienfuegos”. 1997.
4. Pupo Labrada, E; Tejeda Marrero, V. M.; Rodríguez Estrada, L. “Evaluación de técnico económica del C-101 en la preparación de suelos en la provincia de las Tunas”. 2000.
5. Santana Sotolongo, M; Fuentes Nordet, J. B.; Córdoba Tomás, R. “Principios básicos para la aplicación de tecnologías de preparación de suelos en el marco de una agricultura conservacionista y sostenible”. 1999.
6. Santos Gómez F.; García r. Fitotécnia de la caña. Postgrado. Veracruz (1997).
7. Velarde Sosa, Dr. E.; et all. “Tecnologías mecanizadas para el laboreo localizado”. 1997.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) COMO HERRAMIENTA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES EN LA AGRICULTURA.

IMPLEMENTATION OF A GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (GIS) AS TOOL OF SUPPORT TO THE TAKING OF DECISIONS IN THE AGRICULTURE.

Rafael Más Martínez, Everado Becerra de Armas, Luciano Vidal Díaz y Bárbara Barreto Pérez

Centro Nacional de Referencia de Suelos. Autopista Nacional Km 246. Ranchuelo, Villa Clara.
E mail: epica@civc.inf.cu ; nasrec@epica.vc.minaz.cu

RESUMEN

La utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la agricultura es una técnica muy común que ha comenzado a fomentarse en Cuba. El presente trabajo expone ejemplos de la aplicación de un SIG (ILWIS) en la provincia de Villa Clara. Se muestran las potencialidades de este instrumento en la organización, captura y almacenamiento de la información agrícola. Se revelan algunas soluciones a problemas que se presentan en la producción como son la confección de mapas temáticos y cartogramas agroquímicos, evolución de la composición varietal de una unidad productiva, identificación de los suelos más propensos a los procesos erosivos, representación espacial de la aptitud física de las tierras para diferentes cultivos. El empleo de esta tecnología contribuye a una mejor planificación de la producción agrícola y a su diversificación, lo cual permitirá incrementar la eficiencia de la agricultura cubana, al mismo tiempo que garantiza una mejor gestión de los recursos naturales y humanos con la consiguiente protección del medio ambiente.

Palabras Claves: agricultura, SIG, medio ambiente

SUMMARY

The use of the Geographical Information System (GIS) as support tool to the taking of decisions in the agriculture is a very common technique that has begun to be fomented in Cuba. The present work exposes examples of the application of a GIS (ILWIS) in Villa Clara's province. The potentialities of this instrument are shown in the organization, it captures and storage of the agricultural information. Some solutions are revealed to problems that are presented in the production like they are the making of thematic maps and agrochemical maps, evolution of the varieties composition of a productive unit, identification of the soils of more risk to the erosion processes, space representation of the physical aptitude of the lands for different cultivations. The employment of this technology contributes to the better planning of the agricultural production and its diversification, that which will allow to increase the efficiency of the Cuban agriculture, at the same time that guarantees a better administration of the natural and human resources with the rising protection of the environment.

Key Words: agriculture, GIS, environment

INTRODUCCIÓN

El manejo adecuado de los recursos es un requisito imprescindible para alcanzar una producción agrícola sostenible, este proceso requiere de un trabajo laborioso donde se compile y analice un gran cúmulo de datos relacionados con la edafología, características agronómicas, fertilización, composición varietal, influencia de plagas y enfermedades, clima, entre otros.

Desde hace algunos años la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha estado empleando en la planificación agrícola de numerosos países tal es el caso de Australia, McKenzie (1990); Sudáfrica, Plalford (1990); Brasil, Rocha (1995); Colombia, Guzmán (1995), entre otros. En Cuba esta tecnología ha comenzado a fomentarse en la agricultura con gran éxito, el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) ha realizado trabajos empleando los SIG en áreas cañeras, Ponce de León y otros (1997); Balmaseda y otros (1997) y (1999), donde son explotados en la manipulación de la información agrícola de los Complejos Agroindustriales.

La utilización de la tecnología SIG constituye una herramienta que posibilita a los que participan en el proceso de toma de decisiones lograr una mejor organización y gestión de la información existente, mediante la combinación de la información temática y espacial, lo que contribuye a una representación más exacta de los fenómenos, incrementando la capacidad de análisis.

El presente trabajo expone ejemplos de la aplicación de los SIG en la agricultura en la provincia de Villa Clara. Se muestran algunas soluciones a problemas que se presentan en la producción como son la confección de mapas temáticos y cartogramas agroquímicos, evolución de la composición varietal de una unidad productiva, identificación de los suelos más propensos a los procesos erosivos, monitoreo de la estrategia de producción de caña ecológica, representación espacial de la aptitud física de las tierras para diferentes cultivos, entre otros.

La implementación de esta tecnología contribuye al reordenamiento de la producción agrícola y su diversificación, lo cual permitirá incrementar los niveles de producción y reducir los costos, al mismo tiempo que minimiza el impacto ambiental mediante una mejor gestión de los recursos naturales, de esta forma la agricultura cubana está más preparada para afrontar los retos y desafíos que se avizoran en este siglo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los mapas catastrales de bloques, y suelos de las empresas, ambos a escala 1:25000, fueron digitalizados en un sistema CAD (Computer Aided Design) e introducidos posteriormente en un Sistema de Información Geográfica (ILWIS 2.2 y 3.0). La información literal correspondiente a bases de datos de suelo, clima, uso de la tierra; así como las que utilizan los servicios agrícolas especializados fue organizada y asociada a la base de datos espacial mediante un identificador común, conformándose de esta forma las bases de datos digitales. Con el empleo del SIG se generaron diferentes escenarios que ofrecen una representación más clara de los fenómenos y problemas que se presentan en la agricultura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la utilización de un SIG se pueden conformar los mapas digitales de suelos. La figura 1 muestra un ejemplo del mapa digital de suelo del CAI Ifraín Alfonso, donde es editada la información asociada a un polígono de suelo.

Figura 1. Mapa digital de suelo del CAI Ifraín Alfonso e información temática asociada.

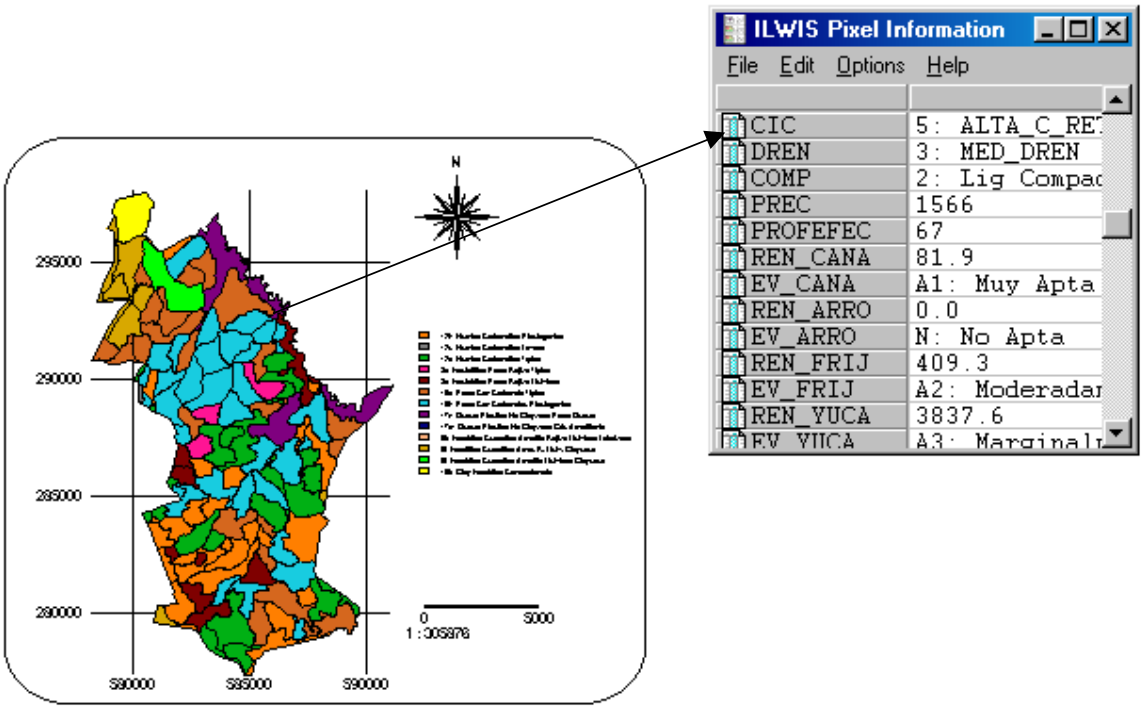
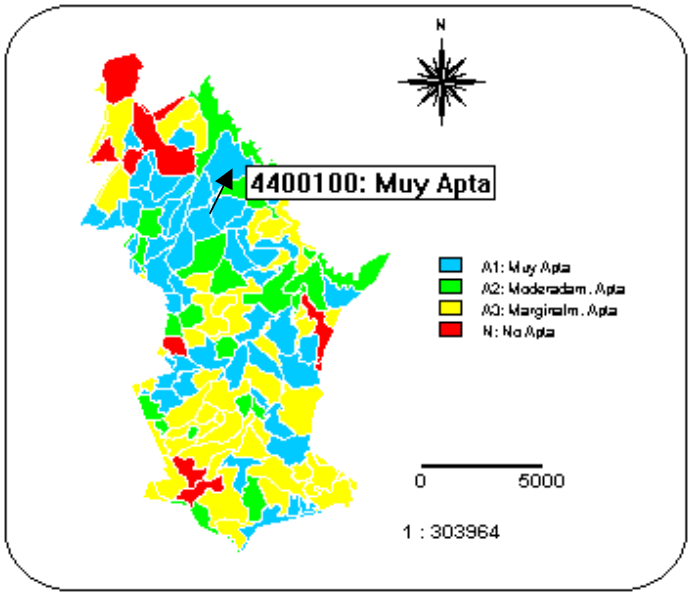
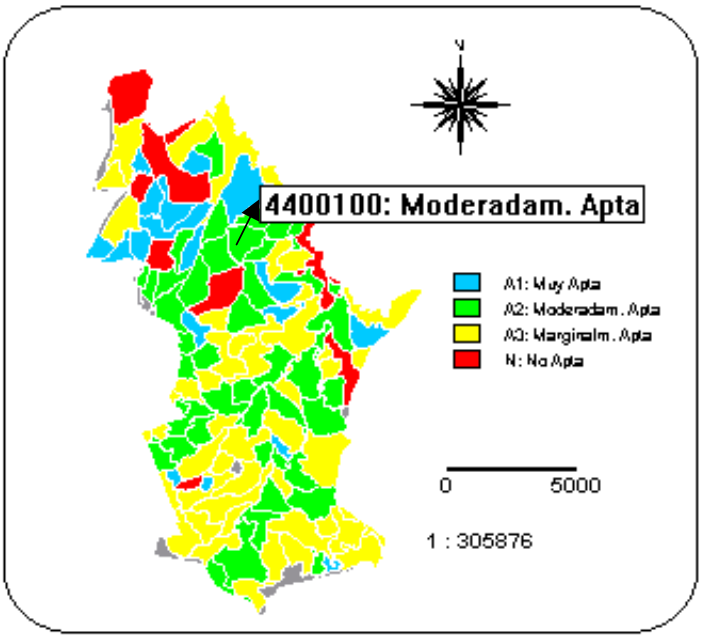


Figura 2. Mapa de aptitud de los suelos para el cultivo de la caña de azúcar. CAI Ifraín Alfonso, Villa Clara.



Los mapas digitales de suelos, pueden ser empleados para generar mapas de aptitud de la tierra para los diferentes cultivos, de gran utilidad en el proceso de diversificación agrícola (figuras 2 y 3).

Figura 3. Mapa de aptitud de los suelos para el cultivo de la yuca. CAI Ifraín Alfonso, Villa Clara.



La tecnología SIG permite estudiar y monitorear el uso de la tierra en una unidad productiva. Las figuras 4 y 5 muestran los mapas de uso de la tierra en una unidad de producción de caña de azúcar en diferentes períodos (1999 y 2003). Se aprecia una mejor explotación de la tierra en el año 2003, caracterizada por una composición varietal más balanceada, donde se eliminó la Ja60-5, variedad altamente susceptible al carbón y se han introducido nuevas variedades como la C86-12, SP 70-1284, C120-78 y la C85-102.

Figura 4. Mapa de uso de la tierra. UBPC "Teobaldo Núñez" (1999). CAI I. Alfonso, V. Clara.

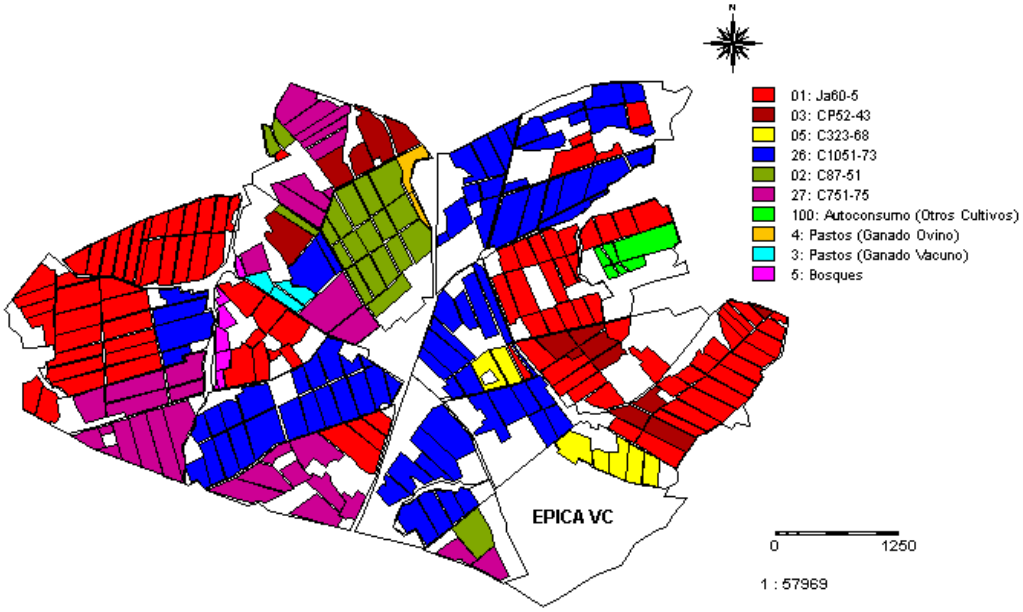
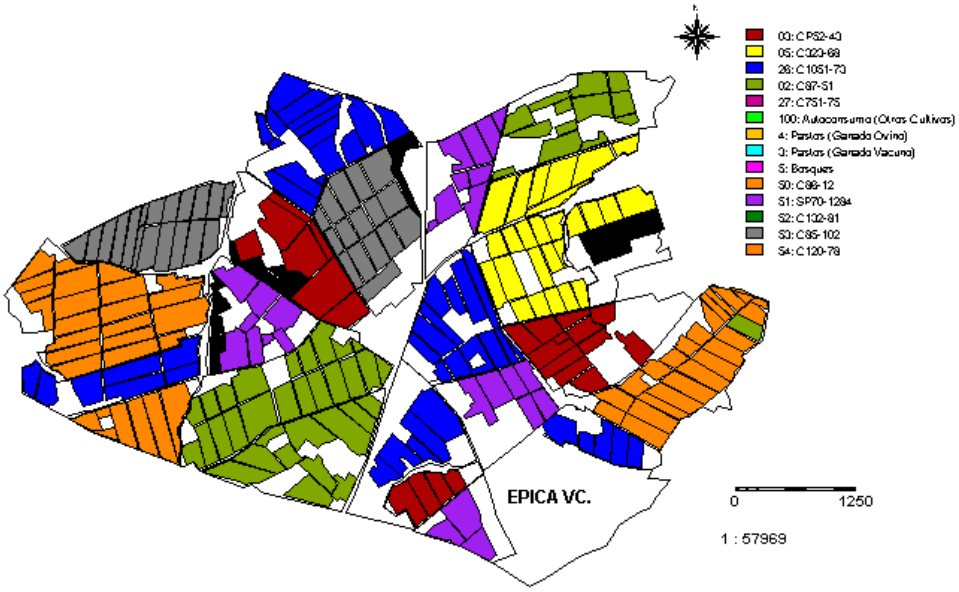
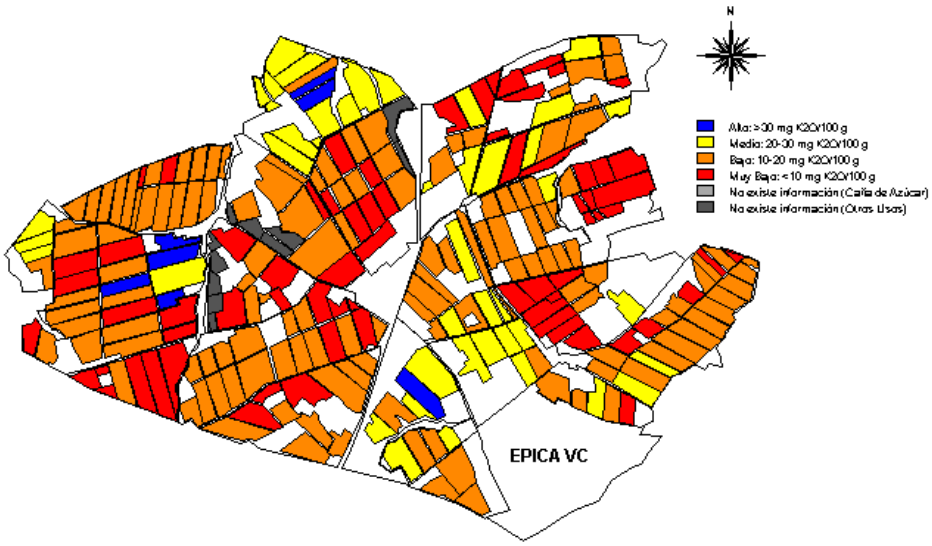


Figura 5. Mapa de uso de la tierra. UBPC “Teobaldo Núñez” (2003). CAI I. Alfonso, V. Clara.



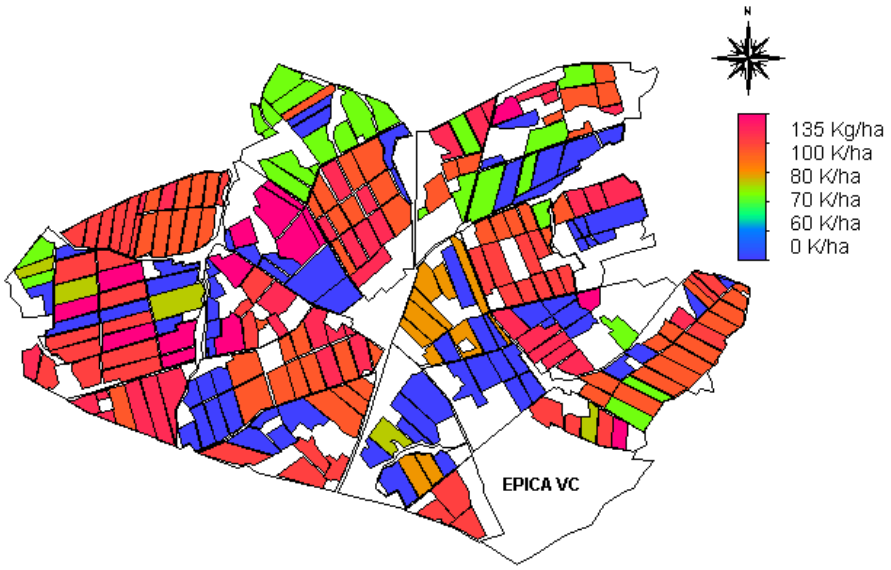
Los SIG pueden ser utilizados para generar cartogramas agroquímicos. Se aprecia el pobre abastecimiento de potasio en los suelos de la unidad productiva.

Figura 6. Cartograma de potasio. UBPC “Teobaldo Núñez”. CAI I. Alfonso, V. Clara.



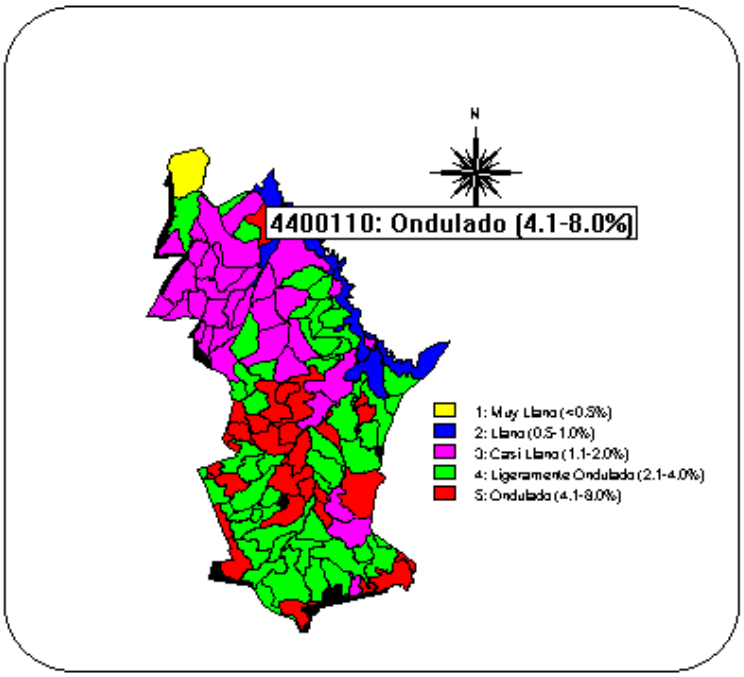
Mediante la creación de scripts (secuencia de expresiones lógicas) pueden obtenerse mapas de recomendaciones de fertilizantes, de esta forma el personal que participa en esta actividad dispone de una información más sencilla, práctica e ilustrativa (figura 7).

Figura 7. Recomendaciones de potasio según SERFE. UBPC “Teobaldo Núñez”. CAI I. Alfonso, V. Clara.



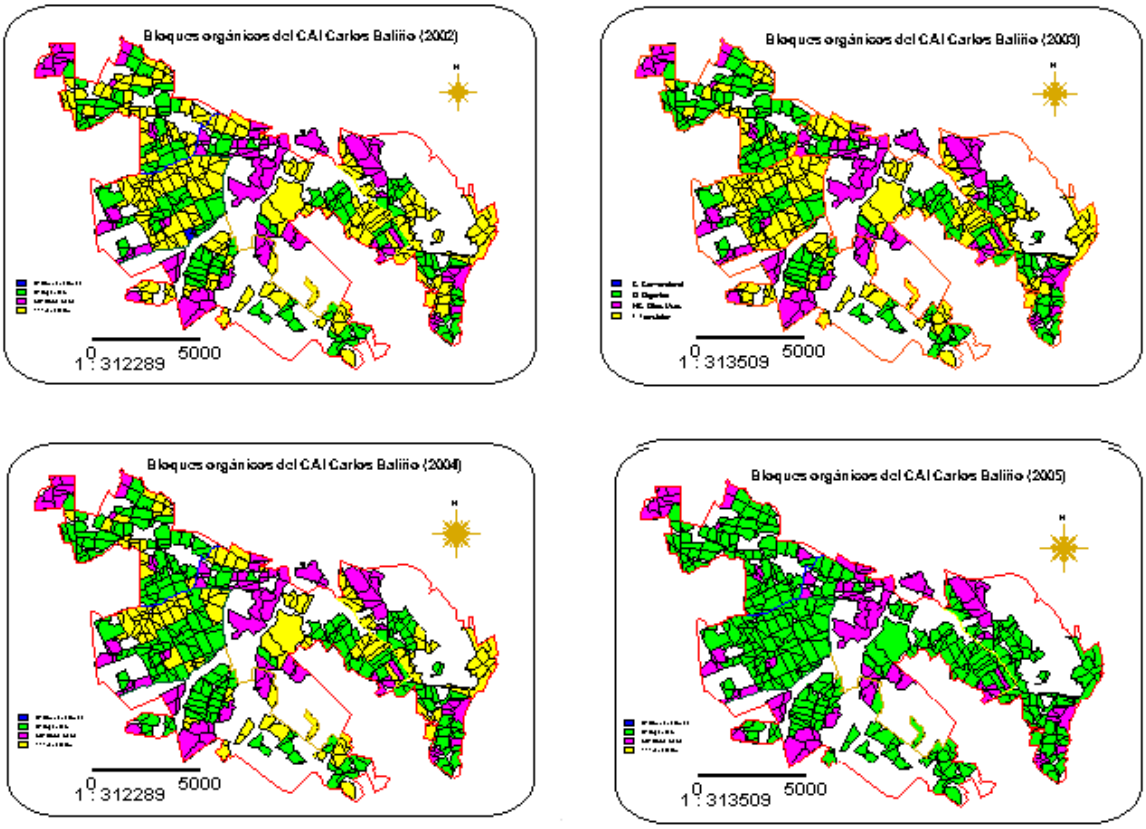
Los SIG pueden ser empleados en el manejo y conservación de los suelos. La figura 8 ilustra un ejemplo de un mapa de relieve del CAI Ifraín Alfonso, donde pueden ser identificados los suelos de mayor pendiente y de mayor peligro potencial a la erosión.

Figura 8. Mapa de relieve del CAI Ifraín Alfonso, V. Clara.



La tecnología SIG ha sido de gran utilidad en el monitoreo de la estrategia de producción de caña ecológica de la empresa azucarera Carlos Baliño. La figura 9 refleja la transformación de los bloques de producción de caña de azúcar convencional a bloques de caña ecológica (2002-2005).

Figura 9. Estrategia de producción de caña ecológica de la empresa azucarera Carlos Baliño (2002-2005).



CONCLUSIONES

Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta muy valiosa para la organización de la producción agrícola y el proceso de toma de decisiones.

La construcción de los mapas digitales de suelos contribuye a la generación de escenarios que facilitan la comprensión de los fenómenos relacionados con los suelos y el uso de la tierra.

La tecnología SIG es un instrumento muy útil en el proceso de diversificación agrícola.

La implementación de los SIG en la agricultura facilita la automatización de las recomendaciones de fertilizantes y la generación de cartogramas agroquímicos.

Mediante los SIG se pueden estudiar y monitorear fenómenos a través del tiempo como por ejemplo: evolución del uso de la tierra en una unidad productiva.

Esta tecnología puede ser aplicada en el diagnóstico e identificación de los suelos más propensos a la erosión, lo cual es de gran utilidad en los programas de mejoramiento y conservación de suelos.

REFERENCIAS

1. Balmaseda, C., A. Menéndez y D. Ponce de León. (1997), Sistemas de Información Geográfica como soporte de decisiones en áreas cañeras. Cuba & Caña, No. 3: 17-22.

2. Balmaseda, C., D. Ponce de León, J. González y Saddys Sedrera. (1999), Informe. Sistema de Información Geográfica del CAI Patria o Muerte. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana, 44pp.

3. Guzmán, Roberto A. (1995), Cañicultura y mapas digitales inteligentes. Procaña, No. 31, p 12 – 14.

4. McKenzie, S. A. (1990), Geographic Information System for the sugar industry. Proc. Austr. Soc. Cane Technol., p 9-12.

5. Platford, G.G. (1990), A Geographic Information System for use in the sugarcane industry. Proc. S. Afr. Sug. Teccnol. Ass., p 83 – 87.

6. Ponce de León, D., C. Balmaseda, R. Cabrera y C. De Armas. (1997), Evaluación de la aptitud de las tierras en áreas cañeras salinizadas. Utilización de un SIG. Cuba & Caña, No. 1, p 30 – 33.

7. Rocha, Jansle V. (1995), Uma nova tecnologia para gerenciamiento agrícola das usinas e destilarias. ÄLCOOL & AÇUCAR, No. 79, p 30 – 35.

IMPACTO SOCIO ECONOMICO AMBIENTAL DEL PROCESO DE EVALUACION DE TIERRA: FIN DE UN PARADIGMA

Arleni Pérez[1], E. García[1], Ledya Benítez[2], A. García[1], L. Hernández[1], A. Álvarez[3], C. Fernández[1], M. Fumero[1], Saddys Segrera[2], Yudith Viña[2].

[1] Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA)

Batey Las Mercedes. Florida. Camagüey

[2] Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA)

Carretera CUJAE Km 2 ½, Boyeros. Ciudad de La Habana.

[3] Empresa Azucarera Argentina

aperez@epica.cm.minaz.cu, saddys@inica.edu.cu, yudith@inica.edu.cu, ledya@inica.edu.cu

RESUMEN

El hombre vive gracias a los recursos que toma de la naturaleza pero muchas veces no valora como su explotación puede afectar el medio ambiente, le es difícil conocer donde sembrar sus cultivos de modo que no afecte el suelo y se logre una agricultura diversificada y sostenible. Entonces se necesita de una herramienta que nos brinde criterios para lograr la planificación científica del uso y manejo de los recursos naturales, materiales y humanos en la agricultura y particularmente en la cañera, que ocupa más de 135 mil ha en la provincia Camagüey, que requiere de una adecuada información sobre las condiciones naturales, la geográfica física del territorio, el suelo, el clima y la respuesta del cultivo a las condiciones edafoclimáticas. Para lograr diversificar la producción azucarera y a la vez introducir tecnologías de punta, se realizo la planificación científica del uso de la tierra tomando como base la evaluación de la aptitud física de las tierras, que conjuntamente con otras informaciones constituye una importante herramienta en la toma de decisiones para los directivos de todas las instancias, aporta criterios para la diversificación, a la vez que permite contar, por parte de los agricultores, con una base de datos, sistemas automatizados con alto nivel de actualización y mapas de suelos y cartográficos que sirven como preámbulo al empleo de sistemas de información geográfica y de acercamiento a la agricultura de precisión en vías de desarrollo sostenible, para lograr, conservar el medio ambiente, producir con eficiencia y satisfacer las necesidades agroalimentarias del hombre aplicando estrategias de desarrollo diversificado y sostenible.

Palabras claves: Tecnologías de avanzadas, Evaluación de Tierra, Diversificación, SIG.

SUMMARY

The man lives thanks to the resources who takes from the nature but often he does not value as its operation can affect the environment, it is difficult to him to know where to seed its cultures so that it does not affect the ground and a diversified and sustainable agriculture is obtained. Then it is needed a tool that offers criteria us to obtain the scientific planning of the use and handling of the natural resources, materials and humans in agriculture and particularly in the cane sugar, that it occupies more than 135 thousands has in the Camagüey province, that it requires of a suitable information on the natural

conditions, the geographic physics of the territory, the ground, the climate and the answer of the culture to the edafoclimáticas conditions. In order to manage to diversify the sugar production and simultaneously to introduce end technologies, the scientific planning of the Earth use having taken as it bases the evaluation of earth, that jointly with other information it constitutes an important tool in the decision making for the directors of all the instances, it contributes criteria for the diversification, simultaneously that allows to count, on the part of the agriculturists, with a data base, systems automated with high level of update and cartographic ground maps and that serve like introduction to the use as approach and GIS agriculture as sustainable developing precision, in order to obtain, to conserve the environment, to produce with efficiency and to satisfy the agro-alimentary necessities with the man being applied strategies of diversified and sustainable development

Words keys: Technologies of outposts, Earth Evaluation, Diversification, SIG.

INTRODUCCIÓN.

El suelo es la base de todos los programas de cultivo. Si se usa prudentemente, se puede lograr que produzca cosechas de altos rendimientos y al mismo tiempo conservar el medio ambiente. Pero si es usado imprudentemente o para propósitos para los cuales no es adaptable, los resultados serán decepcionantes incluso desastroso (Stallings, 1985). Por esto es importante que el productor conozca las capacidades de su tierra, que es uno de los tres elementos que constituyen los cimientos de la existencia humana. Dangenmond (1986) plantea que los métodos tradicionales usados para almacenar y analizar los datos que tengan expresión geográfica de referencia, son usualmente engañosos, lentos y de una precisión dudosa, ya que dependen en gran medida de la experiencia del especialista que los analiza.

La implementación de bases de datos integradas y el uso de sistemas de información geográfica (SIG), son herramientas frecuentemente usadas, útiles y versátiles (Burrough, 1993). Los modelos para este tipo de análisis, utilizan información acumulativa, multivariada y precisa, tanto territorial como puntual que representa objetos continuos en espacio tridimensional.

En la adecuación camagüeyana de la Agenda 21, aprobada en ese evento, se plantea dentro de uno de los objetivos fundamentales, la necesidad de trabajar en función de que, junto a la planificación del uso de la tierra, se garantice que los planes y programas agrícolas, pecuarios y forestales, se elaboren tomando en consideración los estudios de adaptabilidad de tierras en función de una agricultura diversificada y sostenible, que se analicen y retroalimenten a nivel de base, señalando además la necesidad de lograr una fuerte coordinación entre todas las instituciones del país que participan en la elaboración de los mismos, dando a la actividad de evaluación de tierras un carácter investigativo institucional para que la misma pueda jugar el papel que le corresponde en el desarrollo de una agricultura sostenible.

En cualquier valoración que se realice del comportamiento de un campo, un bloque, una unidad productora o al nivel de una provincia, con respecto a un cultivo, se está evaluando la tierra. Esto es lo que comúnmente se hace cuando se realiza un diagnóstico de los factores limitativos en una zona con respecto al cultivo de la caña de azúcar y se pronostican los rendimientos a obtener con tales condiciones.

Por tanto, la evaluación de tierras en su forma tradicional, puede definirse como el proceso de estimación del potencial de la tierra para un tipo de uso específico (Dent y Young, 1981), por lo que su objetivo principal es relacionar el mejor uso posible entre varios, para la unidad de que se trate, para lo cual se tienen en cuenta aspectos físicos, sociales y económicos.

En su forma actual, la evaluación de tierra busca también evaluar y predecir el impacto ambiental de uno o varios tipos de usos. Su principal utilidad es proporcionar a los usuarios o responsables de la planificación y manejo a diferentes niveles, las bases para la toma de decisiones más racionales entendiendo que la planificación del uso de la tierra, tiene como objetivo principal, asegurar que la superficie del terreno, se empleé en tal forma, que permita obtener los máximos beneficios socio-

económicos, donde se incluye la producción de alimentos sin la degradación de los suelos, el agua y el ambiente en general, es decir que a través de las diferentes técnicas de planificación del uso de la tierra se garantice un desarrollo sostenible y armónico de la agricultura.

En Cuba el estudio de los ecosistemas agrícolas para lograr un óptimo aprovechamiento de los recursos naturales en función del rendimiento agrícola y de la preservación del medio ambiente, ha sido abordado tradicionalmente mediante estudios edafológicos monotemáticos puntuales, en los que usando mapas y resultados tabulares se le ha dado una solución lo más aceptable posible desde el punto de vista técnico. No obstante la lentitud del proceso, la dudosa precisión de los datos y la imposibilidad de realizar análisis multivariado generaba una solución económicamente dudosa. Esta situación se ha visto reflejada en la aplicación no siempre correcta de los criterios económicos y un manejo individual de los insumos o medidas para el incremento de los rendimientos como son el empleo de los fertilizantes, el riego, etc.

Los trabajos nacionales más relevantes para evaluar la calidad de la tierra dedicada al cultivo de la caña de azúcar y otros han sido realizados por la Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes. (Mesa et al, y Sulroca), citados por Roldós (1986), los que categorizaron la calidad de las tierras haciendo una escala evaluativa de acuerdo a los factores limitativos que más inciden y basándose además en los rendimientos obtenidos. En el caso de la caña de azúcar se realizaron estudios de los factores limitativos principales y se establecieron coeficientes de afectación para los suelos y su incidencia sobre los rendimientos.

El Ministerio del Azúcar se encuentra enfrascado en un arduo proceso de reordenamiento territorial de sus áreas, para lo cual es necesaria la utilización de la información catastral, la cual es potencialmente útil para muchos propósitos, por otra parte el INICA ha alcanzado cierta experiencia en la utilización de la tecnología de Sistemas de Información Geográfica como base para la Toma de Decisiones concernientes a evaluación, uso y manejo de la agricultura cañera.

Basados en estas ideas y las palabras de nuestro Comandante, cuando hace 42 años reunido con 600 Coordinadores de cooperativas Cañeras expresó:

… A ustedes le conviene poder producir el máximo; si ustedes producen más caña en menos tierra y producen en esas mismas tierras una mayor cantidad de otros productos, significa más ingresos, significa más trabajo y significa que la economía de la nación es mas sólida, porque si en un momento dado tenemos que sufrir un descenso de los precios, a ustedes no les afecta tanto si están dependiendo de otros productos y no de la caña solamente; si ustedes están dependiendo solamente de la caña, entonces ustedes son muy sensibles a cualquier baja de precios, pero si ustedes además de caña tienen otros muchos productos, ustedes resisten perfectamente cualquier baja de precios en el mercado, sin que halla desempleo o sin que halla aprietos en las cooperativas. Ustedes tienen la gran oportunidad ahora de librarse del monocultivo.....

Es por ello que el presente trabajo cumple el objetivo de lograr, sobre las bases de un proceso de transformación territorial sustentable y eficaz del área vinculada a la caña de azúcar y la industria azucarera, alcanzar la diversificación apropiada sobre bases agro ecológicas de forma que se preserven las capacidades productivas y funcionales de los recursos naturales con elevada estabilidad, rentabilidad y viabilidad social, económica, tecnológica y financiera, a la vez que se eleve o mejore la equidad social en las comunidades implicadas en el programa o afines a las mismasasí como la conservación del medio ambiente.

MATERIALES Y METODOS

Procedimiento Evaluación de la aptitud Física de las tierras:

-Modelo Empleado: *AGRO24*

-Cultivo a evaluar (TUT): Caña de Azúcar.

-Variables consideradas: Tipo y subtipo de Suelo, Profundidad Efectiva, Pendiente, Pedregosidad, Rocosidad, Salinidad, pH, Aluminio, CIC, Drenaje, Compactación y Precipitaciones.

-Criterio de evaluación: El factor limitativo que más afecta el Rendimiento Potencial del suelo.

1.1 Diversificación de las tierras

1.Se tomó como base la evaluación de la aptitud física de las tierras de las áreas del MINAZ en la provincia

2.Se tomó como premisa emplear para el cultivo de la caña de azúcar los suelos con mejor aptitud productiva. *A1-Aptas sin limitaciones, A2-Moderadamente aptas,* A3–Marginalmente aptas

3.Darle a la tierra el uso más apropiado según las características físicas, químicas e hidrofísicas de los suelos y el clima de las zonas de estudio.

4.Crear una base de conocimientos para establecer los requisitos de utilización de la tierra (RUT) establecidos para los distintos grupos de cultivos. Tabla 1

TABLA 1: REQUISITOS DE UTILIZACION DE LA TIERRA (RUT) ESTABLECIDOS PARA LOS DISTINTOS GRUPOS DE CULTIVOS

FACTORES DEL SUELO	CULTIVOS					
	VIANDAS	HORTAL.	GRANOS	GANADER.	FRUTALES	FORESTALES
Prof. Efectiva (cm)	≥30	≥25	≥20	≤20 y >40	≥40	<20 y >40
Pedregosidad	Mod. Ped No pedreg	Mod. Ped No pedreg	Mod. Ped No pedreg	Pedregos. Mod. Ped.	Pedregos. Mod. Ped.	Pedregos. Mod. Ped.
Rocosidad	No rocoso	No rocoso	No rocoso	Rocoso Mod. Roc.	Rocoso Mod. Roc.	Rocoso Mod. Roc.
Pendiente	Llano Casi llano	Llano Lig. Ond	Llano Lig. Ond.	Llano Fte. Ond.	Llano Ondulado	Llano Fte. Ond.
Drenaje	Bueno Moderado	Bueno Moderado	Bueno Moderado	Moderado Deficiente	Bueno Moderado	Moderado Deficiente
Salinidad	No salino	No salino	No salino	Med. salino	Med. salino	No salino
Fertilidad Natural	Media Alta	Media Alta	Media Alta	Baja Media	Baja Alta	Baja Muy baja

1.1.1 Cartografía digital

1.1.2 El mapa catastral, a nivel de bloques, y el de suelos, ambos a la escala 1:25000, fueron digitalizados en un sistema CAD (Computer Aided Design).

1.1.3 Implementación de un Sistema de Información Geográfica

Los mapas digitalizados, fueron introducidos en un Sistema de Información Geográfica (ILWIS 2.2). De igual forma se hizo con las bases de datos de atributos para facilitar de esta manera su manipulación, creando diferentes escenarios con las alternativas que se estudiaron.

1.2 Diversificación – Hombre – Medio Ambiente - Ciencia

1. Se aplicaron diferentes técnicas participativas para conocer los criterios y las necesidades del Hombre de Conservar el Medio Ambiente.

-Tormentas de ideas

-Comunicación cruzada

-Entrevistas

2. Emplear los diferentes resultados encontrados por la ciencia en la agricultura cañera para obtener productos competitivos, sobre bases agro ecológicas, preservando el medio ambiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones económicas y ambientales del momento han promovido el desarrollo de nuevas técnicas de manejo de los sistemas agrícolas. Con el rápido desarrollo de nuevas tecnologías e información y comunicaciones se han diseñado sistemas alternativos para lograr en la agroindustria azucarera producciones diversificadas, sostenibles, eficientes, conservando siempre el medio ambiente.

El deterioro de los sistemas productivos constituye una amenaza evidente y grave para las aspiraciones de un desarrollo sostenible. La solución, está por tanto en el planeamiento y manejo integral del recurso tierra (Dumanski, 1993). Por tal motivo se ha realizado el estudio de la evaluación de la aptitud física de las tierras dedicadas al cultivo de la Caña de Azúcar, estudio que ha servido de base para la introducción de tecnologías de avanzadas en la agricultura cañera. Siendo hoy una herramienta para la toma de decisiones en el proceso diversificacion. Camagüey, una de las principales productoras de caña y de azúcar del país, cuenta al Minaz, como el mayor poseedor de tierras, se realizó la evaluación del 86,47% del área total de la provincia. El resto no evaluado corresponde a bateyes, presas, caminos y otras instalaciones. En el gráfico 1 se muestran los resultados de la evaluación de la aptitud de las áreas donde 76.1% presenta perspectiva para el cultivo de la Caña de Azúcar(A1,A2,A3) 23.9% restante no aptas (N).

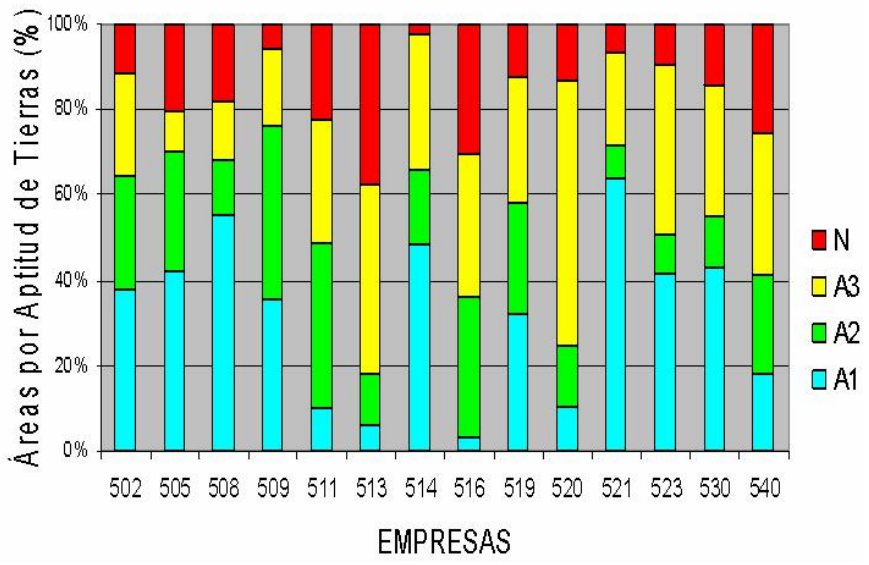


Gráfico 1: Comportamiento de la aptitud de las tierras en la provincia de Camagüey

1.2.1.1.1 Se destacan los bajos potenciales que se obtienen en suelos no aptos que no sobrepasan como promedio las 20 t/ha. Si se tiene en cuenta que la provincia, de acuerdo a los planes perspectivos hasta el año 2010 debe contar con unas 190 mil ha plantadas con caña de azúcar, existen suelos de superiores categorías en que puede ubicarse el cultivo, eliminando del fondo de tierra los suelos no aptos. Con esta medida derivada del presente trabajo, pueden incrementarse los rendimientos potenciales, los cuales difieren considerablemente de los actuales. Demostrándose que es posible alcanzar las 54t/ha previstas en la tarea "Álvaro Reynoso".

Las áreas no aptas, convenientemente tratadas pueden destinarse a cualquiera de los usos planificados dentro de los procesos de diversificación en que se encuentra enfrascados el MINAZ.

1.2.1.1.2 Los resultados económicos potenciales, con incrementos superiores a los $ 490.00 por hectárea en moneda nacional y a $ 114.00 USD/ha en capacidad de compra en divisas, justifican plenamente su aplicación.(tabla 2).

Tabla 2: Rendimientos actuales y potenciales a alcanzar empleando solamente suelos aptos (t/ha)

	Liquid. Zafra	Potenciales	Diferencias	Valor Inc. ($)
502.-Ignacio Agramonte	30.85	59.10	28.25	611.67
505.- C. M. de Céspedes	34.88	61.25	26.37	570.97
508.-Rep. Dominicana	28.62	73.19	44.57	965.03
509.- Argentina	40.96	56.20	15.24	329.98
511.- Brasil	30.42	49.20	18.78	406.62
513.- Sierra de Cubitas	29.30	41.18	11.88	257.23
514.- Haití	34.28	58.38	24.10	521.82
516.- A. Alvarez Mola	33.42	45.19	11.77	254.85
519.- Cdo. González M.	27.00	53.27	26.27	568.80
520.- Noel Fernández	36.24	41.64	5.40	116.91
521.-. Siboney	35.74	64.84	29.10	630.02
523.- Panamá	33.85	60.90	27.05	585.63
530.- J. Suárez Gayol	34.19	59.68	25.49	551.85
540.- B. De las Guásimas	34.28	48.53	14.25	308.51
Provincia	**32.82**	**55.46**	**22.64**	**490.16**

En la tabla 3 se analizan los incrementos potenciales a alcanzar, utilizando solamente áreas aptas, partiendo de que existe una diferencia de 22.64 t/ha al compararla con la producción alcanzada, que a los precios actuales de 21.65 MN por tonelada de caña equivale a 110871620.3 MN y 94240877.1 USD, sin incluir el incremento en la capacidad de compra y los ingresos directos en divisas libremente convertibles que reciben los agricultores.

Analizando por ejemplo, el caso particular de Argentina (Empresa de Referencia), se alcanza un incremento de más de 4 millones de MN y 3 millones de USD.

Tabla 3: Incremento Potencial a alcanzar empleando solamente suelos aptos

EMPRESAS	Area (ha) A1+A2+A3	Dif.Rend. (t/ha)	Pot.Increment. (t/ha)	Incremento ($)	Incremento (USD)
502 I. Agramonte	14355.8	28.25	405551.3	8780185,6	7463157,7
505 C. M. Céspedes	14097.3	26,37	371745.8	8048296,5	6841052
508 Rep. Dominic.	15907.2	44,57	708983.9	15349501,4	13047076,1
509 Argentina	**12593.0**	**15,24**	**191917.3**	**4155009,5**	**3531758**
511 Brasil	25048.0	18,78	470401.4	10184190,3	8656561,7
513 Sierra	14961.0	11,88	177736.6	3847997,3	3270797,7
514 Haití	14316.4	24,1	34135.2	739027	628172,9
516 A. A. Mola	6469.8	11,77	76149.5	1648636,6	1401341,1
519 Candido Glez.	13108.6	26,27	344362.9	7455456,7	6337138,1
520 Noel Fdez.	16160.0	5,4	87264.0	1889265,6	1605875,7
521 Siboney	4985.1	29,1	145066.4	3140687,5	2669584,3
523 Panamá	32888.0	27,05	889620.4	19260281,6	16371239,4
540 J. S. Gayol	23374.6	25,49	5958.1	128992,8	109643,88
530 Batalla	17931.5	14,25	255523.8	5532090,2	4702276,67
Provincia	**226196.6**	**22,64**	**5121091.0**	**110871620,2**	**94240877,17**

Las principales causas que provocan la no aptitud de las tierras para el cultivo de la caña de azúcar resultaron ser la poca profundidad efectiva, la baja fertilidad natural, el mal drenaje, la compactación y la salinidad, por lo que los planes de mejoramiento deben encaminarse a solucionar dichas limitaciones. Estos resultados se muestran el el Gráfico 2.

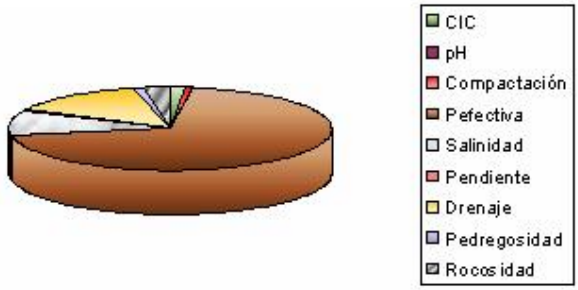


Gráfico 2. Principales causas de la aptitud de las tierras (%)

El MINAZ desarrolla actualmente el Proceso de Reestructuración de sus áreas (Diversificación y Reordenamiento territorial), proceso que debe apoyarse en bases sólidamente fundamentadas en el conocimiento de la aptitud física y económica de su fondo de tierras que permitan reducir el margen de error de las decisiones. Entre algunas de esas medidas tenemos la planificación agrícola objetiva sustentada en una evaluación de las tierras, donde cada parcela de tierra perteneciente al MINAZ sea utilizada de manera eficiente, con la mejor opción de uso de acuerdo con su vocación, teniendo en cuenta no sólo aspectos físicos de los suelos, sino también elementos del relieve, el clima, y las actividades realizadas por el hombre, así como el entorno económico y social en que se encuentra, en la provincia de Camagüey las áreas del sector quedan distribuidas como se muestra en el Grafico 3.

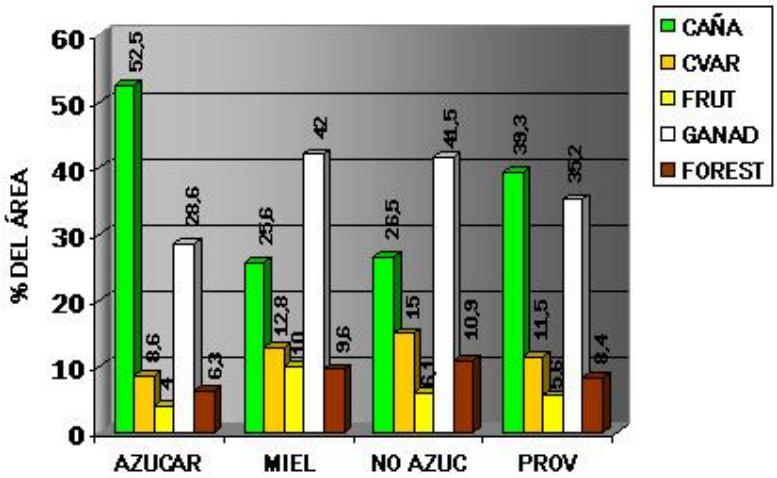


Gráfico3: Distribución de utilización de las tierras en las empresas de Camagüey.

De forma general se puede apreciar que Camagüey consta con un 39.3% de su área dedicada al cultivo de la caña, un 35.2 % a la ganadería (por su características del suelo), 11.5% dedicadas a cultivos varios, 5.6 a frutales, 8.4 a forestales, demostrando así que se trabaja en la Diversificación de la Producción, un elemento integrador de las potencialidades productivas con que cuentan las Empresas, pues permite explotar con más efectividad las capacidades productivas y el talento humano, en función de desarrollar o crear nuevos renglones productivos que generen un nivel suficiente de producción y de aporte económico.

Por otra parte, el destino de las áreas no aptas para el cultivo de la caña a otras producciones, además de la solución de importantes problemas sociales como lo es la producción de alimentos para los

trabajadores del sector y la población, representa nuevas vías de ingreso para las unidades productoras y empresas, tanto en moneda nacional como en divisas, pues se conoce que la ganadería en cualquiera de sus tipos aporta importantes renglones para el consumo nacional y las exportaciones, como son la carne y sus derivados, la leche y sus subproductos, huevos y otros. Logrando con esto un incremento en los ingresos netos.

El sector de la ciencia , es parte de todo este programa de acciones y dentro de este sector el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar en este caso nos referimos a la EPICA Camagüey, una vía práctica y objetiva de escalar niveles superiores en la producción fortaleciendo las estructuras organizacionales, la cultura gerencial y el comportamiento organizacional basado en tecnologías de avanzadas Conociendo las bondades de las tecnologías de avanzadas (SIG) y la aptitud de las tierras vinculamos cada uno de los servicios científicos técnicos que le ofrecemos al productor obteniendo un producto mas visible y ameno para la toma de decisiones en el proceso de diversificación (Gráfico 4-5).

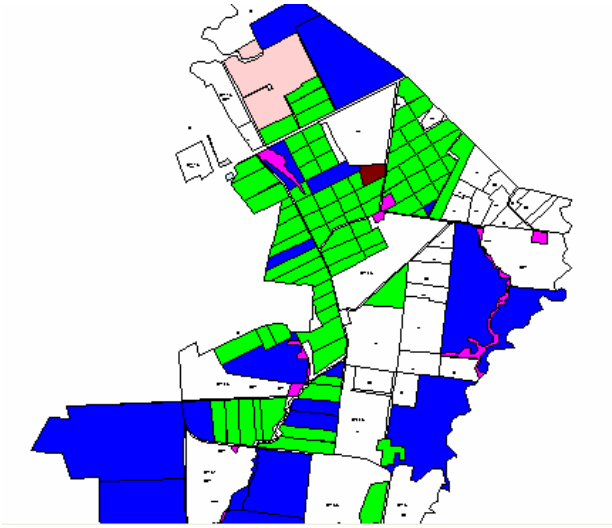


Gráfico 4: Representación temática del uso y distribución de área en la Entidad Productora "Los Angeles"

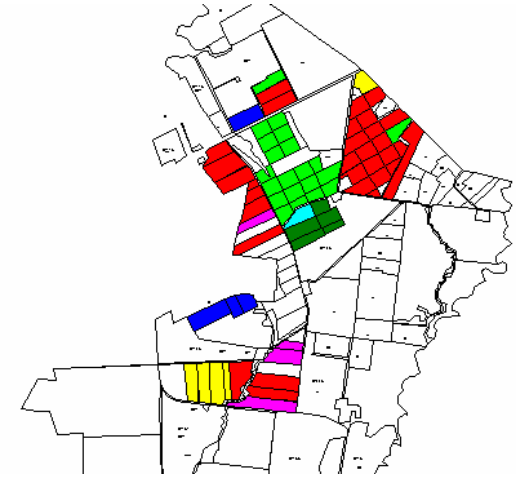


Gráfico 5: Representación temática de la ubicación de variedades en la Entidad Productora "Los Angeles"

Estas representaciones gráficas, ayudan a tomar decisiones en los servicios Fitosanitarios (SEFIT) y de control de malezas como el SERCIM, pues si ya conocemos la ubicación georreferenciada de cada

aspecto se puede realizar un mejor manejo ecológico integral y contar con bases para la adopción de las mejores decisiones de uso de la tierra, considerando los aspectos ambientales, culturales, económicos, sociales, para el futuro de la agroindustria azucarera,

CONCLUSIONES

Impacto Económico

Se tratan las perspectivas de incorporación de los productos del agro al mercado competitivo, reduciendo significativamente la entrada a los sistemas agrarios de contaminantes, como los combustibles, lubricantes, fertilizantes minerales, herbicidas y pesticidas. Además de diversificar las producciones hasta llegar a comercializar productos elaborados.

-Ahorro de 490.16MN y 114.40USD, en capacidad de compra para las unidades productoras por concepto de Evaluación de Tierra (SIG) .

-Los suelos tienen una marcada influencia en la economía del país y en su producción, y por tanto, influyen decisivamente en la sociedad con la que están relacionados.

-En la actualidad los bajos rendimientos agrícolas demanda de una necesaria toma de decisiones físicas, económicas y socialmente oportunas, para lo cual la ET y SIG son requisitos indispensables para incrementar los rendimientos y disminuir los costos económicos.

-Incremento en los ingresos netos, pues no solo vivimos de la caña, sino de otros derivados.

-Por concepto de ET se crea una capacidad de 110871620 MN y 94240877USD en la provincia, lo que disminuye el costo x t/ha.

-Protección del Recurso Suelo. Valor incalculable para la economía del país.

Impacto Social

Las tecnologias de avanzadas hoy día se concibe como un dispositivo que garantiza el contacto e interacción efectivo con los productores, con los cuales se debe definir previo diagnóstico concertado con la participación de productores e investigadores, las acciones a realizar (planificación) y su seguimiento, así como la evaluación de los impactos en términos tecnológicos, económicos, sociales y ambientales. La unión profesional – popular debe contribuir al aumento de la producción, la productividad, el ingreso neto y el bienestar de las familias rurales sin detrimento del medio ambiente. De esta manera es concebido como un instrumento para el desarrollo diversificado y sostenible

Evaluación de tierra y los SIG*:* permite lograr un cambio en la mentalidad del hombre en cuanto al uso de la tierra, partiendo de sus potencialidades.

El manejo sostenible de las tierras puede considerarse, entonces como una combinación de tecnologías, políticas y actividades, en la cual se consideran tanto principios económicos-sociales, como razones ambientales de forma simultánea.

Impacto Ambiental

Lograr altos rendimientos, sobre las bases de un proceso de transformación territorial sustentable y eficaz del área vinculada a la industria azucarera, alcanzando la diversificación apropiada sobre bases agroecológicas.

- Las áreas con categorías de aptitud marginal (según lugar in situ) y no aptas reúnen los requisitos de uso para ubicarles otros cultivos, fomentar frutales y bosques o desarrollar la ganadería, como parte del programa de diversificación que desarrolla el MINAZ

- Los resultados obtenidos sirven como base para el manejo agrícola utilizando sistemas alternativos como la agricultura de precisión (SIG)
- Lograr un manejo adecuado de un recurso natural tan importante como es el suelo y otros beneficios ecológicos que se logran al aplicarse una agricultura sobre bases de sostenibilidad.

El uso de tecnologías de punta brinda a todas las instancias del Ministerio del Azúcar, los criterios necesarios para reorganizar la producción cañera a partir de la aptitud de las tierras y enfrentar a su vez, la diversificación de la agroindustria azucarera sobre bases técnicamente fundamentadas.

RECOMENDACIONES

Desarrollar un proceso de capacitación a los directivos del MINAZ, para el uso de las tecnologías de avanzadas pues con la aparición en el mercado de poderosos sistemas para el manejo de la información geográfica SIG y de los sistemas de posicionamiento global nos obligan a estar preparados para enfrentar el salto tecnológico al nivel del sistema MINAZ.

BIBLIOGRAFÍA

- Pérez Arlenis. (2001): Evaluación de la Aptitud Física de las Tierras dedicadas al cultivo de la caña de azúcar de la provincia Camagüey . Programas y Resúmenes. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. 227pp

- Cabrera, A y Peláez, A (2001): Retroalimentacion educativa dentro del proyecto desarrollo integral de la cuenca de Atecuaro, Michoacán, México. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero Cuba, Simposio de Extensionismo, pp: 4-5.

- MINAZ, (2002):Documento Programático sobre el proceso de Reestructuración del MINAZ “Tarea Alvaro Reynoso”.

- Benítez Ledya, (2002): Implementación y desarrollo de la Proyección Territorial en la Agricultura Cañera. Proyecto de Innovación Tecnológica.

- García, E, (2002): Resumen Provincial del Frente Científico. Archivo Estación Provincial de la Caña de Azúcar Camagüey.

MODELACIÓN DEL DESEMPEÑO EN TRACCIÓN DE TRACTORES DE 30 KN, PARA EL TIRO DE CAÑA DE AZÚCAR EN SUELOS BLANDOS.

AUTORES:
Ms. C. Omar González Cueto[1].
Dr. Ing. Miguel Rodríguez Orozco[2.]
Lic. Milagros Santos Acosta[3].

Centro:
[1] Departamento de Mecanización Agropecuaria. Universidad Central de las Villas, Cuba
e-mail: omar@agronet.uclv.edu.cu
[2] Centro de Investigaciones Agropecuarias. Universidad Central de las Villas, Cuba
e-mail: miguelro@agronet.uclv.edu.cu
[3] Departamento de Auditoria. Dirección provincial BPA, VC, Cuba
e-mail: auditoria@mailscan.vc.bpa.cu

PALABRAS CLAVES: Modelo, tracción, tractor, Brixius, humedad.

Resumen:

Estudios realizados al comportamiento de las lluvias durante la zafra azucarera, en la costa norte de Villa Clara, desde 1976 hasta el 2003; muestran que el 60 % de estas se han realizado con acumulados de lluvias superiores a 215 mm. Provocando la interrupción de la zafra, en los centrales donde prevalecen los vertisoles, debido a que la tecnología cubana actual para el transporte y cosecha de la caña de azúcar es inadecuada para el trabajo en suelos blandos. La presente investigación se realiza con el objetivo de predecir el comportamiento en tracción de los tractores Fiat 110 90 y T 150 K, en índices de cono (IC) inferiores a 500 kPa, condiciones de alta humedad o suelo blando. El modelo utilizado es el de Brixius. Los principales coeficientes y fuerzas que caracterizan la dinámica de tracción (resistencia a la rodadura, fuerza a la barra de tiro, coeficiente de resistencia a la rodadura, coeficiente de tracción neta, coeficiente de tracción bruta y eficiencia de tracción) fueron obtenidos en función del IC, carga dinámica en las ruedas y tipo de neumático. Los resultados mostraron que la realización del tiro con remolque RA-6 (resistencia traccional 11 kN) sólo se puede lograr a partir de IC superiores a 400 kPa para el tractor Fiat 110 90 y a 350 kPa para el T 150 K, ambos trabajando con un 20 y 22 % de patinaje respectivamente.

TRACTION PERFORMANCE MODEL OF 30 KN TRACTORS, FOR SUGAR CANE TOW ON SOFT SOIL.

Abstract

The rain behavior during the sugar cane harvest, in the north of Villa Clara, from 1976 up to 2003, shows that the 60 % have been carried out with raining accumulated bigger than 215 mm, which caused the interruption of the harvest, in the sugar mill where the vertisols prevails, because the current Cuban technology for harvest and sugar cane transport is inadequate for the traffic on soft soils. This paper have a main purpose to predict the tractive performance of Fiat 110 90 and T 150 K tractors, in cone indexes (CI) less than 500 kPa. The model used was "Brixius Model". The main ratios and forces that characterize the traction dynamics (motion resistance, net pull, motion resistance ratio, gross traction ratio, net traction ratio and tractive efficiency) were obtained as a function of soil strength, wheel load and tire size. The results showed that sugar cane tow RA-6 (motion resistance 11 kN) only can pull on with CI bigger than 400 kPa for tractor Fiat 110 90 and bigger than 350 kPa for T 150 K, both working with 20 and 22 % of wheel slip.

Keywords: Model, traction, tractor, Brixius, moisture

INTRODUCCIÓN

Dentro de los suelos destinados a la producción de caña de azúcar ocupan una posición destacada los vertisoles, los cuales en Cuba representan el 37 % del área. Estos poseen condiciones físicas excelentes para el desarrollo de la plantación, sin embargo su característico mal drenaje puede afectar su productividad agrícola y provocar la interrupción de la zafra, después de intensas lluvias, durante días, semanas y en ocasiones hasta meses. Debido a la humedad el suelo disminuye su resistencia a la compresión y al desplazamiento y su capacidad de soportar el paso de la maquinaria agrícola, comportándose como un suelo blando.

Rodríguez (1999), consideró una zafra húmeda aquella que origina pérdidas de tiempo por humedad en los campos superiores a 15 % o con acumulados de lluvia mayores de 215 mm. Al evaluar el período 1976 – 1990 bajo estos criterios, encontró que el 60 % de las zafras se desarrollaron en condiciones de alta humedad, manteniéndose un comportamiento similar para el período 1990 – 2003.

Con vistas a resolver el problema que origina la interrupción de la cosecha y al elevado costo que implica la realización de las zafras en condiciones húmedas. El Departamento de Mecanización Agropecuaria de la Universidad Central de las Villas y el Ministerio del Azúcar, a través del desarrollo de varios Proyectos de Investigación Territorial del CITMA, trabajan en función de la introducción de un complejo de máquinas para la cosecha y el transporte en vertisoles con alta humedad. La utilización de este equipamiento puede extenderse hacia cualquier condición de suelo, beneficiando el desarrollo de la plantación como consecuencia de una menor compactación asociada al paso de las máquinas.

El presente trabajo se propone a partir del modelo de Brixius (1987), adoptado por la ASAE (Sociedad Americana de Ingeniería Agrícola) para la predicción del desempeño en tracción de tractores agrícolas, alcanzar los siguientes objetivos:

1. Obtener los valores de la fuerza a la barra de tiro que pueden desarrollar tractores de la clase traccional 30 kN de 50 y 80 kN de peso en condiciones de suelo blando.
2. Establecer los límites de índice de cono, a partir del cual la realización del tiro de la caña de azúcar no es posible debido a la insuficiente capacidad de paso.
3. Evaluar la utilización de la transferencia de peso del remolque al tractor, como vía para mejorar las cualidades de tracción

La modelación permite al ingeniero, investigador o diseñador evaluar el funcionamiento de un determinado proceso en un amplio rango de variantes y condiciones sin incurrir en costosos ensayos. La predicción del desempeño de los tractores ha sido un objetivo primordial de muchos investigadores. Grandes avances se han hecho en los últimos años en la predicción del desempeño en el campo, del tractor agrícola, a través de pruebas de tracción. Alrededor del 20 al 55 % de la energía del tractor es gastada en la interacción neumático-suelo, Zoz y Grisso (2003), Zoz (1987).

Dentro de los métodos de predicción, los que utilizan el índice de cono, son los mas ampliamente utilizados, todos ellos plantean procedimientos de cálculo similares, diferenciándose fundamentalmente por las ecuaciones y el valor que les dan a las constantes numéricas de ajuste.

Freitag (1965) y Turnage (1972) realizan ensayos de tracción sobre suelos arcillosos y arenosos, con diferentes tipos de neumáticos y condiciones de suelo. Conciben un número adimensional que combina diferentes características del neumático con el índice de cono. Estos números adimensionales constituyen la base de las expresiones matemáticas para los cálculos de predicción y han sido modificados a partir del avance en su estudio y precisados continuamente en sus constantes.

Wismer y Luth (1974) desarrolló ecuaciones, para neumáticos operando en suelos cohesivos y friccionables, presiones de inflado nominales y deflexión del neumático del 20 %. Basó su modelo en el número de la rueda (CN), que relaciona el índice de cono (IC), el ancho (b) y el diámetro (d) del neumático con el peso dinámico en el eje (Wd).

Brixius (1987), trabajando sobre las ecuaciones de Wismer y Luth (1974) desarrolló un modelo que mejoraba la precisión de los resultados y extendía su rango de aplicación, desde mini tractores para huerta o jardín, hasta grandes tractores pesados. Los límites aplicables incluyen todas las condiciones encontradas para neumáticos agrícolas. Las ecuaciones no son adecuadas en neumáticos con diferencias radicales en la banda de rodadura y en el diseño de la carcasa. El rango de aplicación incluye los neumáticos que cumplen las siguientes relaciones: b/d de 0.2 a 0.7, deflexión (δ)/ altura de la sección (h) de 0.1 a 0.3, Wd/bd de 18 a 55 kN/m^2 e índices de cono de 200 a 5000 kPa.

Expresó las ecuaciones a partir del número de movilidad (Bn), el cual combina con el número de la rueda, la relación de deflexión y la relación ancho-diámetro del neumático. El torque en la rueda (T), resistencia al movimiento (MR), tracción neta (NT) y eficiencia tractiva (TE) son predichas en función de la resistencia del suelo, carga sobre el neumático, patinaje, dimensiones y deflexión del neumático.

El desempeño en tracción es afectado por la resistencia del suelo a tensiones normales y tangenciales. En general la resistencia a tensiones normales tiene mayor influencia en la resistencia al movimiento y la resistencia a tensiones tangenciales en el patinaje del vehículo, Zoz y Grisso (2003). El penetrómetro de cono ASAE S313.3 es el instrumento mas utilizado y provee información combinada de la resistencia normal y a cortante. Esta medición entrega el índice de cono, el cual es medido en los primeros 100–150 mm del suelo para los ensayos de tracción, Wismer y Luth (1974), Srivastava y col. (1992), Goering y col. (2003) y Zoz y Grisso (2003). Brixius (1987), de acuerdo a los resultados del índice de cono clasifica los suelos en blandos, medios y firmes. Clasificación similar adoptan Goering y col. (2003) y Zoz y Grisso (2003), entre otros, sin embargo no coinciden con Srivastava y col. (1992), que plantea los rangos de índice de cono de 330 kPa para suelos blandos hasta 1000 kPa para suelos firmes.

Las vías de cálculo se encuentran en continuo perfeccionamiento, y son muchos los investigadores que han trabajado este tema, como: Bekker (1960), Freitag (1965), Turnage (1972), Wismer y Luth (1974), Dwyer (1984), Gee-Clough (1978), Zoz y Brixius (1979), Mc Allister (1983 y 1986), Leviticus y Reyes (1983), Clark (1985), Brixius (1987), pero las mas comúnmente aceptadas son las de Brixius (1987).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del modelo se escogieron los tractores Fiat 11090 (Foto 1) y T 150 K (Foto 2), clase traccional 30 kN, 4x4, y pesan 50 y 80 kN respectivamente, similares a los utilizados en los países que cosechan la caña de azúcar en alta humedad, González (2002)

Los procedimientos de cálculo se establecen a través del modelo de predicción de Brixius (1987), propuesto por Srivastava y col. (1992), Zoz y Grisso (2003), Goering y col. (2003), ASAE S497.4
Para facilitar el procesamiento, los datos y ecuaciones fueron montados en una hoja de cálculo de Excel.

Foto No. 1

Tractor Fiat 11090

Foto No. 2

Tractor T 150 K

La metodología utilizada, Brixius (1987), Srivastava y col. (1992), Zoz y Grisso (2003) y Goering y col. (2003), incluye:

- Cálculo del peso dinámico

$$Wdr = Wsr + Cdw * NT \quad (1)$$
$$Wdf = Wsf - Cdw * NT \quad (2)$$

Wdr : Peso dinámico en el eje trasero kN
Wdf : Peso dinámico en el eje delantero kN
Wsr : Peso estático en el eje trasero kN
Wsf : Peso estático en el eje delantero kN
Cdw : Coeficiente dinámico de transferencia de peso, 0.20 para implementos remolcados, Srivastava y col. (1992).

- Cálculo del Número de Movilidad (Bn). Teniendo en cuenta que el ancho del neumático se refiere al ancho combinado de todos los neumáticos que soportan el peso del eje

$$Bn = \frac{IC * b * d}{Wd} * \left(\frac{1 + 5 * \frac{\delta}{h}}{1 + 3 * \frac{b}{d}} \right) \quad (3)$$

- Cálculo del Coeficiente de Resistencia al Movimiento (ρ)

$$\frac{MR}{Wd} = \rho = \left[(\frac{1}{Bn}) + 0.04 + (\frac{0.5 * S}{\sqrt{Bn}}) \right] \quad (4)$$

S: patinaje

- Cálculo del Coeficiente de Tracción Bruta (μ_g).

$$\frac{T}{SLR * Wd} = \mu_g = 0.88 * (1 - e^{(-0.1*Bn)}) * (1 - e^{(-7.5*S)}) + 0.04 \qquad (5)$$

SLR: Radio estático cargado

- Cálculo del Coeficiente de Tracción Neta (μ_n).

$$\mu_n = \mu g - \rho \qquad (6)$$

- Cálculo de la fuerza a la barra de tiro o tracción neta

$$NT = \mu_n * Wd \qquad (7)$$

- Cálculo de la Eficiencia de Tracción

$$TE = \frac{\mu_n * (1 - S)}{\mu_g} \qquad (8)$$

Los cálculos se realizan para cada eje motor. Para un determinado patinaje S, la fuerza a la barra de tiro debe ser calculada iteractivamente , porque Bn para cada eje depende del peso dinámico en el eje, el peso dinámico depende del peso transferido y el peso transferido depende de la fuerza a la barra de tiro. El procedimiento utilizado asume un valor 0 de transferencia de peso en la primera iteracción, lo cual permite el cálculo de un valor inicial de fuerza a la barra de tiro. Este valor puede ser usado en las ecuaciones 1 y 2 para obtener nuevos pesos dinámicos, después del cual un nuevo valor de NT puede ser calculado. Después de varias interacciones el valor de NT converge hacia alguna constante. Este procedimiento es fundamental cuando se modela un tractor 4x2.

La corrida del modelo se inició obteniendo el patinaje que origina eficiencia de tracción máxima. Se seleccionó un valor de IC, 400 kPa, correspondiente con el suelo blando y con la resistencia del vertisol a la penetración en condiciones húmedas, reportado por González (2002). Se estableció un rango de patinaje de 4 a 30 % , ya que en las condiciones normales de campo un patinaje superior al 30 % no es práctico para continuar operando, y la eficiencia de tracción decrece a partir de valores de patinaje cercanos a este valor, Zoz (1987), Forrest y col (1962), Al-Hamed y col (1990), Zoz y Grisso (2003)

Después que se obtuvo el patinaje se procedió a correr el modelo para el rango de IC de 250 a 700 kPa, correspondiente a suelos blandos.

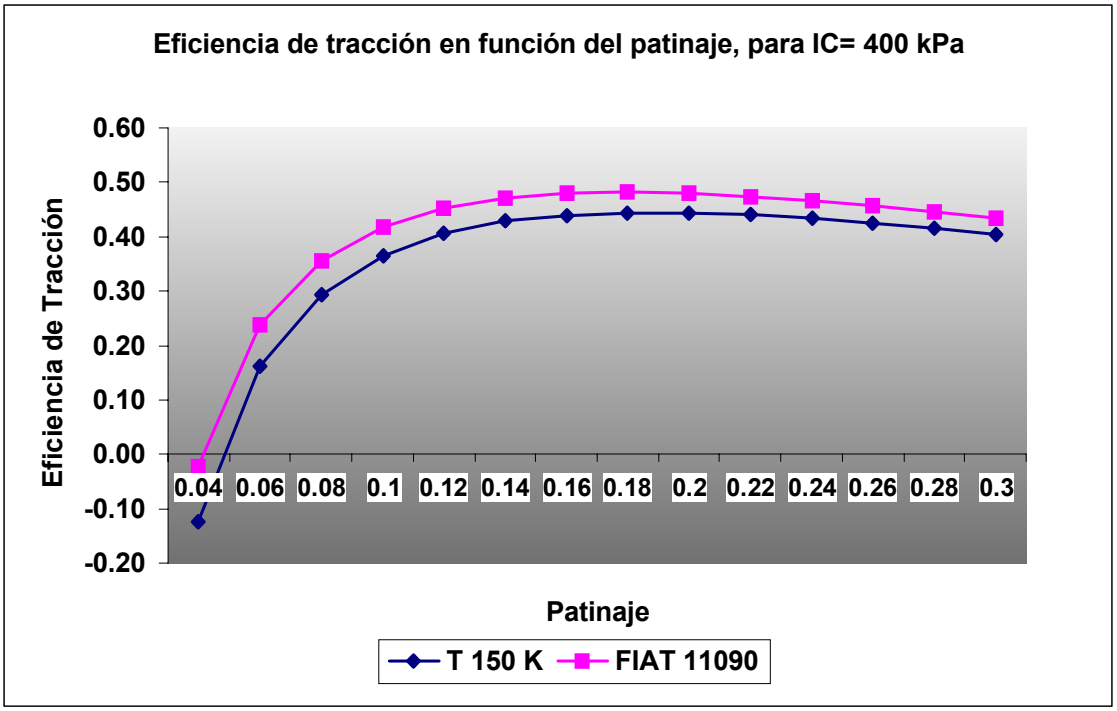
Una de las vías para mejorar la capacidad de tracción del tractor es incrementar el peso en las ruedas motrices, tanto adicionando contrapesos o líquido dentro de los neumáticos como transfiriendo peso del remolque al tractor. Para evaluar su efecto, se le adicionó 10 kN de peso a cada tractor, en el puente trasero. Este valor mas la carga dinámica que sustentan los neumáticos, corresponde con la carga máxima admisible para cada neumático

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La eficiencia de tracción es comúnmente definida como la relación de la potencia de entrada al eje motor y la potencia de salida, Goering y col. (2003), Srivastava y col.(1992), Zoz y Grisso (2003), Al-Hamed y col. (1990), la ineficiencia del dispositivo de tracción es causada por pérdidas de velocidad y pérdidas de

tiro, debidas al patinaje y a la resistencia a la rodadura. La eficiencia de tracción máxima para el Fiat 11090 fue de 0.48, Fig. 1, se obtuvo en patinajes de 0.16, 0.18 y 0.20. Se seleccionó el último valor para correr el modelo porque con este se obtiene el mayor valor de la fuerza de tiro. Con el T 150 K, la eficiencia de tracción máxima alcanzada fue de 0.44, para valores de patinaje de 0.16, 0.18, 0.20 y 0.22, seleccionándose el mayor, con un criterio similar al del Fiat 11090.

Figura 1



Los principales resultados del modelo son presentados en la Tabla I y en las Figuras 2, 3 y 4

Tabla I
Resultados principales del modelo.

IC kPa	Fiat 11090 δ=20 %						T 150 K δ=22 %					
	NT kN	MR kN	ρ	μ_g	μ_n	TE	NT kN	MR kN	ρ	μ_g	μ_n	TE
250	3.74	12.89	0.24	0.31	0.07	0.18	2.83	21.65	0.27	0.31	0.04	0.14
300	7.64	11.26	0.21	0.36	0.14	0.32	9.33	18.66	0.23	0.35	0.12	0.28
350	10.80	10.09	0.19	0.39	0.20	0.42	14.55	16.57	0.21	0.39	0.18	0.38
400	13.44	9.22	0.17	0.43	0.25	0.48	18.90	15.02	0.19	0.42	0.24	0.44
450	15.68	8.53	0.16	0.46	0.30	0.52	22.62	13.81	0.17	0.46	0.28	0.49
500	17.60	7.98	0.15	0.48	0.33	0.56	25.77	12.87	0.16	0.48	0.32	0.52
550	19.25	7.52	0.14	0.51	0.36	0.58	28.54	12.09	0.15	0.51	0.36	0.55
600	20.70	7.14	0.13	0.53	0.39	0.60	30.95	11.44	0.14	0.53	0.39	0.57
650	21.96	6.81	0.13	0.54	0.41	0.62	33.08	10.89	0.14	0.55	0.41	0.59
700	23.06	6.53	0.12	0.56	0.44	0.63	34.95	10.41	0.13	0.57	0.44	0.60

Figura 2

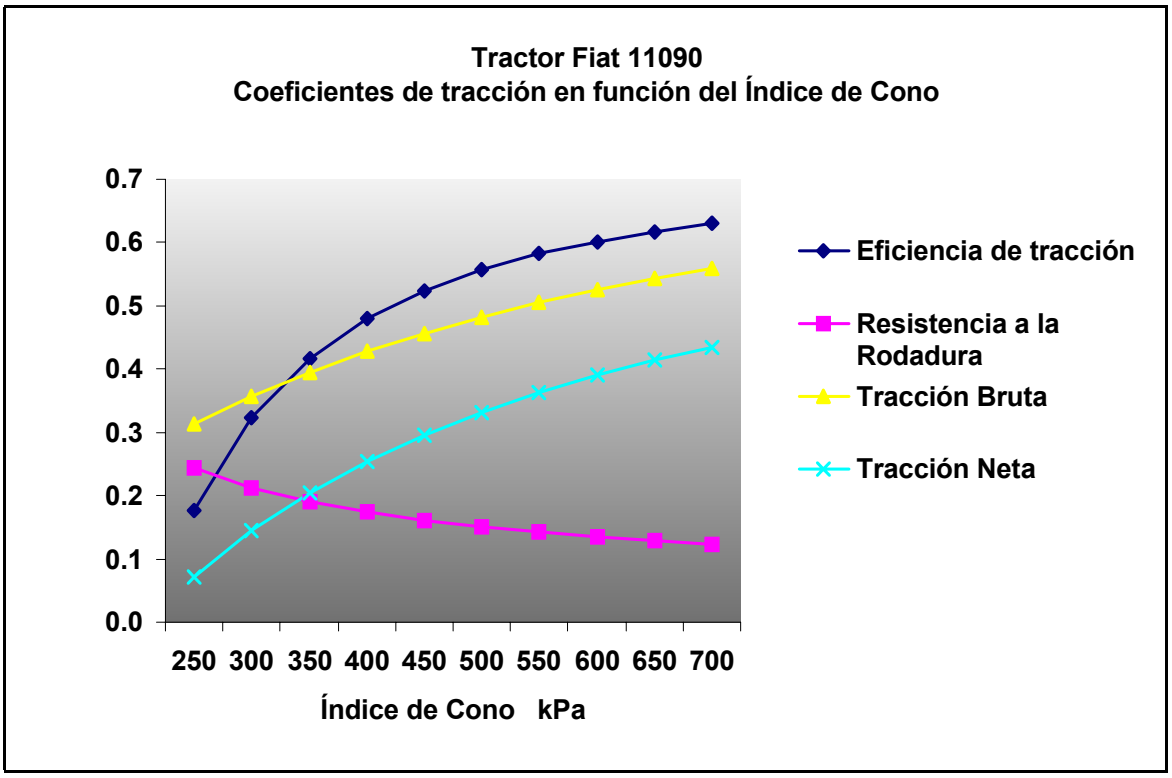


Figura 3

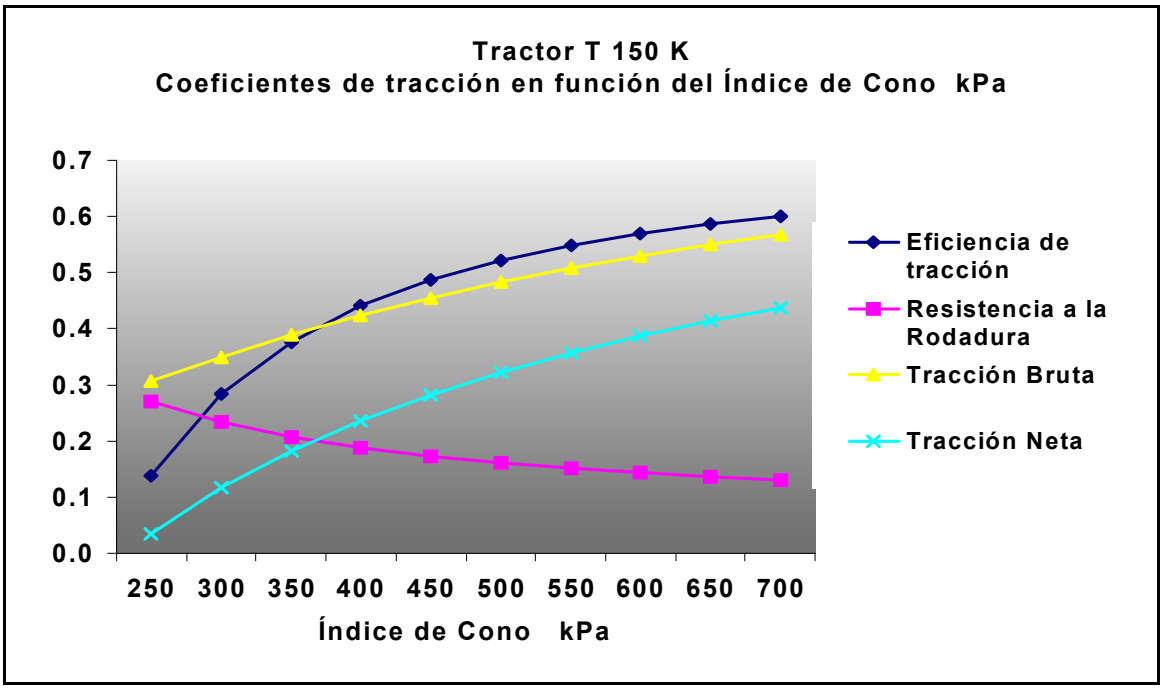
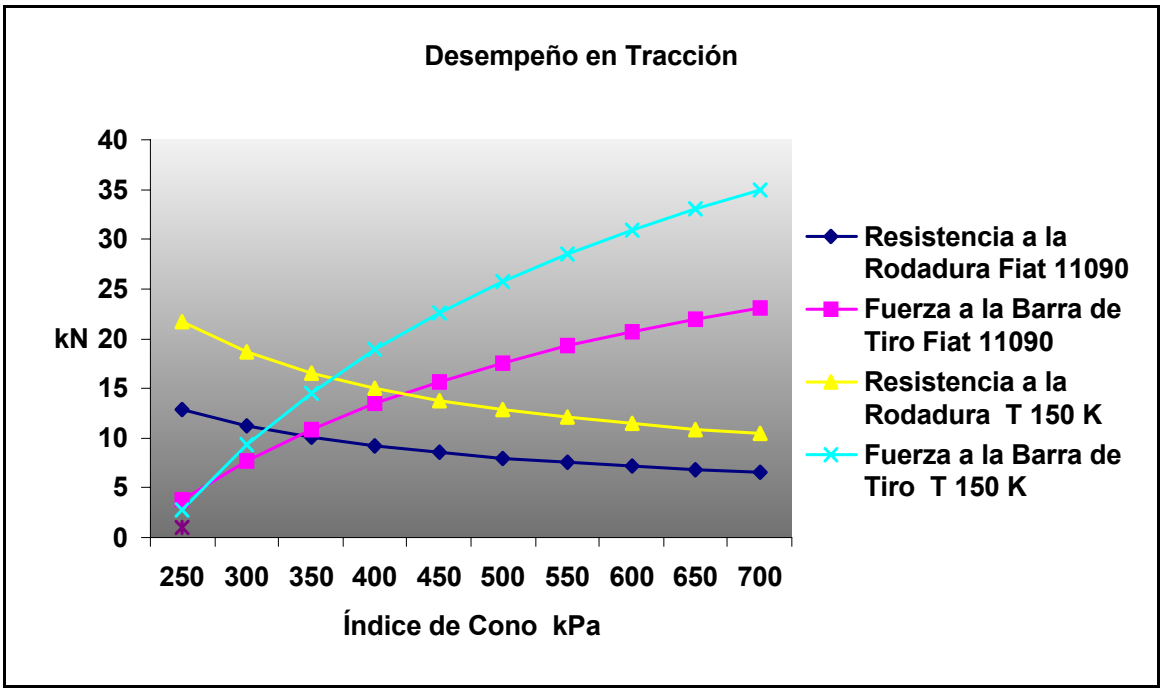


Figura 4

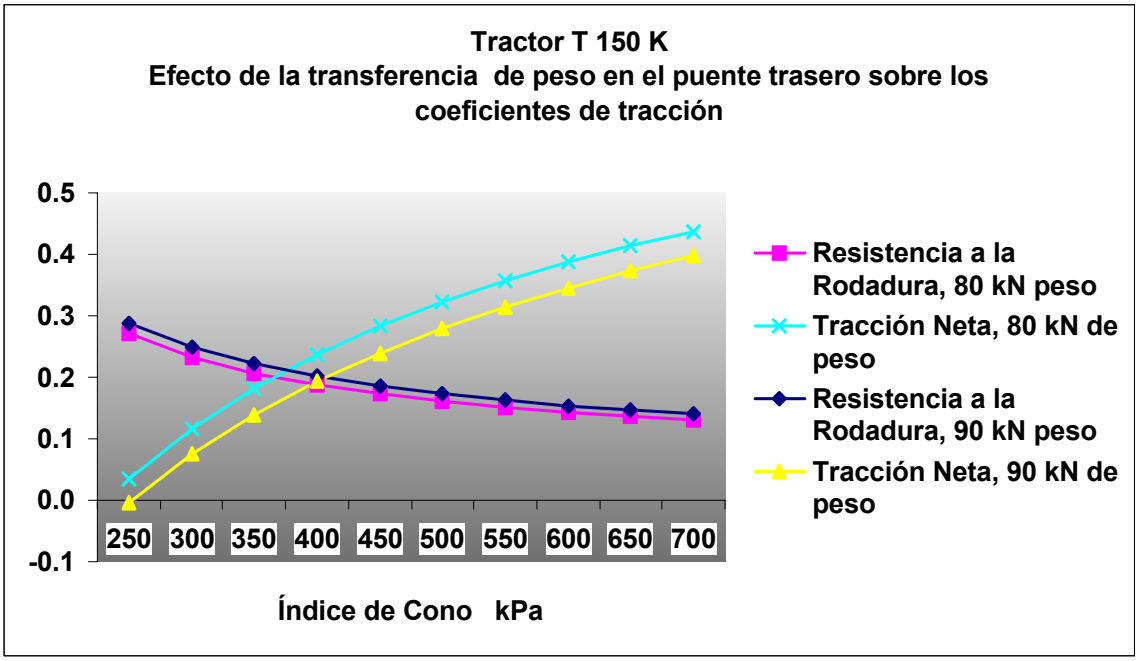


Los resultados del modelo variando las condiciones de resistencia del suelo, tanto para el Fiat 11090, Fig. 2, como para el T 150 K, Fig. 3, muestra que los coeficientes de tracción en los IC de 250 a 300 Kpa, tienen valores que impiden la realización de cualquier tipo de trabajo agrícola. Desde el punto de vista de la fuerza a la barra de tiro, la eficiencia de tracción es considerada el mas importante de los parámetros de tracción, Zoz y Grisso (2003), para este rango de IC la eficiencia de tracción solo alcanza 32 y 28 % en el Fiat y el T 150 K respectivamente, debido al alto coeficiente de resistencia a la rodadura. Ya a partir de los 350 kPa en adelante la eficiencia de tracción se incrementa alcanzando niveles aceptables, hasta el valor máximo de 63 % para el Fiat 11090 en 700 kPa de IC. Uno de los factores principales de pérdida de potencia en el dispositivo de tracción es la resistencia a la rodadura, la cual depende de las condiciones del suelo y de la interacción neumático –suelo, esta implica un gasto de energía para la conformación de la huella, el empuje del suelo por delante y a los costados del neumático y en la deformación del propio rodado. El menor diámetro, el mayor ancho del neumático 21.3x24 y el peso de 80 kN del tractor T 150 K son los responsables de su mayor resistencia a la rodadura y menor eficiencia de tracción.

La Fig. 4 muestra el desempeño en tracción de ambos tractores, los cuales en los IC de 250 y 300 kPa poseen una fuerza a la barra insuficiente para la realización del tiro, ya que en esas condiciones el suelo no tiene capacidad para soportar los pesados remolques cañeros y por lo tanto la resistencia a la tracción de estos es superior a la tracción neta de ambos tractores. Para la realización del tiro con menos de 300 kPa de índice de cono es necesario disponer de un remolque que demande solo de unos 6 kN a la barra, valor que es realmente difícil de obtener, sino imposible. González (2002) probó el remolque cubano RA-6 en un vertisol húmedo, 420 kPa, y la resistencia a la tracción de este fue de 11 kN. Es a partir de los 350 kPa, para el T 150 K, que alcanza una fuerza a la barra de 14.55 kN y de los 400 kPa, para el Fiat 11090, que alcanza una fuerza a la barra de 13.44 kN, que es posible traccionar el remolque RA-6. Al comparar la tracción neta de ambos tractores (Tabla I) se detecta que en el IC de 250 Kpa, la tracción neta del Fiat 11090 es superior a la del T 150 K en 0.91 kN, sin embargo en 300 kPa el T 150 K tiene una mayor tracción neta de 2.69 kN, valor que continúa incrementándose a medida que aumenta el IC,

hasta llegar a 11.89 kN superior a la del Fiat 11090 en IC de 700 kPa, debido a la relación $\frac{b*d}{Wd}$, en la cual en el T 150 K tiene una mayor influencia su peso.

Figura 5



Cuando se evalúa la transferencia de peso se hace pensando en mejorar las cualidades de tracción del tractor, sin embargo, para los valores de índice de cono característicos de suelo blando resulta improcedente, debido a que se afectan negativamente todos los coeficientes. En la Figura 5 se observa como aumenta el coeficiente de resistencia a la rodadura y disminuye el coeficiente de tracción neta. Estos resultados se deben a que al aumentar el peso en el suelo blando el hundimiento del neumático es mayor y por lo tanto aumenta la energía gastada en vencer la resistencia a la rodadura.

Figura 6

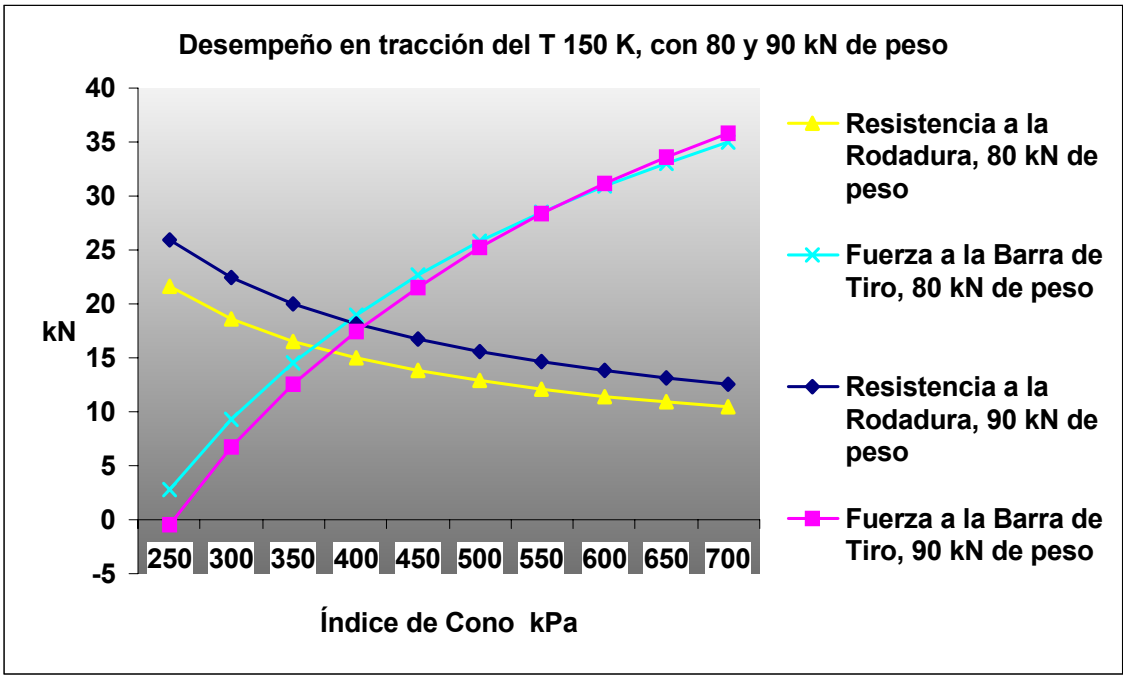
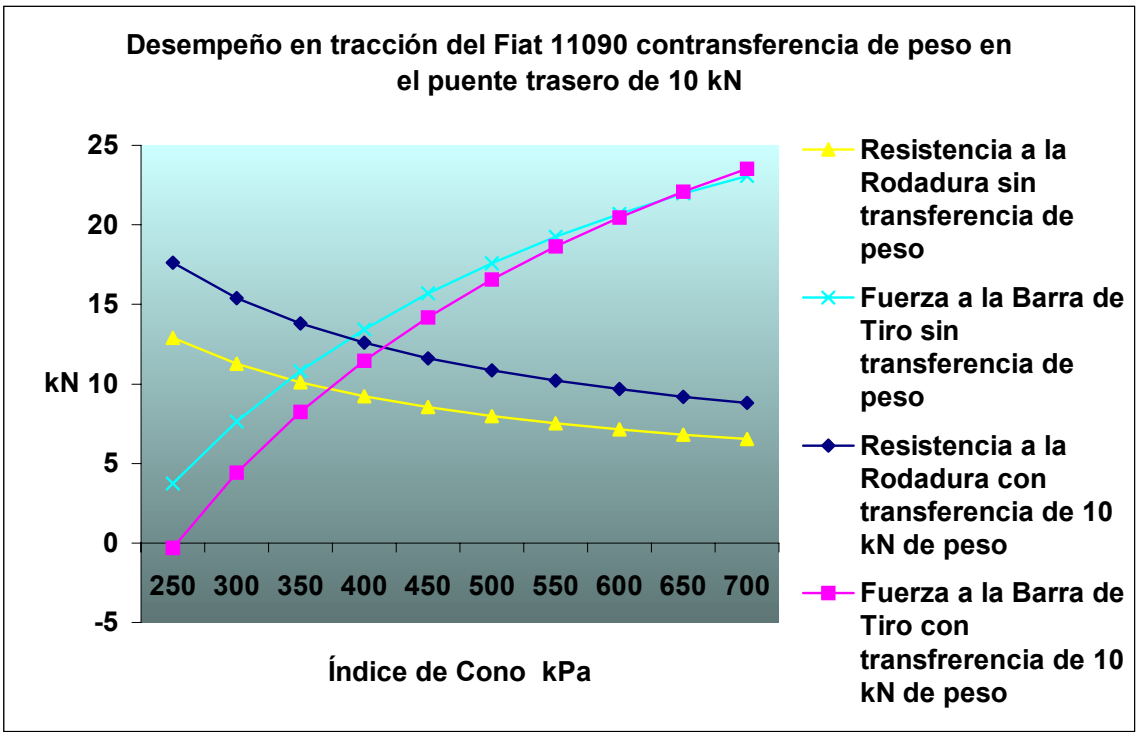


Figura 7



Las figuras 6 y 7 muestran como la tracción neta ha disminuido con el incremento del peso del tractor. Ahora la realización del tiro solo sería posible a partir de índices de cono de 450 kPa para el Fiat 11090 y se mantiene el T 150 K en los 350 kPa, pero con una fuerza a la barra menor. Al analizar las curvas de

fuerza de tracción neta con y sin transferencia de peso se aprecia como el efecto beneficioso de este solo se obtiene a partir del incremento de la capacidad portante del suelo y del aumento de su IC.

CONCLUSIONES

1. La tracción neta máxima que pueden desarrollar los tractores Fiat 11090 y T 150 K a IC de 300 kPa, es de 7.64 y 9.33 kN respectivamente. Para la realización del tiro de caña de azúcar en estas condiciones de suelo extremadamente blando, sería necesario un remolque de unos 6 kN de resistencia a la tracción.
2. La utilización de transferencia de peso al tractor en suelos blandos resulta perjudicial debido a que se incrementa la resistencia a la rodadura y disminuye la tracción neta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Al-Hamed, S. A.; Grisso, R. D.; Zoz, F. M.; Von Bargen, K. (1990) Tractor performance spreadsheet for radial tires. ASAE Paper No 90-1576, Michigan, ASAE
2. ASAE. (2001). General terminology for traction of agricultural tractors, self propelled implements, and traction and transport device. Norma ASAE S296.4, Michigan, ASAE
3. ASAE (1999). Soil cone penetrometer. Norma ASAE S313.3, Michigan, ASAE
4. ASAE (1998). Agricultural machinery management data. Norma ASAE S497.4, Michigan, ASAE
5. Bekker, M. G. (1960), Off road locomotion. University of Michigan Press. Ann Arbor.
6. Botta, G.; Jorajuría, D.; Dragui, L.(2003) El esfuerzo de rodadura en función de diferentes contrapesos y tamaño de neumáticos, http://www.agro.unlpam.edu.ar/maquinaria/Tract98.pdf
7. Brixius, W. W. (1987),Traction prediction equations for bias ply tires. ASAE Paper No. 87-162
8. Clark, R. L. (1985) Tractive modeling with the modified Wismer-Luth model. ASAE Paper No 85-1049, Michigan, ASAE
9. Chudakon, D. A, (1994) Fundamentos de la teoría y el cálculo de tractores y automóviles, Cuba, pp 413
10. Dwyer, M.J. (1984) The tractive performance of wheeled vehicles. Journal of Terramechanics 21(1), 19-34
11. Freitag, D. R. (1965) A dimensional análisis of the performance of pneumatic tires on soft soil. Tech report No 3-688, US Army engineering waterway experiment station. Vicksburg, pp 141
12. Forrest, P.J.; Reed, I.F.; Constantakis, G. V. (1962) Tractive caracteristics of radial ply tires. Transaction of ASAE 5(2), 108-115
13. Gee-Clough, D.; Mc. Allister, M.;Everden, D. W.; Pearson, G. (1978) The empirical prediction of tractor implement field performance. Journal of Terramechanics, 15(2) 81-94
14. Goering, C.E. (1992) Engine & Tractor Power, Editorial ASAE, Michigan, pp 538
15. Goering, C. E.; Stone, M. L.; Smith, D. W.; Turnquist, P. K. (2003) Off-road vehicle engineering principles. Editorial ASAE, Michigan, pp 474
16. González, O y Rodríguez, M. (1998) Valoración de una tecnología para el transporte de la caña de azúcar en cualquier condición de humedad, Revista ATAC, No 1, 10-14

17. González, O.; Rodríguez, M. (2002) Comparación de las cualidades de tracción del tractor MTZ 80 con neumáticos traseros dobles y neumático de alta flotación 20.8x38 con el tractor Fiat New Holland 110-90 trabajando en vertisoles con alta humedad, Memorias Convención Metánica 2002, La Habana.

18. González, R.; (1993) Explotación del parque de maquinarias, Editorial Félix Varela, Cuba, pp 317

19. Hilbert, J. A.; Pincu, M. (2003) Influencia de tres dotaciones de neumáticos sobre la rodadura y la compactación. http://www.inta.gov.ar/iir/into/documentos/tractores/rodadura.pdf

20. Leviticus, L. I.; Reyes, J.F. (1983) Traction on concrete-I, dynamic ratio & traction quotien. ASAE Paper No. 83-1558, Michigan, ASAE

21. Mc. Allister, M. (1983) Reduction in the rolling resistance of trailed agricultural machinery. Journal of agricultural engineering research, 28, 127-137

22. Mc. Allister, M. (1986) Forces on undriven angled wheels. Proceedings of 8va ISTVS, 603-619

23. Rodríguez, M.; Garrido, J.; González, O.; Madruga, R. (1999) Influencia de las lluvias sobre las zafras azucareras en los campos con suelos de mal drenaje. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, No. 3, 55-59

24. Sánchez-Girón, V. (1996) Dinámica y Mecánica de Suelos. Ediciones Agrotécnicas, Madrid, pp 426

25. Srivastava, A. K.; Goering, C.E.; Rorhbach, R. (1992) Engineering principles machine. Editorial ASAE, Michigan

26. Turnage, G. W. (1972) Tire selection and performance prediction for off road wheeled vehicles operation. Proceedings of 4th Conference International Society Terrain Vehicle Systems. Stockholm, vol 1, 61-82.

27. Wismer, R. D.; Luth, H. J (1974) Off road traction prediction off wheeled vehicles. Transaction of ASAE 10(2) 49-62

28. Zoz, F.M.; Grisso, R.D. (2003) Traction and tractor performance. ASAE Distinguished Lectures Series 27, ASAE Publication Number 913C0403, Michigan, ASAE

29. Zoz, F. M. (1987) Predicting tractor field performance. ASAE Paper No 87-1623

30. Zoz, F. M.; Brixius, W.W (1979) Traction prediction for agricultural tires on concrete. ASAE Paper No 79-1046

LA MODELACION DEL RENDIMIENTO AGRICOLA EN LA CAÑA DE AZUCAR. CASO DE ESTUDIO

Guillermo Gálvez , Olivia Soto y Antonio Sigarroa.

Facultad de Biologia, Universidad de la Habana, Cuba.

ggalvez@rect.uh.cu

RESUMEN

El presente trabajo realiza el estudio de algunas variables y la modelación del rendimiento agrícola y en azúcar por área, partiendo de datos de la producción en centrales de la provincia Habana del período 1977-1998. El procedimiento estadístico consistió en conocer la influencia que sobre la variación ejercieron las variables independientes sobre las variables dependientes, utilizando para esto un análisis de componentes principales (ACP) y posteriormente un análisis de regresión múltiple paso a paso para encontrar las ecuaciones predictivas.
Los resultados, que tienen un enfoque preliminar, mostraron que para el rendimiento agrícola las variables que influyeron más fueron la duración de la zafra en días, los porcentajes de variedades de alto rendimiento, la lluvia caída en el período y los porcentajes de mecanización de la cosecha. Se presentan las ecuaciones de modelación y se discuten sus implicaciones biológicas y agronómicas.

Palabras claves: modelación, caña de azúcar, regresión múltiple.

* Parte de este trabajo esta basado en el trabajo de Diplomado en Ciencias Biológicas de Olivia Soto.

MODELLING SUGARCANE AGRICULTURAL YIELD. STUDY CASE.

Guillermo Gálvez, Olivia Soto y Antonio Sigarroa.

Biology College, Habana University, Cuba.

ggalvez@rect.uh.cu

SUMMARY

The goal of this paper is to assess the relative importance of some different variables on sugarcane yield in two different areas of Havana province. A mathematical model was developed utilizing the principal component analysis and the backward multiple regression analysis technique. The sample consisted of the harvest data of 22 years in the period 1977-1998. The independent variables that caused more variation on the sugarcane yield were the number of harvest days, the percentage of cane harvest by machines, the rainfall in different periods of time and the percentage of the area planted of the three main varieties of the province. The modelling mathematical equations are presented and its biological and agronomy implications are discussed.

Key words: modelling, sugarcane, multiple regression analysis.

LA MODELACION DEL RENDIMIENTO AGRICOLA EN LA CAÑA DE AZUCAR. CASO DE ESTUDIO

Guillermo Gálvez Olivia Soto y Antonio Sigarroa.

Facultad de Biología, Universidad de la Habana, Cuba.

ggalvez@rect.uh.cu

INTRODUCCIÓN

Los modelos de simulación respecto a cultivos agrícolas, son una categoría de modelos ambientales que, típicamente, predicen el rendimiento de los cultivos, el crecimiento y desarrollo de las plantas y la dinámica de la humedad y otros nutrientes.

Sin embargo, a pesar de que los científicos en diversas áreas como la biología, la agricultura y la economía, entre otros, han estado construyendo modelos de simulación por ya más de 30 años, la aceptación de éstos dentro del flujo de la investigación científica fue muy lento hasta hace poco más de una década. Consultando varias referencias en Internet que analizan bibliografía sobre el tema en artículos de revistas, se encontró que los índices de las publicaciones relacionadas con modelos evolucionaron de 82 anuales en la década del 70 hasta cerca de 270 anuales en la década del 90. El nombre de programas (software) se mencionó en el título o en el resumen de sólo 11 artículos entre 1973 y 1988, mientras que para el período de 1989 a 1998, el número correspondiente fue de 77 (Soto, 2003)

Actualmente esto se opera en un ambiente de Windows, con posibilidades de representaciones gráficas y el uso de modernas herramientas estadísticas y económicas.

Estas posibilidades pueden también combinarse armoniosamente con otras como las técnicas de "Análisis de Datos Espaciales" (SDA siglas en inglés), los "Sistemas de Información Geográficas" (GIS en inglés) y los "Sistemas de Posición Global" (GPS en ingles).

Una de la primeras aplicaciones de importancia en caña de azúcar fue realizada en Australia en la segunda mitad de la década de 1980-1990 (Wegener y col., 1992).

Un serio problema práctico en las áreas de los centrales azucareros en todo el mundo es el de la predicción o estimado de los rendimientos (agrícolas y el contenido de sacarosa) antes de la zafra. Generalmente estos estimados deben realizarse entre 3-5 meses antes de la cosecha, pues de ellos dependen las operaciones del mercado azucarero -no solo la venta del azúcar, sino su almacenaje, manejo y transportación-, la adecuada planificación de todos los suministros y otros detalles de gran importancia económico-comercial. Existen muchos métodos para estas predicciones, pero con un grado mayor o menor de empirismo.

Por todo lo anterior se desarrollo un trabajo de investigación con los siguientes objetivos: Evaluar en la provincia La Habana en general y en algunos Complejos Agroindustriales Azucareros de dicha provincia, en particular, la importancia relativa de diferentes variables independientes para estimar el rendimiento agrícola de la caña de azúcar. Realizar la modelación del rendimiento agrícola por área con un valor predictivo para las condiciones analizadas. También discutir las implicaciones biológicas y agronómicas de los resultados obtenidos.

MATERIALES Y MÉTODOS.

La información utilizada procede del Ministerio del Azúcar (Pedro P. Acosta Pérez, comunicación personal, 2000) y consistió en los datos estadísticos de las cosechas de la caña de azúcar de la provincia La Habana a partir del año 1977 hasta el 1998 (22 años). Los datos obtenidos corresponden al resumen provincial o promedio y a los dieciséis Complejos Agroindustriales (CAI) de dicha provincia, desglosados por año en ambos casos.

Para el trabajo de investigación que se presenta se decidió utilizar la información del resumen de la provincia y la de 2 CAI : Abrahan Lincoln y Héctor Molina que difieren en tipos de suelos predominantes, tamaño del área agrícola, lluvia, por ciento de variedades de alto contenido azucarero y otras características que pueden afectar, tanto el rendimiento agrícola como el rendimiento industrial o azucarero.

Descripción de las áreas utilizadas.

La provincia La Habana se encuentra situada en los 82º 23' de longitud oeste y en los 23º 8' de latitud norte. La figura I muestra un mapa esquemático de la misma (Azúcar, 2003).

Figura I.- Mapa de la provincia La Habana indicando la ubicación de sus Complejos Agroindustriales

Algunas de las principales características agroindustriales de la provincia La Habana en los años de inicio y final del periodo analizado se muestran en la tabla I (Acosta, comunicación personal, 2000).

Tabla I. Resumen de las características agroindustriales de la provincia, 1977-1998 (promedios provinciales)

Característica	Año 1977	Año 1998
Área cosechada	84 492 ha	69 797 ha
T caña Molida	4, 8 x 10^6 t	2, 13 x 10^6 t
Rendimiento Agrícola	79 t caña /ha	41 t caña /ha
Rendimiento Industrial	11,39 %	8,57 %
T azúcar/ ha	8,55	3,41

Variables utilizadas.

Para la modelación se realizó un análisis de todas las variables disponibles teniendo en cuenta su influencia biológica y agronómica sobre el rendimiento agrícola y el rendimiento de azúcar por área. El número de años utilizado fue 22 que constituye el número de valores (n) para cada variable (años 1977 a 1998, ambos inclusive).

La variable dependiente fue:

RENDAGRI: rendimiento agrícola.

Las variables independientes utilizadas fueron las siguientes:

- TRESVAR: Suma de los por ciento de áreas (en hectáreas) sembradas de las 3 variedades altamente azucareras utilizadas en la cosecha. Durante este período se consideraban variedades de alto contenido azucarero las siguientes: Ja. 60-5, C 87-51, CP 5243, C 1051-73 y C 120-78 (Bernal y col., 1997), la suma de ellas ocupaba entre el 50 al 80 % de las áreas estudiadas como promedio.

- MEC: Promedio del por ciento de corte mecanizado de la cosecha.

- DIASZAF: Días totales de cosecha, es decir desde el comienzo de la zafra hasta el final. Se refiere a días efectivos de molida del central.

- LLUVAMJ: Lluvia del período abril-junio del año precedente a la cosecha (en mm). Recogida en la red de pluviómetros del Ministerio del Azúcar.

- LLUVJAS: Lluvia del período julio-septiembre del año precedente a la cosecha (en mm). Recogidas en la red de pluviómetros del Ministerio del Azúcar.

- LLUVTOT: Lluvia total del año precedente al de cosecha (en mm). Recogida en la red de pluviómetros del Ministerio del Azúcar.

Para los datos expresados en por ciento: suma del por ciento de las tres variedades más azucareras presentes y por ciento de mecanización de la cosecha, se utilizó la transformación $\sqrt{X}$ (Steel y Torrie, 1980).

Análisis estadísticos utilizados.

Se colocó toda la información la información en tablas Excel de dos entradas. En dichas tablas una entrada la constituían los años y la otra las variables. Para el trabajo estadístico se utilizó el programa Statgraphics V. 5.1 (2001) .

Antes del procesamiento estadístico se comprobó la normalidad y homogeneidad de varianzas mediante un análisis de correlación por rangos de Spearman (Sigarroa, 1985) y la independencia de los errores a través del análisis de los residuos utilizando el método gráfico.

Las variables independientes se sometieron a los análisis de correlaciones de Pearson y posteriormente de componentes principales (Byth y Eisemann, 1981). Con las componentes principales seleccionadas en cada caso, se realizó una regresión lineal múltiple (Steel y Torrie, 1980) siguiendo un procedimiento paso a paso, es decir, eliminando componentes ("Backward Selection"), obteniéndose las ecuaciones estandarizadas.

A partir de las ecuaciones estandarizadas obtenidas, se seleccionaron las variables independientes cuyos coeficientes de regresión parcial (b_i) fueron los mayores; y se sometieron nuevamente a un análisis de componentes principales. Con las nuevas componentes principales se realizó otro análisis de regresión múltiple; la finalidad de estos pasos fue la de obtener ecuaciones con un número mínimo suficiente de variables que faciliten su utilización práctica. Se presentan solamente los análisis y ecuaciones finales.

En todos los análisis se trabajó con un nivel de significación de 0,05

RESULTADOS.

Rendimiento agrícola para el CAI Abraham Lincoln. (t caña /ha)

El análisis de correlación producto-momento de Pearson (datos no presentados) mostró correlación para las variables: días de zafra y por ciento de mecanización, días de zafra y por ciento de variedades, lluvia del período julio-septiembre y lluvia total, lluvia del período abril–junio y por ciento de variedades, lluvia del período julio- septiembre y lluvia total.

Las cuatro primeras variables del modelo se sometieron a un análisis de componentes principales y con las cuatro componentes seleccionadas se realizó una segunda regresión múltiple en la que solo resultaron significativas las componentes 1 y 3 (Tabla II). Estas explican un 76 % de la varianza de las variables independientes y el modelo de regresión obtenido explica un poco más del 72 % de la varianza de la variable dependiente. El error estándar del rendimiento agrícola estimado fue de 6,48.

Tabla II. Análisis Final de Regresión Múltiple.

Variable dependiente: RENDAGRI				
Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor P
Constante	54,5477	1,3774	39,6019	0,0000
Comp. PrinN_1	7,25162	1,00829	7,192	0,0000
Comp. PrinN_3	4,37803	1,71679	2,55013	0,0196

Análisis de Varianza					
Fuentes	Suma de Cuadrados	gl	C. Medio	F	Valor P
Modelo	2430,4	2	1215,2	29,11	0,0000

Residual	793,046	19	41,7393
Total (Corr.)	3223,44	21	

Ecuación definitiva:

RENDAGRI = 54,55 + 7,40 TRESVAR + 3,36 DIASZAF – 2,15 MEC – 1,00 LLUVJAS

r^2=0,7280

Rendimiento agrícola para el CAI Héctor Molina (t caña /ha)

El análisis de correlación producto-momento de Pearson (datos no presentados) mostró correlación entre las variables: lluvia del período julio-septiembre y lluvia total, lluvia del período abril-junio y por ciento de mecanización, lluvia del período abril-junio y el por ciento de las variedades, lluvia total y por ciento de mecanización.

Se realizo el análisis de regresión múltiple 2 (tabla III) obteniéndose la ecuación definitiva.

El error estándar del rendimiento agrícola estimado fue de 7,17.

Tabla III. Análisis Final de Regresión Múltiple.

Variable dependiente: RENDAGRI				
Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor P
Constante	61,6586	1,52906	40,3246	0,0000
Comp. Prin_1	6,54718	1,29836	5,04265	0,0001
Comp. Prin_2	-8,47965	1,34999	-6,28126	0,0000
Análisis de Varianza				
Fuente	Suma de Cuadrados	gl	C. Medio	F	P
Modelo	3337,32	2	1668,66	32,44	0,0000
Residual	977,291	19	51,4364		
Total (Corr.)	4314,61	21			

Ecuación definitiva:

RENDAGRI = 61,66 + 8,04 DIASZAF + 6,13 TRESVAR + 3,35 LLUVJAS – 1,14 MEC

r^2=0,7497

Rendimiento agrícola para provincia La Habana (t caña /ha)

El análisis de correlación producto-momento de Pearson (datos no mostrados) mostró que las variables: días de zafra y por ciento de mecanización, lluvia del período abril-junio y lluvia total, lluvia del período abril-junio y el por ciento de las variedades, lluvia del período julio-septiembre y lluvia total; estaban correlacionadas.

Las cuatro primeras variables del modelo se sometieron a un análisis de componentes principales explicando las componentes seleccionadas (componentes 1 y 2) un 81,17% de la varianza de las variables independientes. El modelo de regresión obtenido posteriormente a partir de dichas componentes (Tabla IV), explica un 84,83% de la variabilidad de la variable dependiente. El error estándar del rendimiento agrícola estimado fue de 4,53.

Tabla IV. Análisis Final de Regresión Múltiple.

Variable dependiente: RENDAGRI				
Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico T Valor	P
CONSTANTE	59,52	0,96649	61,5837	0,0000
ComPrinN_1	7,10807	0,742466	9,57359	0,0000
ComPrinN_2	4,29651	0,815392	5,26926	0,0000

Análisis de Varianza					
Fuentes	Suma de Cuadrados	gl	C. Medio	F	P
Modelo	2454,08	2	1227,04	59,71	0,0000
Residual	390,455	19	20,5502		
Total (Corr.)	2844,54	21			

Ecuación definitiva:

RENDAGRI = 59,52 + 5,22 DIASZAF –4,47 MEC + 4,04 TRESVAR - 2,33 LLUVAMJ

r^2= 0,8483

Discusión General

Las ecuaciones del rendimiento agrícola obtenidas para la provincia La Habana y para los CAI A. Lincoln y Héctor Molina son similares, teniendo por variables independientes: la contribución de las 3 variedades azucareras, los días de cosecha, el por ciento de mecanización de la cosecha y la lluvia, variables que son analizadas a continuación.

La contribución de las variedades azucareras presentes en la cosecha tiene una importancia primaria. Estas diferencias, que son heredables en una alta medida, pues se han encontrado heredabilidades de más del 60 % para el contenido de sacarosa, unidas a la alta interacción variedad x ambiente (edades y épocas de cosecha) ofrecen una explicación biológica aceptada por la comunidad científica internacional (Byth, 1973; Espinosa y Gálvez, 1980; Roach y Daniels, 1987).

El comienzo y final de la cosecha o zafra es una estrategia extremadamente compleja desde el punto de vista productivo donde se deben tener en cuenta un alto número de factores y variables económicas, biológicas, agronómicas y edafoclimáticas. La fecha de comienzo de la cosecha en el hemisferio norte está enmarcada en el período que va desde mediados de noviembre hasta finales de enero (Martín y col., 1987). Empezar en cualquier momento de ese período de mas de 60 días afecta tanto los rendimientos agrícolas como el contenido azucarero y depende en gran medida de las variedades a cosechar y de su edad al momento de la cosecha, debido a la alta interacción variedad x fecha de plantación y variedad x edad al momento de la cosecha (Espinosa y Gálvez, 1980; Hogarth y col., 1997). Lo mismo sucede con la terminación de la cosecha que puede estar enmarcada desde mediados de abril hasta finales de mayo. Por lo tanto el número de días totales de la cosecha afecta tanto el contenido azucarero, debido a la

madurez fisiológica de las variedades, como el rendimiento agrícola o peso de los tallos molibles (Martín y col., 1987).

La explicación de la importancia relativa de la variable independiente por ciento de mecanización de la cosecha esta sustentada en el hecho de que, la mecanización realiza dos efectos negativos sobre el rendimiento agrícola. El primero es que las cosechadoras al realizar el corte, normalmente dejan sobre el suelo una pequeña parte inferior del tallo ("tocones"), que es la de mayor diámetro y por lo tanto de mayor peso, contribuyendo a la disminución del rendimiento agrícola por área; la segunda es que el corte de las cuchillas de las cosechadoras produce con frecuencia un troceado de los tallos contribuyendo, con gran peso a que en los cortes subsiguientes, algunos tallos tengan menor desarrollo o inclusive mueran, debido a efectos fisiológicos o mayores posibilidades de entrada de enfermedades como la pudrición roja del tallo (*Colletotrichum falcatum)* y el raquitismo de los retoños (*Clavibacter xyli*) lo que reduce el rendimiento agrícola (Ridge y Norris, 2000).

La lluvia es conocida como un elemento climático de primera importancia en la obtención de altos rendimientos en todos los cultivos en general y en la caña de azúcar en particular. El agua, junto al resto de los nutrientes químicos y orgánicos, es esencial para la vida de la caña de azúcar, especialmente en su período de desarrollo y crecimiento de los primeros 4-10 meses (Ortega y col., 1989). En el caso del CAI A. Lincoln esta fluctuación para el periodo Julio-Agosto-Septiembre fue de 154 a 963 mm (809 mm de diferencia), lo que explica no solamente la influencia relativa de esta variable sobre el rendimiento agrícola, sino el hecho de que la variable tiene un signo negativo. Los extremos de poca lluvia (154 mm) o una muy alta precipitación (963 mm) hacen que el efecto de esta variable pueda tomar un aporte negativo en la ecuación de regresión múltiple, debido al hecho de que influencia negativamente en crecimiento y desarrollo de los tallos molibles. Esto se entiende mejor cuando vemos que el promedio de los 22 años analizados es de 529,7 mm.

En el caso del CAI H. Molina la lluvia del periodo Julio-Agosto-Septiembre tiene una contribución positiva lo que se explica por el hecho de que las lluvias de esos 22 años en esas áreas agrícolas se mantuvieron mas cercanas al comportamiento promedio histórico. Lo anterior permitió que la lluvia de ese periodo tuviera un efecto positivo sobre el rendimiento agrícola (Ortega y col., 1989).

Cabe destacar que en el caso de la provincia la variable independiente lluvia de mayor peso fue la del período Abril-Mayo-Junio. La explicación de este resultado es compleja, sin embargo hay dos razones de importancia para que esto ocurra. La primera es que en Cuba, en general, y en la Habana en particular, la mayor parte de las nuevas plantaciones (cerca del 60 % de la plantación anual) se realizan en el periodo Abril-Mayo-Junio, por lo tanto las lluvias de ese período son de gran importancia para la brotación de las yemas, pero no para el desarrollo y crecimiento del cultivo que comienza a partir del cuarto o quinto mes después de la plantación, lo que coincide con el periodo de lluvias Julio-Agosto-Septiembre. La segunda razón estadístico-biológica, es que como la provincia abarca un área tan extensa (mas de 84 000 ha en 1977 a casi 70 000 ha en 1998, tabla I) y los valores utilizados son los promedios de los 16 CAI de la provincia (figura I) estos no expresan totalmente, ni las diferencias estadísticas, ni los efectos biológicos y agronómicos específicos de cada lugar.

Las variables que mayor contribución realizaron en la provincia fueron similares a las de los CAI analizados con anterioridad, lo que indica que estos fueron representativos de la provincia, o en términos estadísticos las muestras (CAI) fueron buenos estimadores en general de la población analizada (provincia Habana).

Sin dudas es extraordinariamente compleja la modelación y predicción utilizando la estadística multivariada de variables dependientes tan afectadas por características biológicas, del manejo agrícola del hombre y de factores edafoclimáticos como el tipo de suelo, la lluvia y otros (Wegener y col., 1992; Johnson, 1994; Gálvez, 1999). Lo anterior puede conllevar a reducciones de la realidad sin sentido biológico ni de manejo agronómico.

Los resultados apoyan que en las condiciones para las que se realizó el trabajo y con la información

disponible las variables independientes días de cosecha (zafra), lluvia del año precedente a la cosecha ya fuera total o por períodos y presencia de un alto por ciento de variedades de alto rendimiento azucarero, deben tenerse en cuenta para la predicción del rendimiento agrícola en las condiciones de producción comercial analizadas. En menor medida el por ciento de la mecanización de la cosecha también contribuye, aunque en forma negativa. Estos resultados coinciden parcialmente con los obtenidos por Wood, (1994) en condiciones Australianas.

Los resultados mostrados en este trabajo apoyan que es posible y necesario continuar trabajando para encontrar modelos que sean adecuadamente predictivos y sobre todo que ofrezcan explicaciones biológicas y agronómicas sustentables por la ciencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Azúcar, (2003) sitio web del gobierno de la República de Cuba, www.cubagob.cu/des_eco/azucar.htm

2. Bernal, N., Morales, F., Gálvez, G. y Jorge, I. (1997). Variedades de Caña de Azúcar. Uso y Manejo. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Publicaciones IMAGO, La Habana, 99 p + anexo.

3. Byth, D. E. And Eisemann, R. (1981). Interpretation of Plant Response to Agricultural Environments. Refresher Course, Agriculture Department, Queensland University, Brisbane, Australia.

4. Byth, D.E. (1973). Note taking lectures on Plant Breeding. Agriculture Department, Queensland University, Australia.

5. Daniels, J. and Roach, B.T. (1987). Taxonomy and Evolution. In "Sugarcane Improvement Through Breeding". Editor D. J. Heinz. Ed. Elsevier, pp: 7-84.

6. Espinosa, R. y Gálvez, G. (1980). Study of genotype x environment interaction in sugarcane. I. The interaction of genotypes with plant dates and harvest cycles. Proceedings of ISSCT, 17, PP: 1161-1167. Manila, The Philippines.

7. Gálvez, G., Ortiz, R. y Espinosa, R. (1985). Análisis de las asociaciones entre diferentes cosechas en experimentos de caña de azúcar (*Saccharum sp. híbridos)*. Cultivos tropicales, V 7, No 1/Marzo 1985, pp: 85-89.

8. Gálvez, G. (1994). Es necesario un programa de mejoramiento genético para variedades de madurez temprana y alto contenido azucarero? Memorias del 46 Congreso de la ATAC, Santiago de Cuba. Libro de Resúmenes.

9. Gálvez, G. (1999). Notas del curso de Genética Cuantitativa. Maestría de Biología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, 117 p.

10. Goodchild, M.F., Haining, R. and Wise, R.(1992). Integrating GIS and spatial data analysis. International J. of Geographic Information Systems, 6: 407-423.

11. Hogarth, D.M. (1971). Quantitative inheritance studies in sugarcane. I. Estimation of variance components. Aust. J. of Agric. Res. 22, 103-109.

12. Hogarth, D.M. (1977). Quantitative inheritance studies in sugarcane. III. The effect of competition and violation of genetic assumptions on estimation of variance components. Aust. J. of Agric. Res. 28, 257-268.

13. Hogarth, D.M., Cox, M.C. and Bull, J.K. (1997). Sugarcane improvement: Past achievements and future prospects. In "Crop Improvement for the 21st Century". Pub. By Researcg Signpost, India. Editor M.S. Kang, LSU, USA, pp: 29-56.

14. Johnson, A.K.L. (1994). The use of models to analyse performance of sugarcane production systems: Use in spatial analysis. Paper presented to the Wokshop "Research and Modelling Approaches to Examine Sugarcane Production Opportunities and Constraints", Brisbane, Nov. 1994, 15 p.

15. Martín, J. R., Gálvez, G., de Armas R, y Espinosa, R. (1987). La caña de azúcar en Cuba. Editorial Científico Técnica, La Habana, Cuba, 612 p.

16. McCown, P.S. et al. (1993). APSIM: An agricultural production system simulation model for operational research. Proc. Int. Congress on Modelling and Simulation, Perth, Dec 1993, Vol.4.

17. Ortega, E. et al., (1989). Bases fisiológicas de la productividad de la caña de azúcar. Editorial Academia, La Habana, 1989, 43 p y anexos.

18. Ridge, R. and Norris, C. (2000). Harvesting and Transport. In "Manual of Canegrowing", Editor C. Ryan, BSES, p: 353-368, Qld, Australia.

19. Roach, B.T. and Daniels, J. (1987). A review of the origin and improvement of sugarcane. In "Copersucar International Sugarcane Breeding Workshop. Copersucar Technology Center, Piracicaba, Brasil, pp: 1-31.

20. Russell, JS., Wegener, MK and Valentine, TR (1991). Effect of weather variables on CCS at Tully simulated by the AUSCANE model. Proc. ASSCT, p:157-163.

21. Soto, O. (2003). Estudio y modelación de algunas variables que influyen en el rendimiento agrícola de la caña de azúcar. Tesis de Diploma para la obtención del titulo de Licenciada en Ciencias Biológicas, Facultad de Biología, Universidad de la Habana, 65 p.

22. Statgraphics Plus version 5.1, (2001), Statistical Graphics Co.

23. Steel, R.G.D.and Torrie, J.H. (1980). Principles and Procedures of Statistics. Mcgraw-Hill Book Company Inc. New York, 481 p.

24. Thompson, I.L., Barret, J.R. and Jones L. (1992). Decision Support Systems for US Agriculture - A Status Report. In Watson, D.G. Editors. Computers in Agricultural Extension Programs, ASAE Pub. 1-92, Michigan, USA.

25. Wegener, MK., Bruce, D., and Fuelling, TG (1992). Application of Geographic Information Systems Software for Productivity Evaluation. Proc. of ASSCT, p: 99-106.

26. Wegener, M.K., Jones, CA., McLeod, IM., Russell, JS and Williams, J.R. (1992). Development and application of a simulation model for sugarcane. Proc. of ISSCT, Bangkok, v2 : 171-185.

27. Whistler, F.D., et al. (1986). Crop simulation models in agronomic systems. Advances in Agronomy, 40, 141-208.

28. Wood, AW (1994). Application of crop growth models to sugar milling and raw sugar marketing. Paper presented in the Workshop "Research and Modelling Approaches to Examine Sugarcane Production Opportunities and Constraints", Brisbane, 7 p.

ESTUDIO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN VARIEDADES DE LA CAÑA DE AZÚCAR CULTIVADAS EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS. (CAÑA PLANTA)

Víctor M. Paneque[(1)], Juan M. Calaña[(1)], Luis Rodríguez[(2)] y Eulises R. Castellanos[(1)].

(1) Instituto nacional de Ciencias Agrícolas (2) CAI "Camilo Cienfuegos"
e-mail: vpaneque@inca.edu.cu

RESUMEN

El nitrógeno es un elemento fundamental para el desarrollo, crecimiento y rendimientos de la caña de azúcar. La respuesta de este cultivo en la fase de caña planta al nitrógeno no está bien definida y por ello el objetivo de este trabajo es definir en que condiciones de suelos y variedades es necesario aplicar fertilizantes nitrogenado a la caña planta. Se desarrollaron seis experimentos de niveles de nitrógeno desde 0 hasta 160 $kg.ha^{-1}$ en nueve variedades de caña cultivadas en seis tipos de suelos ubicados en seis localidades de la provincia La Habana. Los experimentos se ejecutaron en ciclo corto y en ciclo largo con siembra de primavera y de frío. Los resultados mostraron que la respuesta de la caña planta a las aplicaciones de fertilizante nitrogenado depende de la variedad y los tipos de suelos. De 13 situaciones diferentes solo tres variedades no dieron respuesta a las aplicaciones de nitrógeno en la caña planta. Dos variedades la Ja. 60-5 y la C. 174 – 82 produjeron aumentos de los rendimientos en suelos Ferralíticos Rojo Compactado y no dieron respuesta en suelo Ferralítico Cuarcítico. Se concluyó que la mayoría de las variedades de caña, en las condiciones que se realizaron los experimentos (el 77 %) dio respuesta a las aplicaciones de nitrógeno y con ello se logró un aumento promedio de los rendimientos equivalente a 24.44 t. ha^{-1} lo cual produce benéficos económicos muy significativos.
Palabras claves: caña planta, variedad, suelo, nitrógeno, rendimiento

STUDY OF NITROGEN FERTILIZATION IN DIFFERENT VARIETIES OF SUGAR CANE, CULTIVATED IN DIFFERENT TYPES OF SOILS. (PANT CANE).

Víctor M. Paneque Pérez[(1)], Juan M. Calaña Naranjo[(1)], Eulises R. Castellanos[(1)] y Luis Rodríguez[(2)]

[1)] Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, [(2)] CAI "Camilo Cienfuegos".
E-mail: vpaneque@inca.edu.cu

Summary

Nitrogen is a fundamental element for the development, growth and production of sugar cane. The answer of this plant in the face of cane plant to nitrogen is not well defined, that is why the objective of this work is to define the soil conditions, varieties and if necessary to apply nitrogen fertilizer to the plant cane. Six experiments were development with levels of nitrogen ranging from 0 to 160 $kg.ha^{-1}$, using 9 different varieties of sugar cane which were cultivated in six different areas in the province of Havana. The experiments were executed in the short and long cycle with planting been done during the spring and cold season. The results showed that the answer of the cane plant to the different applications of nitrogen fertilizer depends on the varieties and types of soils. Of 13 different situations only 3 varieties did not responded to applications of nitrogen in the cane plant face. Two varieties, the Ja. 60 – 5 and C. 174 – 82 produced higher yields in Compacted Red Ferralitic Soils y did not responded in Ferralitic Quarcitic Soils. WE concluded that majority of the varieties of sugar cane used in the conditions of these experiments responded to the application of nitrogen and with that a higher average yield was obtained, which is equivalent to 24.44 $t.ha^{-1}$, which produced very significant economic benefits.

Cane plant, nitrogen, varieties, soils, which

ESTUDIO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN VARIEDADES DE LA CAÑA DE AZÚCAR CULTIVADAS EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS. (CAÑA PLANTA)

Víctor M. Paneque[(1)], Juan M. Calaña[(1)], Luis Rodríguez[(2)] y Eulises R. Castellanos[(1)].

(1) Instituto nacional de Ciencias Agrícolas (2) CAI "Camilo Cienfuegos"
e-mail: vpaneque@inca.edu.cu

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es un elemento fundamental para el desarrollo y crecimiento de la caña de azúcar. (Martín y col. 1987). Este cultivo produce grandes cantidades de masa verde lográndose producciones de tallos equivalentes a 15 – 20 $t.ha^{-1}$ por mes. Según Muller (1960) la caña extrae 1.27 kg de N por tonelada de tallos y el MINAGRI (1977) en su Norma Técnica expresa que la caña puede consumir hasta 1.37 kg de N por tonelada de caña.

Las grandes cantidades de N que necesita este cultivo se fundamenta en los altos rendimientos que produce equivalentes a 120 – 150 $t.ha^{-1}$. Sin embargo la Norma Técnica actual para la fertilización de las cañas plantas establecida por el MINAZ considera no aplicar N en esa cepa.

Las respuestas de la cana planta a las aplicaciones de fertilizante nitrogenado han sido contradictorias. Pérez Iglesias (1982) y Fernández y col. (1981) no encontró respuestas a las aplicaciones de N a la caña planta cultivada en suelo Ferralítico Amarillento. Por su parte Sánchez y Santiesteban (1977), Paneque y col. (1984) encontraron aumentos de los rendimientos en la caña planta con la aplicación de fertilizante nitrogenado. En Hawai, Humbert (1963) y otros autores recomiendan aplicar N a la caña planta.

Tomando en cuenta que la Norma técnica del MINAZ contempla no aplicar N a las cañas plantas y entre productores existen dudas con relación a que esta Norma no sea efectiva para todas las condiciones donde se cultiva la caña de azúcar, se hace necesario realizar estudios en distintas condiciones de suelo y variedades para definir las necesidades de N de la caña planta cuando varíen las condiciones para su crecimiento y desarrollo.

Considerando la importancia económica que representa aprovechar el potencial productivo de este cultivo se realizó este trabajo de investigación con los siguientes objetivos.

1. Determinar el comportamiento de la caña de azúcar cuando se aplican diferentes dosis de N en la cepa de caña planta.
2. Definir la influencia de la variedad y el tipo de suelo en la respuesta de la caña planta a las aplicaciones de fertilizante Nitrogenado.
3. Determinar el efecto económico que se obtiene cuando se aplica fertilizante nitrogenado a la caña planta.
4. Normas de aplicación de fertilizante nitrogenado a la caña planta y hacer recomendaciones para obtener los máximos potenciales de las variedades.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los trabajos experimentales se desarrollaron en seis localidades diferentes de la Provincia de La Habana donde se estudiaron diferentes variedades de caña. En la Tabla I se expresa las localidades, los tipos de

suelos, las variedades, niveles de N, fecha y época de plantación y área de parcela que se utilizaron en el estudio.

Tabla I.- Localidades, tipos de suelo, niveles de N, variedades de caña de azúcar, fecha y época de plantación, tamaño de parcela y edad en la cosecha utilizados en los trabajos experimentales.

LOCALIDAD	TIPO DE SUELO	NIVELES N $kg.ha^{-1}$	VARIEDAD	FECHA DE PLANTACIÓN Y ÉPOCAS S.	ÁREA PARCELA m^2	EDAD A COSECHA meses
EST. EXP. BAINOA (INCA)	FERRALÍTICO ROJO COMPACTADO DESATURADO	0 40 80 120 160	Ja.60-5 C.187-51	PRIMAVERA Junio	678	18
Fondo Fijo de P_2O_5 = 80 $kg.ha^{-1}$ y K_2O = 100 $kg.ha^{-1}$						
EST. EXP. BAUTA (INCA)	FERRALÍTICO ROJO COMPACT ADO SATURADO	0 50 75 100 125	CP.53-43 Ja.60-5 C.374.72 CB.4452	FRÍO Diciembre	48	13
Fondo Fijo de P_2O_5 = 50 $kg.ha^{-1}$ y K_2O = 125 $kg.ha^{-1}$						
JARUCO UBPC "DAVID ROYO"	FERRALÍTICO AMARILLENTO	0 40 80 120	Co.997 Ty.8628	PRIMAVERA Junio	720	20
Fondo Fijo de P_2O_5 = 70 $kg.ha^{-1}$ y K_2O = 120 $kg.ha^{-1}$						
ARTEMISA EXP. 1 CAI "LINCOLN"	FERRALÍTICO CUARCITICO	0 40 80 120 160	Ja.60-5	PRIMAVERA Mayo	950	22
Fondo Fijo de P_2O_5 = 100 $kg.ha^{-1}$ y K_2O = 120 $kg.ha^{-1}$						
ARTEMISA EXP. 2 CAI "LINCOLN"	FERRALÍTICO ROJO COMPACTADO	0 100	C.174-82 B.77418	JULIO Frío	48	18
Fondo Fijo de P_2O_5 = 80 $kg.ha^{-1}$ y K_2O = 120 $kg.ha^{-1}$						
ARTEMISA CAI "LAVANDERO"	FERRALÍTICO ROJO LIXIVIADO	0 100	C.174-82 B.77418	JULIO Frío	48	18
Fondo Fijo de P_2O_5 = 80 $kg.ha^{-1}$ y K_2O = 120 $kg.ha^{-1}$						

En la Tabla II se presenta las características agroquímicas de los suelos utilizados en los trabajos experimentales.

Los fertilizantes se aplicaron en el fondo del surco en el momento de la plantación. Las labores de agrotecnia se realizaron según lo establecido en las normas técnicas para el cultivo.

Tabla II. Caracterización química de los suelos y localidades donde se desarrollaron los trabajos experimentales. (Prof. 0 –20 cm).

ANÁLISIS	Resultados:						
	1	2	3	4	5	6	7
pH (agua)	7.7	6.1	5.4	5.5	5.6	4.8	5.5
M. Orgánica (%)	2.96	1.5	4.80	3.66	1.23	2.54	3.66
Fósforo Asim. (P) ppm	30	8	10	23	46	33	23
Calcio Int. (Ca) $cmol.kg^{-1}$	10.78	3.40	5.10	15.45	20.38	4.60	12.45
Magnesio Int. (Mg) $cmol.kg^{-1}$	1.30	1.05	1.31	1.78	3.85	1.53	1.78
Potasio Int. (K) $cmol.kg^{-1}$	0.55	0.20	0.23	0.12	0.15	0.08	0.12
Sodio Int. (Na) $cmol.kg^{-1}$	0.11	0.11	0.10	0.15	0.16	0.06	0.15
Cap. Int. Bases (S) $cmol.kg^{-1}$	12.73	4.76	6.74	14.50	24.54	6.27	14.50

LEYENDA

Métodos analíticos:	**Localidades y Suelos:**
pH: Solución 1:2.5	1.- Bauta (F. Rojo Compactado)
Mat. Orgánica: Walkley – Black	2.- Artemisa (F. Cuarcítico)
Fósforo asimilable: Bray y Kurtz No. 1	3.- Bainoa (F. Rojo Desaturado)
Cationes intercambiables:	4.- Jaruco (F. Amarillento)
Extr. con Acetato de Amonio 1N pH = 7	5.- Artemisa (F. Rojo Compactado)
	6.- Artemisa (F. Rojo Lixiviado)
	7.- Artemisa (F. Amarillento Desaturado

Aspectos generales.

En todos los experimentos se utilizó un diseño de bloques al azar . Con 5 ó 10 repeticiones según las condiciones de agrotecnia de cada lugar. En el momento de la cosecha se tomaron 10 tallos por replica para análisis azucareros. En todos los casos se cortó y pesó de forma independiente toda la caña de cada parcela. Con el peso de la caña de cada parcela se calculó el rendimiento agrícola. Con esta información y con los valores de pol en caña se calculó el rendimiento de pol (azúcar) en $t.ha^{-1}$.

Todos los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza. En los casos que se encontró respuesta positiva de 5 % se aplicó la prueba de rango múltiple de Duncan.

Como complemento a toda la información obtenida se realizó la evaluación económica de los resultados, tomando como base los rendimientos de caña y pol de cada tratamiento, las dosis empleada y el costo de los fertilizantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se reportaron los resultados de pol en caña, y rendimientos de caña y pol de los estudios de niveles de nitrógeno en la cepa de caña planta de 11 variedades de caña cultivada en 6 tipos de suelos diferentes, ubicados en localidades del este, centro y oeste de la provincia de La Habana.

Localidad de Bainoa.

En la Tabla III se presentan los resultados obtenidos en las variedades Ja.60-5 y C.187-68 cultivadas en suelos Ferralítico rojo compactado desaturado en la localidad de Bainoa, Experimento 1 y 2, respectivamente. Se aprecia que las aplicaciones de nitrógeno no tuvieron efecto sobre el % de pol en caña. En esas condiciones las aplicaciones de nitrógeno produjeron efectos significativos sobre los rendimientos de caña y pol de ambas variedades, la dosis óptima fue igual para cada una de ellas. En la Ja.60-5 la dosis de 120 kg de N fue la que tuvo mejor comportamiento en el consumo del fertilizante aplicado equivalente a 0,71 kg de N por ton. de caña producida. En la variedad C.187-68 la dosis que tuvo mejor comportamiento fue la de 120 $kg.ha^{-1}$ de nitrógeno. El consumo fue de 0,60 kg de N del fertilizante por t de caña.

Tabla III. Influencia de las aplicaciones de N sobre el pol en caña y los rendimientos de caña y pol de las variedades Ja.60-5 y C.187-68 cultivadas en suelo F. Rojo Compactado desaturado en la localidad de Bainoa.

LOCALIDAD	TIPO DE SUELO	VARIEDAD	NIVELES	POL	RENDIMIENTOS	
			N	CAÑA	CAÑA	POL
			$kg.ha^{-1}$	%	$t.\ ha^{-1}$	
Bainoa Exp. 1	Ferralítico Rojo Desaturado	Ja.60-5	0	14.36	148.00 b	21.40 b
			40	14.43	141.31 b	20.47 b
			80	14.14	151.11 b	21.66 b
			120	14.41	169.60 a	**24.03 a**
			160	15.02	171.25 a	25.21 a
			ES $\bar{X}$	0.17 NS	4.24 **	0.66 **
Bainoa Exp. 2	Ferralítico Rojo Desaturado	C.187.68	0	15.20	156.84	23.84 c
			40	15.03	153.65	23.09 c
			80	15.32	163.54 ab	25.05 b
			120	15.22	171.62 a	**26.12 a**
			160	15.64	161.46 bc	25.25 ab
			ES $\bar{X}$	0.17 NS	3.24 **	0.35 **

Es de interés observar que los rendimientos obtenidos fueron semejantes en ambas variedades, sin embargo la variedad C.187-68 mostró mayor capacidad para tomar el nitrógeno del suelo, pues esta variedad sólo produjo 14,78 $t.ha^{-1}$ más de caña que el testigo sin nitrógeno, mientras que la Ja.60-5 produjo 21,6 $t.ha^{-1}$ más de caña que el testigo.

Estos resultados no coinciden con los reportados por Pérez y col (1982) que no encontraron respuesta en la caña planta con las aplicaciones de nitrógeno, pero coinciden con Sánchez y Santiesteban que encontraron aumentos en los rendimientos en la caña planta con la aplicación de 50 $kg.ha^{-1}$ de N.

Localidad de Bauta.

En la Tabla IV se presentan los resultados de Pol en Caña y los rendimientos de caña y pol de la variedades CP.5243, Ja 60-5, C.374-72 y de la CB.4452 cultivadas en el suelo F. Rojo Compactado Saturado en la Localidad de Bauta, situada al centro de la provincia La Habana.

Se observa que las aplicaciones de N no tuvieron efectos significativos sobre el % de Pol en caña de ninguna variedad. El fertilizante nitrogenado produjo aumentos significativos en los rendimientos de caña y pol de las variedades CP.5243, Ja.60-5 y en la C.374-72, pero no tuvo efectos significativos en la variedad CB.4452. En todos los casos los rendimientos obtenidos fueron altos. Para las variedades que dieron respuesta a las aplicaciones de N los indicadores más importantes se presentan en la tabla.

Se observa que las aplicaciones de N no tuvieron efectos significativos sobre el % de Pol en caña de ninguna variedad. El fertilizante nitrogenado produjo aumentos significativos en los rendimientos de caña y pol de las variedades CP.5243, Ja.60-5 y en la C.374-72, pero no tuvo efectos significativos en la variedad CB.4452. En todos los casos los rendimientos obtenidos fueron altos. Para las variedades que dieron respuesta a las aplicaciones de N los indicadores más importantes se presentan en la Tabla V .
Las variedades CP.5243 y la C.374-72 tuvieron un buen comportamiento con alta eficiencia, pues los consumos de fertilizantes nitrogenados por tonelada de caña fue muy bajo y los aumentos de rendimientos con relación al Testigo muy altos equivalentes a 32.42 $t.ha^{-1}$ (37800 @ por cab) y 35.53 $t.ha^{-1}$ (41461 @ por cab.) respectivamente.

Tabla IV. Influencia de las aplicaciones de N sobre el pol en caña y los rendimientos de caña y pol de las variedades CP.5243, Ja.60-5, C.374-72 y CB.4452 cultivadas en suelo F. Rojo Compactado saturado en la localidad de Bauta.

LOCALIDAD	TIPO DE SUELO	VARIEDAD	NIVELES N	POL CAÑA	RENDIMIENTOS CAÑA	RENDIMIENTOS POL
			$kg.ha^{-1}$	%	$t.\ ha^{-1}$	
Bauta	Ferralítico Rojo Compactado Saturado	CP.5243	0	14.68	136.33 b	20.02 b
			50	14.32	168.75 a	**24.16 a**
			75	14.63	167.10 a	24.42 a
			100	13.92	173.75 a	25.10 a
			125	14.59	172.70 a	25.10 a
			ES $\bar{X}$	0.279 NS	3.211*	0.302 *
Bauta	Ferralítico Rojo Compactado Saturado	Ja.60-5	0	15.03	143.75 b	21.58 b
			50	15.38	148.44 ab	22.81 ab
			75	15.03	159.94 a	**24.20 a**
			100	15.18	156.25 ab	23.76 ab
			ES $\bar{X}$	0.28 NS	4.953 *	0.823*
Bauta	Ferralítico Rojo Compactado Saturado	C.374-72	0	15.72	158.22 c	24.87 c
			50	15.47	178.12 b	27.52 b
			75	15.48	193.75 a	**29.98 a**
			100	15.69	180.37 ab	28.29 ab
			ES $\bar{X}$	0.24 NS	4.953 *	0.823 *
Bauta	Ferralítico Rojo Compactado Saturado	CB.4452	0	14.19	203.81	28.89
			50	14.54	208.00	30.23
			75	14.44	203.12	29.31
			100	14.27	207.81	29.67
			ES $\bar{X}$	0.29 NS	4.953 ns	0.823 ns

Tabla V. Indicadores más importantes para las variedades que dieron respuesta a la aplicación de N. Localidad Bauta.

VARIEDAD	DOSIS OPTIMA DE N	AUMENTO DE REND. CON LA DOSIS OPTIMA CON REL AL TESTIGO	CONSUMO DE N DEL FERT. PARA DOSIS OPTIMA N
	$kg.ha^{-1}$	CAÑA $t.ha^{-1}$	$kg.t^{-1}$
CP.5243	50	32.42	0.30
Ja.60-5	75	16.19	0.47
C.374-72	75	35.53	0.39

La variedad Ja.60-5 tuvo un comportamiento similar al obtenido en el suelo F. Rojo Compactado desaturado de la localidad de Bainoa, aunque en esta localidad se mostró más eficiente pues solo tuvo un consumo de 0.47 kg por t. de caña.

Con relación a la variedad CB.4452 mostró alta eficiencia pues produjo altos rendimientos en el Testigo, sin la aplicación de fertilizante nitrogenado.

Localidad de Jaruco.

En la Tabla VI se presentan los resultados de pol en caña y los rendimientos de caña y pol de las variedades Co.997 y Ty.8628 cultivadas en suelo F. Amarillento en la localidad de Jaruco. Se puede observar que las aplicaciones de N no produjeron efecto significativo sobre los % de pol en caña, lo cual coincide con los resultados obtenidos en las localidades anteriores.

Tabla VI. Influencia de las aplicaciones de N sobre el pol en caña y los rendimientos de caña y pol de las variedades Co.997 y Ty.8628 cultivadas en suelo F. Amarillento saturado en la localidad de Jaruco.

LOCALIDAD	TIPO DE SUELO	VARIEDAD	NIVELES	POL	RENDIMIENTOS	
			N	CAÑA	CAÑA	POL
			$kg.ha^{-1}$	%	$t.\ ha^{-1}$	
Jaruco	Ferralítico Amarillento Desaturado	Co. 997	0	15.26	87.75 b	13.39 c
			40	15.25	101.08 a	15.41
			80	15.23	109.54 a	16.68
			ES $\bar{X}$	0.29	2.86*	0.23*
Jaruco	Ferralítico Amarillento Desaturado	Ty. 8628	0	15.39	60.61 b	9.33 b
			40	15.66	74.91 a	11.73 a
			80	15.73	72.73 a	11.44 a
			ES $\bar{X}$	0.29*	2.86**	0.23*

Las aplicaciones de fertilizante nitrogenado produjo aumentos en los rendimientos de caña y pol en las dos variedades, pero se puede apreciar que la variedad Co.997 tuvo un mejor comportamiento que la Ty.8628.

En la Tabla VII contiene los aspectos más importantes obtenidos con la respuesta de la caña a las aplicaciones de N.

Tabla VII. Indicadores más importantes para las variedades que dieron respuesta a la aplicación de N. Localidad Jaruco.

VARIEDAD	DOSIS OPTIMA DE N	AUMENTO DE REND. CON LA DOSIS OPTIMA CON REL AL TESTIGO	CONSUMO DE N DEL FERT. PARA DOSIS OPTIMA N
	$kg.ha^{-1}$	CAÑA $t.ha^{-1}$	$kg.t^{-1}$
Co.997	80	21.33	0.73
Ty.8628	40	14.30	0.53

Se observa que la variedad Co.997 produjo mayores aumentos en los rendimientos con relación al Testigo, pero la variedad Ty.8628 fue más eficiente con mejor aprovechamiento del N del suelo.

Localidad Artemisa

En Artemisa se estudiaron tres variedades en tres tipos de suelos que presentan condiciones diferentes. (Tabla I y II).
Para la ejecución del trabajo se desarrollaron tres experimentos, uno en cada tipo de suelo. En la Tabla VIII se presenta el % de pol en caña y los rendimientos de caña y pol. Se aprecia que las aplicaciones de N no tuvieron efectos significativos sobre el % de pol en caña en ninguna de la variedades. Este comportamiento coincide con lo obtenido en las variedades de los experimentos anteriores.

Según Humbert (1963) esto se debe a que el pol de la caña es un carácter genético que es muy difícil de modificar y solo se altera cuando se aplican altas dosis de fertilizantes nitrogenados.

Con relación a los rendimientos de caña y pol, en la Tabla VIII se aprecia que la variedad Ja.60-5, cultivada en suelo F. Cuarcítico en la Localidad de Artemisa no produjo aumento de los rendimientos. Este comportamiento es diferente al manifestado por esta variedad cundo se cultivó en suelo F. Rojo Compactado en las localidades de Bainoa y Bauta (Tablas III y IV) donde la variedad Ja.60-5 produjo aumentos de los rendimientos con las aplicaciones de N. Este comportamiento indica que la toma del N del suelo por la caña en la cepa de caña planta, depende del tipo de suelo y las posibilidades que tenga la planta de tomare ese N en esas condiciones. En este caso llama la atención que la caña mostró más capacidad para tomar N en del suelo Ferralítico Cuarcítico, que es de más baja fertilidad, que la del suelo F. Rojo Compactado, que es fertilidad media.

Sobre estas particularidades de la caña con relación a la respuesta de la caña planta a las aplicaciones de N existe poca información en la literatura.

La variedad C.174-82 mostró aumentos en los rendimientos de caña y pol cuando se cultivó en suelo F. Rojo Compactado, Artemisa (Tabla VIII) mientras que en el suelo F. Rojo Lixiviado no dio respuesta a las aplicaciones de N. Este comportamiento es semejante a lo obtenido en la variedad Ja.60-5 presentado anteriormente y coincide en que la caña tuvo capacidad para tomar el N en el suelo más pobre. Este comportamiento confirma el criterio de que la respuesta de la caña en la cepa de caña planta esta condicionada a la relación que se establezca entre la planta y el tipo de suelo.

La variedad B.77418 mostró un comportamiento similar en ambos suelos pues en los Exp. 2 y 3 las aplicaciones de N produjeron aumentos de caña y pol. No obstante se obtuvo mayor aumento de rendimiento en el suelo Ferralítico Rojo compactado (33.33 $t.ha^{-1}$) que en el Ferralítico Rojo Lixiviado (28 $t.ha^{-1}$). Este comportamiento indica que esta variedad mostró mayor eficiencia para tomar el nitrógeno del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, que tiene más baja fertilidad que el Ferralítico Rojo Compactado, que es de fertilidad media.

Tabla VIII. Influencia de las aplicaciones de N sobre el pol en caña y los rendimientos de caña y pol de las variedades Ja.60-5, C.174-82 y B.77418 cultivadas en suelo F. Cuarcítico en la localidad de Artemisa.

LOCALIDAD	TIPO DE SUELO	VARIEDAD	NIVELES N	POL CAÑA	RENDIMIENTOS CAÑA	RENDIMIENTOS POL
			kg.ha^{-1}	%	t. ha^{-1}	
Artemisa Exp. 1 CAI "LINCOLN"	Ferralítico Cuarcítico	Ja.60-5	0	16.02	150.99 a	23.86
			40	16.15	141.80 b	22.90
			80	16.33	141.26 b	23.30
			120	16.52	142.13 b	23.49
			160	16.01	138.39 b	22.16
			ES $\bar{X}$	0.171 ns	1.352 *	0.315 ns
Artemisa Exp. 2 CAI "LINCOLN"	Ferralítico Rojo Compactado	C.174-82	0	16.31	95.90 b	15.48 b
			100	16.61	123.96 a	**20.59 a**
			ES $\bar{X}$	0.27 ns	3.85 *	0.45 *
		B.77418	0	16.66	117.71 b	19.61 b
			100	16.79	151.04 a	**25.36 a**
			ES $\bar{X}$	0.27 ns	2.95 *	0.38 *
Artemisa CAI "LAVANDERO"	Ferralítico Rojo Lixiviado	C.174-82	0	16.79	109.38	18.37
			100	16.60	112.42	18.66
			ES $\bar{X}$	0.27 ns	2.13 ns	0.22 ns
		B.77418	0	16.46	125.00 b	20.57 b
			100	16.78	153.00 a	**25.67 a**
			ES $\bar{X}$	0.19 ns	4.31 ns	0.36 *

En la Tabla IX se presentan los indicadores más importantes obtenidos en las variedades que dieron respuesta a las aplicaciones de N.

Tabla IX. Indicadores más importantes para las variedades que dieron respuesta a la aplicación de N en la caña planta. Localidad Artemisa.

VARIEDAD	DOSIS OPTIMA DE N	AUMENTO DE REND. CON LA DOSIS OPTIMA CON REL AL TESTIGO	CONSUMO DE N DEL FERT. PARA DOSIS OPTIMA N
	kg.ha^{-1}	CAÑA t.ha^{-1}	kg.t^{-1}
C.174-82 F. ROJO COMPACTADO	100	28.06	0.81
B.77418 F. ROJO COMPACTADO		33.33	0.66
B.77418 F. ROJO LIXIVIADO		28.00	0.65

Se aprecia que los mayores aumentos de los rendimientos los mostró la variedad B.77418 cultivada en el suelo Ferralítico Rojo compactado con 33.33 t.ha^{-1} (38896 @ por cab) más que el testigo tuvo una eficiencia semejante a la obtenida por esta variedad en el suelo Ferralítico Rojo lixiviado, con consumos de N equivalentes a 0,66 y o,65 kg tonelada de caña. La variedad C.174-82 produjo un aumento de

rendimientos de 28.06 t.ha^{-1} (32 746 @ por cab.) con un consumo de 0.81 kg de N por tonelada de caña, mostrando menos eficiencia en la asimilación del N que la variedad B. 77418.

Respuesta de la variedad Ja.60-5 a las aplicaciones de N a la caña planta, cuando se cultiva en diferentes suelos.

Los resultados de este trabajo han demostrado que la respuesta de la caña planta a las aplicaciones de N está condicionada a la variedad y el tipo de suelo. En la Tabla X se presentan los resultados de las aplicaciones de N a la variedad Ja.60-5 en la caña planta cultivada en diferentes tipos de suelo.

Se muestra los rendimientos obtenidos de caña y pol en los niveles óptimos de N.

En la Tabla X se observa además, que en el suelo Ferralítico Rojo compactado de las localidades de Bauta y Bainoa el N produjo aumentos en los rendimientos de la caña, mientras que cuando se cultivó en suelo Ferralítico Cuarcítico, en la localidad de Artemisa, las aplicaciones de N no produjeron aumentos de los rendimientos.

Tabla X. Respuestas de la caña de azúcar (Var. Ja.60-5) a las aplicaciones de Nitrógeno en la caña planta cultivada en diferentes tipos de suelos

LOCALIDAD	TIPO DE SUELO	VARIEDAD	NIVELES N kg.ha^{-1}	POL CAÑA %	RENDIMIENTOS CAÑA t. ha^{-1}	RENDIMIENTOS POL t. ha^{-1}
Bauta	Ferralítico Rojo Compactado	Ja.60-5	0	15.03	143.75 b	21.58 b
			75	15.03	159.94 a	**24.20 a**
			ES $\bar{X}$	0.28	4.95 *	0.32 *
Bainoa	Ferralítico Rojo Desaturado	Ja.60-5	0	14.36	148.00 b	21.40 b
			120	14.41	169.60 a	**24.03 a**
			ES $\bar{X}$	0.17	4.24 *	0.66 *
Artemisa	Ferralítico Rojo Cuarcítico	Ja.60-5	0	16.02	150.99	23.86
			120	16.52	142.39	23.49
			ES $\bar{X}$	0.17	2.35 ns	0.32 ns

Es de interés observar que en las 3 localidades los rendimientos totales fueron semejantes y por encima de las 15 t.ha^{-1} (175050 @.cab^{-1}.).

Es muy importante de estos resultados observar que la variedad Ja.60-5 produjo altos rendimientos en el suelo Ferralítico Cuarcítico que tiene fertilidad muy baja. Estos resultados no coinciden con Iglesias (1982) que sólo encontró respuesta con las aplicaciones del N en la caña planta en suelos negros.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la respuesta de la caña planta a las aplicaciones de N dependen de la variedad y del tipo de suelo donde se cultive.

Esto puede apreciarse en la Tabla XI donde se presenta un resumen de los resultados obtenidos en este trabajo. En esta tabla se puede apreciar que de las 13 pruebas realizadas 10 dieron respuesta positiva a las aplicaciones de N en la caña planta. Es decir el 77 % de los casos dio respuesta y 3 de los casos, el 23 % dio negativo.

Lo más importante: Las variedades que no dieron respuesta, la caña se cultivaron en suelo de baja fertilidad (Ferralítico Cuarcítico y Ferralítico Rojo Lixiviado).

Las variedades que dieron respuestas fueron cultivadas en suelos de fertilidad media (Ferralítico Rojo Compactado y Ferralítico Amarillento).

Esto demuestra que la respuesta del N en la caña planta está relacionado con la variedad y el tipo de suelo.

Tabla XI. Resumen del comportamiento de las variedades de caña cuando se cultivan en diferentes suelos y se aplica fertilizante nitrogenado a la caña planta.

LOCALIDAD	TIPO DE SUELO	VARIEDAD	RESPUESTAS DE LA CAÑA PLANTA A LAS APLICACIONES DE NITRÓGENO	
			SI	NO
BAINOA	F. ROJO COMPACTADO DESATURADO	Ja.60-5	X	
		C.187-51	X	
BAUTA	F. ROJO COMPACTADO SATURADO	CP.5243	X	
		Ja.60-5	X	
		C.374.72	X	
		CB.4452		X
Jaruco	FERRALÍTICO AMARILLENTO	Co.997	X	
		Ty.8628	X	
ARTEMISA	F. CUARCÍTICO	Ja.60-5		X
ARTEMISA	F. ROJO COMPACTADO	C.174-82	X	
		B.77418	X	
ARTEMISA	F. ROJO LIXIVIADO	C.174-82		X
		B.77418	x	

EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Para calcular los beneficios económicos que se obtienen al aplicar fertilizantes nitrogenados a las caña planta se tomó como base el rendimiento promedio de las variedades que dieron respuesta positiva a la aplicación de N. También se tomó el promedio de las dosis de N aplicado a esas plantaciones.

El beneficio económico se calculó determinando los aumentos de rendimiento de caña obtenidos en la aplicación de la dosis óptima de N, con relación al testigo que no recibió fertilizante nitrogenado.

En la Tabla XII se presenta el resultado de esa evaluación. Se aprecia que, como media, de esos 10 experimentos se logró un aumento de rendimientos de 24.44 $t.ha^{-1}$ más que el testigo, equivalentes a un aumento de 28522 $@.cab^{-1}$ más. Este aumento representa un 20 % lo que se considera alto para las aplicaciones de fertilizante.

En la segunda parte de la Tabla XII se aprecia que el beneficio económico que se obtiene al aplicar fertilizante nitrogenado a las cañas plantas es equivalente a 6432.29 pesos por cab., lo cual es igual a 10 veces la inversión hecha en el costo de la urea.

Estos resultados demuestran que la decisión y disposición del MINAZ de no aplicar fertilizantes nitrogenados a las cañas plantas está limitando que en las variedades no se pueda obtener su máximo potencial del rendimiento y además los productores están perdiendo la posibilidad de aumentar sus beneficios económicos que como promedio equivalen a más de 6 000 pesos por cab.

Tabla XII. Cálculo de los beneficios económicos que produce el cultivo de la caña cuando se aplica fertilizante nitrogenado a la caña planta.

Dosis de N	Rendimientos		Aumento de los Rend. con relación al Testigo	
$kg.ha^{-1}$	$t.ha^{-1}$	$@.cab^{-1}$	$t.ha^{-1}$	$@.cab^{-1}$
0	123.02	143564	-	-
88	147.46	172086	24.44	28522
Fertilizantes		Costo de la Urea	Valor del aumento de los Rend. de caña con relación al Testigo	Beneficio económico
Dosis de N	Urea			
$kg.ha^{-1}$	$t.cab^{-1}$	pesos.cab^{-1}		
0	-	-	-	-
88	2.57	669.69	7101.98	6432.24

CONCLUSIONES.

De los resultados de este trabajo se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Se determinó que las manifestaciones y las respuestas de las aplicaciones de los fertilizantes nitrogenados a las cañas plantas está relacionado con las variedades y los tipos de suelo.
- Se pudo conocer que las variedades que se cultivan en suelo de fertilidad media (Ferralítico Rojo compactado y Ferralítico Amarillento) son más propicios a dar respuesta positiva a las aplicaciones de N en las cañas planta y que cuando se cultivan en suelos de baja fertilidad (Ferralítico Cuarcítico y Ferralítico Rojo Lixiviado). Las variedades que presentan ese comportamiento (Ja.60-5 y C.174-82) muestran mayor eficiencia apara tomar el N de suelos pobres que en suelos de fertilidad media.
- Se determinó que para las condiciones de suelo F Rojo Compactado el 90% de las variedades dieron respuesta positiva a las aplicaciones de N en las cañas plantas. En los suelo F. Cuarcíticos y F. Rojo Lixiviado solo se obtuvo un 33% de respuesta positiva a las aplicaciones de N en caña planta.
- Se determinó que para las cañas plantas el consumo de N del fertilizante depende de la variedad y de las condiciones del suelo donde se cultiva. Par las condiciones donde se desarrollaron los trabajos el consumo medio fue de 0.60 kg de N por tonelada de caña. La variedad que mostró mayor eficiencia fue la CP.5243 con un consumo de 0.30 kg de N por tonelada de caña cultivada en suelo F. Rojo Compactado y la menos eficiente fue la variedad C.174-82 cultivada en suelo F. Rojo Compactado con un consumo de 0.81 kg de N por tonelada de caña.,
- Se determinó que cuando se aplica fertilizante nitrogenado a las cañas plantas en un 90% de las variedade4s se aumenta su potencial productivo en un 20% lo cual es equivalente a un aumento de la producción de 28000 $@.cab^{-1}$ lo cual posibilita un beneficio económico de 6432.29 pesos por caballería.

RECOMENDACIONES.

Los resultados de este trabajo permiten recomendar:

- Que se aplique fertilizante nitrogenado a las cañas plantas y que para ello se tome en consideración lo siguiente:
- Que todas las variedades que se cultivan en suelos F. Rojo Compactado y F. Amarillento se aplique N en dosis de 40 a 80 $kg.ha^{-1}$ (de 1.2 a 2.3 toneladas por caballería de Urea) dependiendo del rendimiento esperado.
- Que las cañas que se cultivan en suelos de baja fertilidad (Ferralíticos Cuarcítico y F. Rojo Lixiviado) se establezcan Campos Control para determinar su capacidad para tomar el N del suelo en esas condiciones.
- Que todas las variedades nuevas que se cultiven en las Empresas se sometan a la prueba de respuesta a la fertilización nitrogenada en Campos Control.
- Que estos resultados se comuniquen a todas las Direcciones del MINAZ para que se pueda hacer mejor explotación de los potenciales productivos de las variedades que están en desarrollo.

REFERENCIAS

- EPICA 1995. Informe anual de los trabajos de investigaciones de la caña de azúcar del la provincia La Habana.
- Fernández, E. Y R. Justiz 1981. La fertilización de la Caña de Azúcar en los suelos Ferralíticos Amarillentos de la Provincia de Matanzas. 43 Conferencia de la ATAC. La Habana.
- Humbert, R. P. 1963. El cultivo de la caña de azúcar. Editora Universitaria. Re-edición. La Habana, 1965.
- Paneque, V. M. y P. J. González 1984. Estudio de Niveles de N para la Caña Cultivada en Suelo Ferralítico Rojo Compactado. HI Seminario Científico del Inst. Téc. Álvaro Reynoso. Matanzas.
- Pérez Iglesias, H 1982. Fertilización Nitrogenada de la Caña de Azúcar. Tesis de Grado. INICA. Academia de Ciencias de Cuba.
- Martín, J. R. y col. 1987. La caña de azúcar en Cuba. Editorial Científico Técnico, La Habana.
- Ministerio de Agricultura Cuba, 1977. Norma Técnica. Folleto. La Habana, 1977.
- Muller, G. 1960. Sugar cane, cultivation and fertilization. Series of monographs of tropical crops Ruhrstiekstoff A. G. Bochum. January 1960.
- Sánchez, M. y N. Santiesteban 1977. Estudio sobre la respuesta de la Caña de Azúcar a cuatro niveles de Fertilizantes Nitrogenados. 41 Conferencia de la ATAC. La Habana.

LA ROTACION DE ARROZ CON CAÑA DE AZUCAR EN LA FLORIDA, USA

THE RICE-SUGARCANE ROTATION IN FLORIDA, USA

José Alvarez y George H. Snyder

Profesor y Profesor Emérito Distinguido, respectivamente, University of Florida, Everglades Research and Education Center, 3200 East Palm Beach Road, Belle Glade, FL 33430, USA.
jalv@ifas.ufl.edu
ghs@ifas.ufl.edu

Abstract

Rice has been planted in rotation with sugarcane in southern Florida since 1977. The practice has been proved to make agronomic and economic sense. It also contributes to a cleaner environment. Two studies were conducted to determine the effect of rice production upon the following sugarcane plant crop. The first analysis was based on producers' records. Data were obtained from 82 rice fields and 36 nearby fields of four firms producing rice from 1977 through 1980. The yield difference between these fields was termed the "rice culture effect." Results showed that the rice culture effect was substantial, with increases of 17.71 net tons of sugarcane per hectare, 0.73 percent sucrose in normal juice per net ton of cane, and 2.08 tons of sugar per hectare. The second analysis was an experiment on commercial fields during 1983. Rice was produced in 15 fields at three different locations, and an equal number of nearby fields were selected for comparison. Results showed positive differences in favor of the rice fields. They included 8.6 net tons of sugarcane per hectare, 1.8 percent in sucrose, and 2.24 tons of sugar per hectare. Net returns per hectare from the additional sugar amounted to $375 in the first experiment and to $553 in the second experiment. Data are being collected at present to analyze more recent crops. A rice-sugarcane rotation is a sound diversification alternative that does not disrupt the sugarcane cycle and might be done in other sugarcane-producing countries as well.

Introducción

En el Area Agrícola de los Everglades (AAE), al sur del Lago Okeechobee en la Florida, alrededor de 180,000 hectáreas de tierra están dedicadas a la producción de caña de azúcar. Este cultivo se cosecha generalmente entre octubre y abril y se resiembra entre agosto y enero en ciclos que promedian alrededor de cuatro años. Por lo tanto, más de 20,000 hectáreas de tierra, muchas de las cuales se inundan para controlar insectos y enfermedades, permanecen ociosas entre 5 y 10 meses durante la primavera y el verano.

Después de utilizarse como cultivo de cobertura durante muchos años, el arroz se cosechó por primera vez en 1977 (Ver Alvarez et al., 1989). Se demostró que el arroz podía ser incorporado al ciclo de producción de la caña durante el período barbecho (Alvarez et al., 1978). Como la caña es el cultivo principal en la rotación arroz-caña, investigadores de la Universidad de la Florida en el Centro de Investigación y Educación de los Everglades realizaron experimentos para determinar el efecto de la producción de arroz en el siguiente cultivo de la caña de azúcar. Este trabajo resume dos experimentos. El primer análisis se basó en los registros de los productores (Alvarez y Snyder, 1984). El segundo fue un

experimento realizado en campos comerciales (Snyder et al., 1986). Al impacto del arroz en el siguiente cultivo de caña se le llamó el "efecto del arroz" (EA).

Descripción del Area de Estudio: Area Agrícola de los Everglades

El área de estudio ha sido descrita ampliamente por Snyder et al. (1978). Los Everglades son un inmenso pantano de agua fresca que se extiende desde el sur del Lago Okeechobee hasta cerca de la punta de la península de la Florida. El AAE comprende cerca de 283,500 hectáreas al sur del Lago Okeechobee. Dicha área genera aproximadamente mil millones de dólares de ingresos agrícolas cada año provenientes de la producción de caña de azúcar (*Saccharum spp.*), vegetales de invierno, yerba para césped y arroz (*Oryza sativa L.*).

Los suelos del AAE son orgánicos, conteniendo generalmente menos de 15 porciento de materia mineral por peso. Dichos suelos se formaron de los restos de la descomposición de plantas acuáticas, principalmente sawgrass (*Cladium jamaicense* Crantz), que se acumularon cuando el área estuvo inundada la mayor parte del año. Como en la actualidad esos suelos están drenados por una enorme red de canales para facilitar la agricultura convencional, la descomposición de dichos suelos ha sido acelerada hasta el punto de exceder en gran medida a la tasa de acumulación de materia orgánica. Esta pérdida de suelo produce un descenso del nivel de la superficie llamado de hundimiento (*subsidence*), el cual promedia 2.54 cm por año. Como los suelos están generalmente sostenidos por una inmensa y compacta roca caliza, es posible que la agricultura, en su forma presente, no podrá continuar indefinidamente. Hace más de cincuenta años, Stephens y Johnson (1951) predijeron que, alrededor del año 2000, extensas áreas del AAE no serían adecuadas para la agricultura convencional. En 1978, la predicción fue más precisa: "En el año 2000 existirán sólamente alrededor de 80,000 acres [32,400 ha] de suelo de 3 pies [1.09 m] o más; ej., típico de la profundidad del suelo a la cual los agricultures han adaptado sus sistemas de manejo de cultivos… y probablemente habrá más de 500,000 acres [202,500 ha] de suelos orgánicos de 3 pies [1.09 m] o menos de espesor y la mitad de esos tendrán menos de un pie [30.48 cm] de profundidad" (Snyder et al., 1978, p. 20). El único método que se conoce hasta ahora para parar el proceso de oxidación de los suelos es la inundación; es decir, duplicando las condiciones que condujeron a la acumulación de los suelos. Se piensa que la producción de cultivos acuáticos, como el arroz, pudieran sostenerse en el AAE.

En las últimas dos décadas, los agricultures del AAE han estado sometidos al escrutinio público debido al tema de la conservación del medio ambiente. El problema principal es el fósforo proveniente de los cultivos y que va hacia las áreas de conservación de agua y el parque nacional de los Everglades. Debido a que los campos permanecen inundados la mayor parte del tiempo cuando se siembran de arroz, este cultivo ha sido identificado como una "mejor práctica de manejo" (BMP).

Creación y Consolidación de la Industria Arrocera en el AAE

La búsqueda de un nuevo cultivo tuvo una razón económica y dos agronómicas. La razón económica fue la existencia de precios del azúcar extremadamente bajos en 1977 debido a la ausencia temporal de un programa azucarero en la legislación de Estados Unidos. La primera razón agronómica fue la disponibilidad de unas 24,000 hectáreas de vegetales y más de 20,000 hectáreas de caña de azúcar ociosas durante los meses de verano que podían utilizarse por un cultivo de rotación sin desplazar los cultivos primarios. La segunda razón agronómica fue el posible impacto de un cultivo de inundación en la reducción o prevención de la tasa de oxidación de los suelos orgánicos. La demostración elocuente de este fenómeno está en el poste que se enterró en la Estación Experimental de Belle Glade, Florida, en 1924. En aquel entonces mostraba una profundiad de 2.74 metros y en la actualidad es de apenas 0.914 metros.

Razones agronómicas y económicas determinaron la selección del arroz como el cultivo adecuado para la rotación. Las razones agronómicas fueron:

- la topografía del AAE, de suelos llanos con un alto contenido de nitrógeno y un sistema de canales bien desarrollado;
- condiciones ambientales apropiadas ya que el arroz puede tolerar altas temperaturas, tiene muchos menos problemas de enfermedades que otros cultivos que pudieran sembrarse durante el verano y es adaptable a un medio ambiente de pantanos subtropicales;
- la posibilidad de rotar el arroz con los vegetales y la caña de azúcar;
- las tierras en barbecho generalmente se inundan para controlar plagas y el arroz se puede cultivar durante dicha inundación; y
- la inundación reduce y posiblemente evita la oxidación de los suelos (Tate, 1979).

Además de presentar un amplio horizonte de factibilidad agronómica el arroz se justificaba por varias razones económicas, entre ellas:

- una rentabilidad potencial determinada en presupuestos preliminares (Snyder, et al., 1977; Alvarez, 1978; Alvarez et al., 1978);
- las restricciones federales a la siembra de arroz habían sido eliminadas en 1974;
- la existencia de un mercado cercano que cubre todo el sur de la Florida y que está compuesto por un alto número de consumidores de origen latiino; y
- aunque Estados Unidos es un exportador neto de arroz, la Florida es un importador neto; además, como la producción total potencial sería insignificante en relación a la mundial, los precios no se verían afectados.

Una compañía azucarera sembró las primeras 112 hectáreas de arroz en 1977. Existía escepticismo en la zona ya que una incipiente industria arrocera había fracasado en la década de 1950 debido a la aparición del virus llamado hoja blanca. La mayoría de los escasos agricultores interesados en el nuevo cultivo eran antiguos arroceros cubanos sin ninguna experiencia en suelos orgánicos. La ausencia de secaderos y molinos resultó en un importante cuello de botella que forzó el envío del arroz cosechado al cinturón arrocero del país. El primer problema agronómico fue la aparición de la clorosis de las plántulas, la cual se resolvió con la aplicación de sulfato de hierro al momento de la siembra y el diseño del equipo apropiado. Investigaciones realizadas tuvieron como resultado la identificación de las variedades y las fechas más adecuadas para la siembra, las cantidades óptimas de fertilizantes, el silicón como un nutriente necesario en los suelos orgánicos y otros resultados que ayudaron a aumentar la confianza de los productores. En 1979 existían diez productores con un total de 3,105 hectáreas. Se construyeron varios secadores y dos molinos arroceros. Hacia 1988 el área sembrada había aumentado a 5,844 hectáreas y los rendimientos promedios subieron de 3,360 kg/ha en 1978 a 5,600 kg/ha (Alvarez et al., 1989).

Sin embargo, el potencial de la industria arrocera no ha sido alcanzado. Después de que las siembras llegaran a niveles superiores a las 10,000 hectáreas, éstas se han vuelto a estabilizar alrededor de 4,000 hectáreas. Los bajos precios del arroz, combinados con la ausencia del programa federal de sustento para los productores del AAE, han sido las causas principales. Sin embargo, el descenso en las reservas mundiales de este cereal pudiera estar anunciando aumentos en los precios, lo cual ha reanudado el interés de los productores. Mejores precios, unidos a la continua presión de los defensores del medio ambiente quienes consideran al arroz como un cultivo beneficioso, parecen indicar un resurgimiento robusto de esta industria en el futuro cercano.

Primer Experimento: Registros de Productores

Se obtuvieron datos confidenciales directamente de los registros de cuatro compañías que produjeron arroz desde 1977 hasta 1980, debido a la ausencia de información proveniente de experimentos controlados en el AAE.. Todos los campos tenían aproximadamente 16 hectáreas de suelos Histosoles, con un contenido de materia orgánica mayor del 70 porciento.

Método de Análisis

Se obtuvieron datos del rendimiento de la caña planta de 82 parcelas en las cuales el arroz había precedido a la caña (denominadas "parcelas de arroz"). Los mismos datos se obtuvieron de 36 parcelas cercanas que permanecieron ociosas durante el verano que precedió a la siguiente caña planta (denominadas "parcelas en barbecho"). Como los arroceros generalmente siembran más de la mitad del área disponible, se obtuvieron más datos de "parcelas de arroz" que de "parcelas en barbecho". En algunos casos, debido a su localización en medio de un grupo numeroso de parcelas de arroz, se necesitaron menos parcelas en barbecho para efectuar las comparaciones. No siempre se pudieron obtener datos de parcelas en barbecho con la misma variedad de caña que se utilizó en la siembra que siguió a la cosecha del arroz. Por lo tanto, además de los datos de rendimiento (toneladas gruesas y pocentaje de sacarosa en los jugos), se obtuvo información de la variedad, la empresa, las fechas de siembra y cosecha y el método de cosecha. Por consiguiente, empleando regresiones por el método de los mínimos cuadrados, utilizando variables de ensayo para todas las variables independientes, fue posible estimar ecuaciones con el promedio de rendimiento para las parcelas de arroz y para las parcelas en barbecho. A la diferencia entre esos rendimientos se le llamó el "efecto del arroz". La siguiente ecuación lineal se estimó para cada una de las tres variables dependientes que se definieron como parámetros de rendimiento para estimar el efecto del arroz:

$$Y_j = \beta_0 + \sum_{i=1}^{4} \beta_{1i}X_{1ij} + \beta_{2i}X_{2ij} + \sum_{i=1}^{5} \beta_{3i}X_{3ij} + \sum_{i=1}^{5} \beta_{4i}X_{2ij} \text{ x } X_{3ij} + \sum_{i=1}^{4} \beta_{5i}X_{4ij} + U_j$$

donde

Y_j = rendimiento por hectárea de la caña planta en la parcela j, expresado en toneladas netas de caña, pocentaje de sacarosa en los jugos y toneladas de azúcar por hectárea;

X_{1ij} = 1 si la parcela j pertenecía a la firma i (i = 1, …, 4),
= 0, si no;

X_{2ij} = 1 si la parcela j estuvo sembrada con arroz durante el período de barbecho,
= 0, si no;

X_{3ij} = 1 si la variedad i estuvo sembrada en la parcela j, e i = 1 por mixta, i = 2 por CP 63-588, i = 3 por CP 70-1133, i = 4 por CP 56-59 e i = 5 por CL 54-378,
= 0, si no;

X_{2ij} x X_{3ij} = 1 si la variedad i estuvo sembrada después del arroz en la parcela j,
= 0, si no;

X_{4ij} = 1 si la caña planta se cosechó en la parcela j en el año i, e i = 1 por 1978-79, i = 2 por 1979-80, i = 3 por 1980-81 e i = 4 por 1981-82,
= 0, si no;

U_j = el término que define el error aleatorio asociado con la parcela j.

En la Florida sub-tropical, temperaturas de congelación ocurren en algunos años con el consiguiente descencso en los rendimientos. Se incluyó la variable del año para obtener las variaciones en temperaturas.

Implícito en este análisis es el supuesto de que ambos grupos de parcelas que tuvieron una secuencia idéntica en el ciclo previo (ej; barbecho/caña) hubieran rendido aproximadamente la misma cantidad de caña y azúcar si no se hubiera cosechado arroz en uno de esos grupos. Para comprobar la validez de dicho supuesto, se obtuvieron datos de la caña planta del ciclo productivo anterior en las mismas parcelas, a los que se le aplicó un análisis de regresión.

Resultados y Discusión

La comparación de los rendimientos de la caña planta del ciclo previo entre las parcelas ociosas y las parcelas de arroz validó la hipótesis de que aproximadamente parcelas equivalentes se eligieron para estimar el efecto del arroz. No se encontraron diferencias significativas en las ecuaciones para el porcentaje de sacarosa en los jugos ($P>0.91$) y toneladas de azúcar ($P>0.65$). Como las parcelas ociosas mostraron una producción mayor (2.45 toneladas netas) que las parcelas de arroz, cualquier efecto positivo del arroz sería conservador en lo que respecta a toneladas de caña netas.

Los resultados del análisis de regresión demostraron que, en general, los tres modelos empleados (toneladas netas de caña, porcentaje de sacarosa y toneladas de azúcar) eran los apropiados desde el punto de vista estadístico (Tabla 1). Los coeficientes de la variable del efecto del arroz en los tres modelos mostró el signo positivo y niveles altos de significación estadística ($P<0.01$), indicando un efecto beneficioso del arroz en los rendimientos del siguiente cultivo de caña. Los tres interceptos resultaron significativos al nivel de $P=0.01$. El término de interacción (variedad x arroz) resultó también con alta significación estadística. El mismo signo se obtuvo para el término de interacción para todas las variedades en los tres modelos estadísticos y sólamente varió la magnitud del coeficiente con la variedad. Por consiguiente, se utilizó un promedio de todas las variedades en los cálculos subsiguientes. Los coeficientes de determinación (R^2) resultaron buenos para este tipo de datos de sección cruzada..

Tabla 1. Resultados de las ecuaciones de regresión con los datos de los registros de los productores.

Variable independiente	Modelo		
	Toneladas netas de caña	Sacarosa (%)	Toneladas de azúcar/ha
Intercepto	68.15*** (2.46)[a]	11.66*** (0.38)	5.62*** (0.35)
Firma			
1	- 30.91*** (9.03)	4.36*** (1.41)	0.40 (1.30)
2	- 12.87*** (2.99)	2.07*** (0.47)	0.76* (0.43)
3	- 6.66 (6.60)	1.80* (1.03)	0.97 (0.95)
4	--	--	--
Efecto del arroz			
1	34.00*** (4.82)	1.73*** (0.75)	4.16*** (0.69)
0	--	--	--
Variedad			
1	1.51 (4.35)	1.21* (0.68)	0.80 (0.63)
	- 15.92*	- 2.16	- 2.85**

2	(8.81)	(1.37)	(1.27)
3	22.16*** (4.70)	0.05 (0.73)	1.74*** (0.68)
4	- 8.69** (4.16)	0.79 (0.65)	- 0.38 (0.60)
5	--	--	--
Variedad x arroz			
1 x 1	- 20.54*** (6.98)	- 1.29 (1.09)	- 2.64*** (1.01)
2 x 1	- 19.99** (9.59)	- 0.60 (1.49)	- 2.11 (1.38)
3 x 1	- 32.79*** (6.18)	- 1.35 (0.96)	- 3.69*** (0.89)
4 x 1	- 8.13 (6.34)	- 1.74* (0.99)	- 1.93** (0.91)
5 x 1	--	--	--
Zafra			
1	18.78*** (7.45)	1.99** (1.16)	- 0.17 (1.07)
2	44.95*** (6.66)	- 1.28 (1.04)	2.70*** (0.96)
3	19.80*** (2.98)	- 1.04** (0.46)	0.62 (0.43)
4	--	--	--
R^2	0.89	0.47	0.79
N	118	118	118

[a]Las cifras en parentésis son los errores estándar de los coeficientes de regresión.
*, **, *** representan niveles de significancia estadística de 0.10, 0.05 y 0.01, respectivamente.
R^2 = Coeficiente de determinación.
Fuente: Alvarez y Snyder (1984, p. 318).

El efecto del arroz fue sustancial, con aumentos de 17.71 toneladas netas de caña molible por hectárea, 0.73 porciento de sacarosa en los jugos y 2.08 de toneladas de azúcar por hectárea (Tabla 2).

Tabla 2. El efecto del arroz en las tres ecuaciones de regresión con los datos de los registros de los productores.

Efecto del arroz	Modelo		
	Toneladas netas de caña	Sacarosa (%)	Toneladas de azúcar/ha
1 (Y_a) Arroz	93.94	13.35	9.16
0 (Y_b) Barbecho	76.23	12.62	7.08
Efecto[a]	17.71	0.73	2.08

[a](Y_a – Y_b) tomado de la media de las variables.
Fuente: Alvarez y Snyder (1984, p. 319).

Segundo Experimento: Campos Comerciales

Método de Análisis

El segundo experimento se realizó en campos propiedad de la compañía "Big B Farm" en la parte central del AAE durante la zafra de 1983 (Snyder et al., 1986). Se produjo arroz en tres parcelas en Sitio 1, en cuatro parcelas en Sitio 2 y en ocho parcelas en Sitio 3. Un igual número de parcelas en barbecho se seleccionaron en los Sitios 1 y 3 basándose en haber sido sembradas con las mismas variedades de caña y alrededor de las mismas fechas que las de las parcelas de arroz. En el Sitio 2, cinco parcelas fueron seleccionadas para ser comparadas con las parcelas de arroz. Las parcelas que no habían producido arroz (denominadas las parcelas testigo) no fueron inundadas durante el verano mientras que las parcelas de arroz fueron inundadas por 150 días durante el ciclo de caña planta y retoño de arroz como parte del sistema normal de producción. La mayoría de las parcelas tenían un área de aproximadamente 14.17 hectáreas, exceptuando las parcelas testigos en Sitio 3 que promediaron 9.31 hectáreas. En el Sitio 1 se sembró la variedad CP 72-1210 y en los Sitios 2 y 3 se sembró la variedad CP 70-1133.

Resultados y Discusión

El cultivo de arroz que precedió a la siembra de caña aumentó de forma sustancial todos los parámetros de producción de la caña planta en los tres Sitios, exceptuando las toneladas gruesas en Sitio 3 (Tabla 3). Hubo una fuerte interacción entre Sitio y tipo de parcela en algunos de los componentes del rendimiento pero, con la excepción de toneladas gruesas, la interacción parece resultar de diferencias en la magnitud de la respuesta en vez de deberse a la presencia o ausencia o dirección de las respuestas. Aunque los promedios de los factores de calidad (Brix, pureza, sacarosa y rendimiento de 96^0) en Sitio 1 fueron numéricamente superiores en las parcelas de arroz cuando se comparan con las parcelas barbecho, no hubo diferencias significativas entre los dos tipos de parcelas en este Sitio. Las toneladas estándar y toneladas de azúcar por hectárea resultaron significativamente mayores para las parcelas de arroz en los tres Sitios.

Tabla 3. Resultados del análisis estadístico con los datos del experimento en campos comerciales.

Sitio	Tipo de parcela	TG/ha[a]	Brix (%)	Pureza (%)	Sacarosa (%)	TE/ha[b]	Rendimi-ento 96^0	TA/ha[d]
	Testigo	94.1	17.5	81.7	14.3	111.3	10.4	9.74
		**[c]	NS	NS	NS	**	NS	**
1	Arroz	110.7	18.2	82.9	15.2	141.1	10.8	12.32
	Testigo	90.7	15.9	75.9	12.1	86.9	8.4	7.64
		**	**	**	**	**	**	**
2	Arroz	107.3	16.9	79.6	13.4	117.8	9.6	10.33
	Testigo	99.5	16.1	76.4	12.3	97.7	8.6	8.58
		NS	**	**	**	**	**	**
3	Arroz	99.9	17.7	81.9	14.5	120.1	10.5	10.53
Prome-	Testigo	95.6	16.3	77.2	12.6	96.8	8.9	8.51
dio[e]	Arroz	104.2	17.6	81.5	14.4	123.6	10.3	10.75
Significancia estadística								
Sitio		NS	**	**	**	**	**	**
Tipo de parcela		**	**	**	**	**	**	**
Sitio x Tipo parcela		*	*	*	*	NS	**	NS

[a]Toneladas gruesas por hectárea. Para calcular las toneladas netas, reste el 4 porciento que se asumió de contenido de basura.

[b]Toneladas netas estándar (toneladas netas x un factor de calidad que refleja el contenido de sacarosa) por hectárea.
[c]Significancia estadística de las comparaciones por tipo de parcela dentro de cada sitio.
[d]Toneladas de azúcar por hectárea calculadas de las toneladas estándar.
[e] Promedio ponderado para reflejar el número de parcelas incluídas en el promedio.
*, **, *** representan niveles de significancia estadística de 0.10, 0.05 y 0.01, respectivamente.
Fuente: Snyder et al. (1986, p. 52).

El promedio de aumento en toneladas gruesas fue de sólo 8.9 porciento (8.6 t/ha), mientras que el promedio de aumento en toneladas estándar fue de 27.8 porciento (26.9 t/ha). Esta diferencia se debió a que el cultivo previo de arroz aumentó el Brix en un 8.0 porciento y la pureza en un 5.6 porciento, produciendo un aumento del 14.3 porciento en sacarosa. Las toneladas de azúcar por heactárea resultaron 2.24 superiores en las parcelas de arroz. Los factores de calidad, como la pureza y el Brix, fueron aumentados por el efecto del arroz en los Sitios 2 y 3. La caña en estos sitios se cosechó después de las fuertes heladas de enero 6 y 22 de 1985.

Implicaciones Económicas del Efecto del Arroz

Existen dos beneficios económicos potenciales que los cañeros pueden recibir de la rotación arroz-caña en el corto plazo. El primero es el ingreso directo proveniente de la cosecha de arroz y el consiguiente aumento en empleos e ingresos de los que sirven a la industria. El segundo beneficio se deriva de los ingresos que genera la producción extra de azúcar en la cosecha subsiguiente. En el largo plazo, el arroz representa una práctica de conservación ya que aumenta el número de años que se pueden cultivar esas tierras porque la oxidación de los suelos orgánicos se retrasa.

Los beneficios económicos, en términos de ingresos netos totales, se pueden calcular con la siguiente fórmula: IN = (P * EAA) - (C * EATG), donde IN representa los ingresos netos totales, P es el precio del azúcar por kg, EAA es el efecto del arroz expresado en kg de azúcar por hectárea, C son los costos adicionales de cosecha, alza y tiro por tonelada gruesa de caña y EATG es el efecto del arroz expresado en toneladas gruesas de caña por hectárea.

El Primer Experimento

El efecto del arroz en el primer experimento se estimó en 2.08 toneladas de azúcar por hectárea. Los costos de cosecha, alza y tiro en la zafra de 1983-84 fueron de $11 por tonelada gruesa de caña. El precio promedio spot New York por kg de azúcar en esa temporada fue de $0.44, con $0.277 yendo al productor, reflejando el 63 porciento que debe recibir el productor independiente de caña. En términos de toneladas gruesas, asumiendo un 3 porciento de basura, el efecto del arroz fue de 18.24/ha. Por lo tanto, el efecto del arroz representó $375/ha. Existen ingresos adicionales que reciben los procesadores que muelen dicha caña y también los ingresos a productores y procesadores por la melaza adicional.

El Segundo Experimento

El efecto del arroz se estimó en 2.24 toneladas de azúcar por hectárea. Los costos de cosecha, alza y tiro en la zafra de 1984-85 fueron de $12 por tonelada gruesa de caña. El precio promedio por kg de azúcar fue alrededor de $0.46, con $0.29 para el productor. En términos de toneladas gruesas, el efecto del

arroz fue de 8.6/ha. Por consiguiente, el efecto del arroz fue de $553/ha, sin contar los ingresos extra por la melaza.

Beneficios Adicionales de la Rotación

El impacto económico directo, no discutido en este trabajo, está representado por los ingresos proveniente de la venta del arroz, los cuales, por regal general, incluyen la primera cosecha y la cosecha del retoño. El indirecto es el aumento en las ganancias en la zafra siguiente debido al efecto del arroz.

Otro beneficio económico indirecto es la posibilidad de promediar algunos costos de producción entre los dos cultivos. En el AAE se ha generalizado la práctica de la nivelación con máquinas de rayos laser, la cual extiende la durabilidad de la nivelación por dos o tres cosechas pero las encarece grandemente. Dicho costo variable se puede cargar a los dos cultivos y de esa manera reducir los mismos por cultivo.

El aumento en la eficacia de los fertilizantes es un beneficio importante. Como el grano es la única parte de la planta de arroz que se remueve del campo, el resto es incorporado al subsuelo después de la cosecha. Cuando se descompone, sus nutrientes son absorbidos por las plantas de caña. Aunque no se discute en este trabajo, la práctica de aplicar silicato de calcio en el arroz produce también aumentos en los rendimientos de la caña planta y en estos momentos se analiza el efecto del residuo en los retoños subsiguientes.

La inundación asociada con el cultivo del arroz ha resultado un método eficiente para el control del gusano alambre, eliminando la necesidad de una aplicación de insecticida antes de la siembra. Lo mismo puede decirse del control de malezas durante el período de barbecho. La conservación de los suelos orgánicos, debido a la inundación, produce beneficios adicionales.

Finalmente, se pueden mencionar una serie de beneficios para el medio ambiente. Entre ellos: la posibilidad de almacenar agua en los campos de arroz durante el verano, la eficacia de los campos de arroz en remover fósforo de las aguas de drenaje de campos adyacentes y, por ultimo, la atracción de numerosas especies de aves que se han establecido en el sur de la Florida debido a los campos de arroz.

Conclusiones e Implicaciones

La existencia de un efecto del arroz que aumenta tanto los rendimientos de biomasa como los de sacarosa en la siguiente cosecha de caña en una rotación arroz-caña quedó establecida en el primer experimento y confirmada en el segundo. Ninguno de los dos estudios proporcionó una evidencia definitiva sobre el motivo de la existencia del efecto del arroz. Un factor común entre los dos estudios fue que las parcelas ociosas en el verano no fueron inundadas mientras que las parcelas de arroz sí lo fueron por un período prolongado. Desde los primeros tiempos de la producción de arroz en el AAE como cultivo de cobertura se supo que la inundación resultaba beneficiosa para controlar una gran variedad de plagas como enfermedades endémicas del suelo, insectos y nemátodos (Greene, 1953; Stoner y Moore, 1953; Thames y Stoner, 1953; Genung, 1970). Sin embargo, la incógnita de si el effecto del arroz se debe únicamente a la inundación intensa asociada con el arroz no ha sido resuelta. El reciclaje de nutrientes durante la producción de arroz que se hubieran podido filtrar del suelo debido a las fuertes lluvias del verano pudieran beneficiar al siguiente cultivo de caña (Yadav y Singh, 1987, p. 600). Las mejoras en la capa arable, ventilación del suelo, infiltración y drenaje de agua que siguen a la inundación, incorporación del rastrojo y un mejor control en el manejo del nivel freático asociado con el uso de la nivelación láser puedieran haber contribuído también a alcanzar mayores niveles de rendimientos en las parcelas de arroz.

La experiencia del sur de la Florida, documentada en estos dos estudios, parece tener una implicación importante. Los promedios de rendimiento de caña en el AAE no han aumentado tanto como se esperaba debido a las mejoras en las variedades en las últimas décadas ya que la expansión de la industria ha tomado lugar en suelos marginales. Sin embargo, se pueden obtener aumentos sustanciales en los promedios de rendimientos tan sólo sembrando arroz antes de resembrar los campos cañeros. La magnitud del efecto del arroz para productores, como se demostró en ambos experimentos, dependerá de varios factores. El descubrimiento de la existencia de un efecto del arroz en el AAE, confirmada luego con experimentos en suelos minerales de la India (Yadav y Singh, 1987) pudiera ser de gran importancia económica para la industria azucarera del sur de la Florida y posiblemente para otras regiones del mundo donde el arroz se puede cultivar en rotación con la caña de azúcar. En los momentos actuales, esta rotación pudiera representar una contribución importante al proceso de diversificación emprendido por la mayoría de las agroindustrias azucareras del mundo.

En el caso específico de la agroindutria azucarera de Cuba, enfrascada en un proceso de restructuración, la rotación de arroz con caña de azúcar tiene una relevancia especial. Primero, porque contribuiría al objetivo de aumentar la producción de alimentos sin desplazar a otros renglones por ocupar antiguas tierras cañeras ya que el arroz se sembraría en las mismas tierras cañeras en barbecho. Segundo, porque el arroz es en la actualidad un renglón prioritario en los planes de producción cubanos. La rotación arroz-caña sería una importante adición al Sistema Intensivo de Cultivo del Arroz (SICA) y al Movimiento de la Agricultura Urbana. El "efecto del arroz" aumentaría los rendimientos agrícolas e industriales del cultivo de caña subsiguiente. La adopción generalizada de esta práctica en 2004 sería un objetivo apropiado en el que ha sido declarado Año Internacional del Arroz por la Asamblea General de Naciones Unidas.

Referencias

Alvarez, J., (1978), Potential for commercial rice production in the Everglades, Econ. Info. Rep. 98, Food and Resource Econ. Dep., Univ. of Florida, Gainesville.

Alvarez, J., Snyder, G.H. (1984), Effect of prior rice culture on sugarcane yields in Florida, *Field Crops Res.*, 9, 315-321.

Alvarez, J., Kidder, G., Snyder, G.H., (1978), The economic potential for growing rice and sugarcane in rotation in the Everglades, *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.*, 38, 12-15.

Alvarez, J., Snyder, G.H., Jones, D.B., (1989), The integrated program approach in the development of the Florida rice industry, *J. Agron. Educ.*, 18, 6-11.

Genung, W.G., (1970), Flooding experiments for control of wireworms attacking vegetable crops in the Everglades, *Fla. Entomol.*, 53, 55-63.

Greene, V.E., Jr., (1953), Rice growing is added to Everglades agriculture, *Crops Soils*, 6, 14.

Snyder, G.H., Alvarez, J., Mishoe, J.W., Myhre, D.L., Shih, S.F., Green, V.E., Jr., (1977), The economic potential for incorporating rice in Everglades vegetable production systems, *Fla. State Hortic. Soc. Proc.*, 90, 380-382.

Snyder, G.H., Burdine, H.W., Crocket, J.R., Gascho, G.J., Harrison, D.S., Kidder, G., Mishoe, J.W., Myhre, D.L., Pate, F.M., Shih, S.F., (1978), Water table management for organic soil conservation and

crop production in the Florida Everglades, Bull. 801, Fla. Agric. Exp. Stn., Inst. of Food and Agric. Sci., Univ. of Florida, Gainesville.

Snyder, G.H., Caruthers, R.H., Alvarez, J., Jones, D.B., (1986), Sugarcane production in the Everglades following rice, *J. Am. Soc. Sugar Cane Technol.*, 6, 50-55.

Stephens, J.C., Johnson, L., (1951), Subsidence of organic soils in the upper Everglades region of Florida, *Soil Sci. Soc. Fla. Proc.*, 9, 191-237.

Stoner, W.N., Moore, W.D., (1953), Lowland rice farming, a possible control for *Sclerotina sclerotiorum* in the Everglades, *Plant Dis. Rep.*, 37, 181-186.

Tate, R.L., (1979), Effect of flooding on microbial activities in organic soils: Carbon metabolism, *Soil Sci.*, 128, 267-273.

Thames, W.H., Jr., Stoner, W.N., (1953), A preliminary trial of lowland rice culture in rotation with vegetable crops as a means of reducing root-knot nematode infestations in the Everglades, *Plant Dis. Rep.*, 37, 187-192.

Yadav, D.V., Singh, R.D., (1987), Effect on yield and juice quality of sugarcane following rice, *J. Agric. Sci.*, 109, 599-600.

NUEVA METODOLOGIA EN LA SELECCIÓN DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZUCAR (S. OFFICINARUM L.), EN MEXICO

NEW METHODOLOGY FOR SELECTING VARIETIES OF SUGAR CANE (S. OFFICINARUM L.), IN MEXICO

RAFAEL TRUJILLO FIGUEROA*

Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. México.
Direccion: Periferico Carlos A. Molina s\n km 3.5, carretera Cárdenas-Huimanguillo, c.p. 86570, h. Cárdenas Tabasco, México.
tel (01937) 3722386; tel\fax (01937) 3722297; trafael@colpos.mx

Palabras clave: caña de azúcar, metodología, selección, nueva, variedades
Code words: new methodology, sugar cane, selection, varieties

Summary

Sugar cane is a very important agri-industry plant. In the international marketing has had a place, under the first 10 human food products. It produce large amounts of saccharose and by-products, and annexed to other crops, like sugar-beet, sweet potatoes, cassava and potatoes, has satisfied the needs of carbohydrates, in the world. in Mexico, this crop has grown extraordinary; whilst in 1942 were cultivated 78,724 ha, in 1999 the cultivated surface rise the 642,625 ha and the yield, in land, reach the cipher of 57.50 to 67.83 ton\ha, respectively.
The better yields were obtained trough selection of new varieties, resisting to diseases, technology packets, including optimal fertilization and population density and water supplies, under others more. The methodology for the selection of the new varieties, has employed until now, a long period of time, in México, which endures 15-16 years. In this paper it is showed a new methodology that can reduce, the time for the selection of new varieties, to only 6.5 years.

resumen

La caña de azúcar se encuentra entre las primeras 10 especies de plantas mas comerciales a nivel mundial. su importancia radica en la alta producción de sacarosa y derivados, que junto con la remolacha azucarera, el camote, la yuca y la papa surten al mundo de sus necesidades de carbohidratos. en México ha sido sorprendente el crecimiento que ha tenido este cultivo; mientras en 1942 se cultivaban unas 78,724 ha de la gramínea, para 1999 se había alcanzado la cifra de 642,625 ha, pasando de 57.50 a 67.83 ton/ha, respectivamente, los rendimientos promedios de campo.
Dichos incrementos se debieron en buena medida al mejoramiento genético de la caña, incluyendo la resistencia a enfermedades y la generación de paquetes tecnológicos, para fertilizar, regar y sembrar a densidades mas apropiadas, entre otros aspectos mas. el tiempo del mejoramiento genético en caña, es una metodología, en sus fases de selección, que difiere mucho entre países y en México dura hasta 16

*Dr. Sc. Agr., Prof. Inv. Titular. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n, Carretera Cárdenas-Huimanguillo, CP. 86570, H. Cárdenas, Tabasco, México. Tel. (937) 3722386. Fax, (937) 22297. E-mail trafael@colpos.colpos.mx.

años. el trabajo que aquí se propone trata de explicar la metodología para reducirlos a tan solo 6.5 años.

1. Introducción

A nivel mundial, se estima que unas 1000 a 2000 especies, tienen circulación en el mercado; pero, solo el 10% (100-200), tiene importancia económica, siendo las más sobresalientes unas 15, que son las que surten de alimentos al mundo (Janick, 1974), entre esas 15, la caña de azúcar, junto con la remolacha azucarera, papa, camote y yuca, proporcionan la mayor parte de hidratos de carbono, (Schütt, 1972).

La caña de azúcar, y la gran variedad de cultivos y plantaciones, con que se cuentan en la actualidad, han sido mejorados por la necesidad de producir mayores cantidades de alimentos, para alimentar una población en constante crecimiento. A su vez se han desarrollado nuevas tecnologías agronómicas y de transformación agroindustrial, que han incrementado la productividad. En este proceso, junto a los nuevos materiales biológicos seleccionados, han aparecido factores adversos a los mismos, como contaminantes de suelos y atmósfera, y mayor resistencia para erradicar las malas hierbas, las plagas y enfermedades, lo que a su vez generó necesidades de investigación para corregir esos daños, lo que en parte se ha logrado, mediante el uso de agroquímicos, procedimientos que a su vez, han encarecido los costos de producción; causando en muchos casos, el abandono del campo por los productores o bien el aplicar una mínima cantidad de insumos y técnicas, redundando todo ello, en la obtención de mínimas cosechas y utilidades.

Para contrarrestar lo anterior, se trabaja constantemente en la producción de conocimientos y generación de tecnologías, para desarrollar una agricultura cada vez más orgánica, tanto en la fertilización como en el control biológico de las plagas, enfermedades y malas hierbas, así como en el mejoramiento genético, es decir, tratando de hacer una agricultura cada vez más racional y sustentable.

Este trabajo trata del mejoramiento genético, de la caña de azúcar, sobre todo de los procesos de selección, para la obtención de nuevas variedades en menor tiempo del que se requiere actualmente en México; de tal manera que podamos contar con más variedades en cada región cañera del país, entre ellas la de Tabasco.

2. Importancia Agroindustrial de la caña de azúcar

La importancia de la producción de caña de azúcar radica en la cantidad de sacarosa que se obtiene para la alimentación humana, y los subproductos que se derivan, tanto en campo como en fábrica; así como la cantidad de empleos que genera (158,038 productores y 632,200 beneficiarios, a nivel nacional y 6000 y 28,000, respectivamente, en el caso particular de Tabasco), y los ingresos y utilidades consecuentes, que obtienen los productores en campo y los industriales, en fábrica (Trujillo, 2001).

La caña deriva su gran utilidad, por el azúcar y los subproductos que se obtienen, tanto en campo como en fábrica. Su composición química es la siguiente: agua (73.0%); cenizas (0.50%); fibra (12%); azúcar 13.5% (sacarosa 12.0%, destrosa 0.9%, levulosa 0.6%); grasas y ceras (0.20%); compuestos nitrogenados (0.40%); pectinas (0.20%); ácidos libres (0.08%); ácidos combinados (0.12%) (García, 1984). Entre los subproductos, que son de gran utilidad están las hojas de los cogollos, obtenidos después de la zafra, para la alimentación del ganado, y en fábrica se obtiene el bagazo, fuente de celulosa para el cartón y el papel de envoltura, o bien para quemarse en la fábrica; las melazas para la fabricación de piloncillo, alcoholes y maltas, entre otros más (Janick, 1974).

A nivel mundial la caña de azúcar se cultiva en las regiones tropicales y subtropicales de los continentes, en los cuales, entre los países con mayores superficies de cultivo, sin incluir India y China, se encuentran Brasil, con 4’678,000 ha; Cuba, 1’300,000; México, 750’000; Estados Unidos de América, 385,000; Argentina, 323,000; Tailandia 927,000; Pakistán 1’500,000; Indonesia 342,200; Australia, 508,000 y Sudáfrica 424,000, lo cual da una superficie total de 11’372,000 ha; que sumada a la de otros 10 países, con una superficie de cultivo mayor a las 75,000 ha, cada uno, aumenta a

12’726,713 ha, estimaciones hechas por el autor en base a datos de Flores (2001). La cifra anterior, que solo incluye 20 países productores de caña en el mundo, muestra el incremento sustancial que ha habido, si la comparamos con todas las áreas cultivadas en el mundo, en los períodos de 1948/53 y 1967/68, de 6’450,000 y 9’750,000 ha, respectivamente, datos elaborados con información de Schütt, 1972.

En particular, en México ha habido notables cambios en la producción de campo y de fábrica, si comparamos el periodo comprendido entre 1942 y 1999. Mientras en la primera fecha México cultivaba 78,724 ha de caña de azúcar, para 1999 la superficie se había incrementado a 642,625 ha, y la producción de caña pasó de 4’618,378 ton a 43’590,071, respectivamente. Incrementos debidos también, aparte de la mayor superficie cultivada, al incremento de los rendimientos, que pasaron de las 57.50 ton/ha, en 1942 a 67.83, en 1999. De la misma manera, en fábrica, se observó un avance, ya que mientras en 1942 fue de 9.10%, para 1999 alcanzó 10.78% **(**Trujillo, 2001).

La distribución de la superficie plantada de caña de azúcar, por estados, en el país, así como la producción de caña en campo y azúcar en fábrica; se observa en el CUADRO 1. Como se puede notar corresponde a Tabasco el 7° lugar en superficie plantada, con el 4.16% de la superficie total (642,625 ha), después de Veracruz, Jalisco, San Luís Potosí, Oaxaca, Tamaulipas y Nayarit.

Respecto al rendimiento, los mayores se presentaron en Morelos, con 102.96 ton/ha y en Puebla con 102.26; correspondiendo a Tabasco el 9° lugar con 61.54 ton/ha. Por otra parte, en los rendimientos de fábrica, expresados en %, alcanzaron los mayores valores Nayarit (12.06%; Puebla (12.08%); Michoacán (11.58%); Jalisco (11.53%); en tanto que los más bajos se presentaron en Campeche (8.92%), Sinaloa y Q. Roo con 9.34 y 9.57 %, respectivamente, mientras que Tabasco alcanzó el 9.93%, aproximadamente un punto porcentual por debajo de la media nacional, cuyo valor fue de 10.80% (CUADRO 1).

3. Areas de producción cañera en el país.

Considerando las necesidades climatológicas y edáficas para el buen desarrollo de la caña de azúcar, las plantaciones en México, se encuentran ubicadas entre los 14°30’ y los 26°00’, de latitud norte, y entre los meridianos 89°00 y 109°00’, de longitud oeste y a alturas que varían desde unos cuantos metros, hasta los 400-600 msnm y en algunos casos alcanzan los 1400-1500 msnm, como es el caso de los ingenios de Michoacán y Jalisco. Las condiciones climaticas son las correspondientes a los climas cálidos y semicáliddos, en donde las temperaturas medias anuales están sobre los 24 y 22°C, respectivamente, de preferencia ausentes de heladas; con iluminación diaria de 11-12 horas luz; suelos preferentemente de aluvión, francos y arcillo arenosos, en general que tengan buena aereación y precipitaciones anuales superiores a los 1500 mm, con periodos secos de por lo menos 3 meses, durante el periodo de la zafra. En donde las precipitaciones sean muy altas y los suelos pesados se deben buscar soluciones de drenado. En donde el agua escasea se debe contar con auxilios de riego como los de Morelos y Puebla, además de otros lados, o bién se les debe proporcionar riego todo el tiempo, como el caso de los ingenios del Estado de Sinaloa, donde las lluvias escasean casi todo el tiempo.

Atendiendo a los límites geográficos señalados, la producción de la caña de azúcar en el país, se desarrolla en 14 regiones, 36 zonas, en las cuales se ubican 60 ingenios; correspondiendo a Tabasco la Región Tabasco (XI), y las Zonas XXIV (Tenosique); XXV (Tlacotalpa) y XXVI (Cárdenas); en donde se encuentran los ingenios Aszuremex, Dos Patrias y Sta. Rosalía-Pte. Benito Juárez, respectivamente.

4. Mejoramiento Genético

El mejoramiento genético en caña de azúcar debe responder a la obtención de variedades con mejores rendimientos en campo y fábrica; para ello, entre los caracteres a mejorar están: el tipo de planta, resistencia a microorganismos, tales como hongos, bacterias y virus, desarrollo radicular, tenacidad, número, diámetro, largo y contenido de sacarosa y fibra del tallo, número de tallos molederos por

unidad de superficie, despaje, tiempo de madurez (temprana, media y tardía), lo cual permite a los ingenios programar la zafra.

La fuente de variación, para seleccionar variedades con los caracteres deseados, son las mutaciones, y/o la recombinación de genotipos, mediante el cruzamiento. En el caso de la caña de azúcar, las nuevas variedades existentes en el mundo y en México, han partido inicialmente de diferentes materiales silvestres, cruzados entre si y también mediante cruzamientos intraespecíficos é interespecíficos; así como de materiales silvestres con materiales mejorados, y de estos entre sí, como sucede en la mayoría de los casos, en búsqueda de caracteres especiales, los que mediante procesos de retrocruzas y selecciones recurrentes se incorporan a las variedades mejoradas de alto rendimiento.

Entre las especies silvestres de caña de azúcar figuran: Saccharum spontaneum S. barberi, S. sinensi, S. robustum, S. edule y S. officinarum, las cuales presentan las siguientes características:

S. spontaneum, posee un número cromosómico de 48-112, siendo resistente a enfermedades, como el sehre, mosaico y pudrición de la raíz, presenta poco jugo, mucha fibra y tallos erectos.

S. barberi, tiene un número cromosómico de 82-124, se adapta a condiciones templadas, tiene tallos delgados, tolera el mosaico, es inmune al sehre, pero susceptible al carbón.

S. sinensi Roxb. Mod. Jesw, tiene un número cromosómico de 116-118. Son llamadas cañas chinas.

S. robustum, con un número cromosómico de 84, es de Nueva Guinea, tiene posiblemente uno de los ancestros de S. officinarum y solo se encuentra en estado silvestre, es de tallo grueso, adaptable al trópico, con bajo contenido de sacarosa y susceptible al mosaico, es una caña vigorosa, alta, hasta 10 m de altura y perenne.

S. edule Hassk, Es originaria de Nueva Guinea, y no se ha usado en programas de cruzamiento.

S. officinarum, tiene 80 cromosomas y es originaria de Nueva Guinea, y tiene tallos gruesos, corteza suave, rica en sacarosa y poca fibra.). De la S. officinarum se derivaron las variedades denominadas Cheribón, de Java , como la morada, rayada, cristalina y Otoheite o Bourbón, que se cultivaron en todo el mundo. De la especie S. barberi se derivó la variedad Chunee, de la S. sinensi, se obtuvo la variedad Ubal, de tallos largos y delgados, pero bajas en sacarosa, vigorosas y de amplia adaptación, así como resistente al mosaico, productora de forraje y azúcar, en Asia.

A través de programas de cruzamientos, se inició la producción de híbridos, no en el sentido estricto, pero si con alto grado de heterocigosis, una vez que se descubrió como controlar las horas luz que requería la caña para florear, y se dominaron las técnicas de cruzamiento, por el año de 1885. De la variedad Chunee, obtenida de S. barberi, al cruzarse con las Cheribón se obtuvieron los híbridos POJ 36, POJ 213 y POJ 234, en la estación experimental de Java, mismas que de ahí pasaron al continente americano, en la década de los 30's (Flores, 2001). La variedad Co 213, obtenida en la India, también tenía germoplasma de la S. barberi, la cual se cultivó en el Ingenio de San Cristóbal, en Ver., por un buen tiempo. La variedad Uba, derivada de S. sinensi se usó en Puerto Rico y Sudáfrica, contra el mosaico. Ver Flores, 2001; Parthasurathy, 1948; Dutt y Rao, 1950; Schütt, 1972; Loma De la, 1963; entre otros autores, más.

CUADRO 1. PRODUCCION DE CAMPO Y FABRICA, EN MEXICO, ZAFRA 1998-1999.

ESTADO	SUPERFICIE INDUSTRIALIZADA (HA)	SUPERFICIE INDUSTRIALIZADA) (%)	RENDIMIENTO DE CAMPO (TON/HA)	CAÑA MOLIDA BRUTA (TON)	AZUCAR PRODUCIDA (TON)	RENDIMIENTO AGROINDUSTRIAL DE AZUCAR (TON/HA)	RENDIMIENTO DE FABRICA (%)
CAMPECHE	6904	1.07	35.32	243871	21632	3.15	8.92
COLIMA	10577	1.64	85.41	903382	94625	8.97	10.50
CHIAPAS	22211	3.46	82.32	1828313	193785	8.73	10.60
JALISCO	70184	10.92	80.91	5678780	652642	9.33	11.53
MICHOACAN	17426	2.71	81.83	1425916	164892	9.48	11.58
MORELOS	14416	2.24	102.96	1484320	165950	11.57	11.24
NAYARIT	27335	4.25	74.27	2030294	244138	8.96	12.06
OAXACA	35435	5.51	60.11	2129934	246928	6.99	11.63
PUEBLA	13907	2.16	102.26	1422148	171620	12.35	12.08
Q. ROO	20126	3.13	50.8	1022425	97580	4.86	9.57
SINALOA	22636	3.52	77.33	1750491	163028	7.22	9.34
SAN LUIS POTOSI	68282	10.62	50.07	3419040	373860	5.50	10.98
TABASCO	26725	4.16	61.54	1644778	162730	6.11	9.93
TAMAULIPAS	29802	4.64	58.33	1738413	168651	5.69	9.75
VERACRUZ	256659	40.00	65.72	16867967	1776858	6.95	10.58
TOTAL NAL.	642625	100.00	67.83	43590071	4698919	7.33	10.80

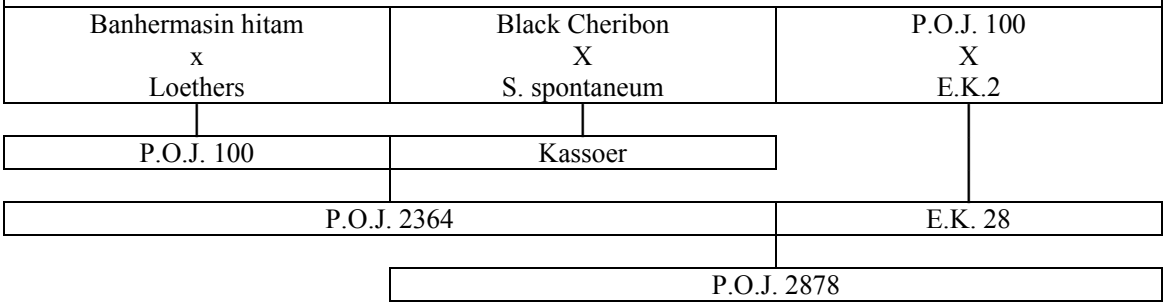
Fuente: Trujillo (2001), con datos de la Zafra 1998/99, Comité de la Agroindustria Azucarera (2000).

La variedad POJ 100, fue la primera con carácter comercial producida en la Estación Experimental de Java, la cual también sirvió en los cruzamientos que dieron origen a la famosa variedad POJ 2878, producida en 1921 y que le dio la vuelta al mundo por sus características sobresalientes, como crecimiento rápido, talos erectos, entrenudos largos, alto rendimiento en campo y fábrica, inmune al sehre y al mosaico, entre otros caracteres más, Esta variedad tiene la siguiente genealogía, CUADRO 2 (Loma, 1963). La importancia de los programas de cruzamientos, se reflejó en los incrementos de rendimiento, que de 2 ton/ha, obtenidas en 1840, pasó a las 10 en 1910 y 20 en 1940 (Janick, 1974); y de esas fechas a los tiempos actuales, los rendimientos se han colocado por arriba de las 70 ton/ha, a nivel nacional e internacional. Los rendimientos, además del mejoramiento genético, deben su incremento a la selección de variedades resistentes a enfermedades y a la mejora de las prácticas agronómicas.

En México, desde el inicio de los 90's, ya se contaba con un banco de germoplasma compuesto por poco más de 2000 variedades provenientes de todo el mundo, mismas que han servido como progenitores en los programas de hibridación que se llevan a cabo en la Estación de Hibridación de Rosario Izapa, en Tapachula Chis., de donde los híbridos esultantes son distribuidos a diferentes regiones del país, como parte del programa de selección de variedades. En dicho programa se han podido seleccionar, desde 1963, más de 100 variedades, que constituyen cerca del 62% (450,000 ha), del total de la superficie sembrada en el páis (Flores, 2001). Entre las 20 variedades más sobresalientes, en el país, 9 son mexicanas y de ellas, tres, la Mex 69-290; Mex 68-p-23 y la Mex 57-473, ocupan el 48% de un total de 649,511 ha; según censo de variedades 2000/01 (CUADRO 3).

En el estado de Tabasco las variedades Mex 68-P-23, Mex 69-290 y la Mex 57-473 ocuparon el el 69.15%, en tanto que las variedades extranjeras: Co 997, SP 70-1284, CP 72-2086 y otras más el 21.06% (Anexo 1). Lo cual nos muestra que tanto en todo el país como a nivel de entidades estatales el número de variedades utilizadas es muy bajo.

CUADRO 2. GENEALOGÍA DE LA VARIEDAD P.O.J. 2878, SEGÚN DE LA LOMA (1965)



Los métodos de cruzamiento que se siguen en la estación Experimental de Hibridación, de la CNIAA, en Tapachula, Chis, son los de cruzas biparentales, multiparentales y de linternilla, aprovechando las condiciones latituddinales y en consecuencia de horas luz apropiadas para que la caña floree. Por otra parte el grado de dificultad que presenta el pequeño tamaño de las flores de caña, se compensa porque hay variedades que presentan muy bajo porcentaje de polen fértil (0-20%), las cuales son consideradas como hembras, sin necesidad de emascularse, y pueden cruzarse con plantas macho, las cuales tienen entre el 21 y 50% de polen fértil en sus flores.

En el estado de Tabasco, de 25 variedades cultivadas (Zafra 1999/2000) 14 eran mexicanas, y ocupaban el 76.17%, del total de la superficie plantada (25,872.92 ha), y de ellas las tres sobresalientes, mencionadas arriba, a nivel nacional, ocuparon el 73.15% de la superficie cañera en el Estado (Trujillo, 2001).

En el Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, se ha venido desarrollando un Programa de Mejoramiento Genéticao de Caña, en su fase del proceso de selección y evaluación de variedades, en colaboración con la Camara Nacional de la Industria Azucarera y Alcoholera (CNIAA). Dentro de ese programa se cuenta ya con variedade prometedoras como son la Mex 83-510 y la RD 75-11 (Valdez y Bucio (1998), y Valdez y cols. (1999).

Durante el 2001, además de la colaboración con la CNIAA, el Campus Tabasco tuvo el apoyo financiero de la Fundación Produce, en el proyecto de Selección de Variedades de Alto Rendimiento en Campo y Fábrica, para el Estado de Tabasco (FPI-18), (Trujillo, 2001). Entre los avances que muestra ese proyecto están los que corresponden a la selección de 10 clones del subproyecto Fase Surco (Generación 1996-97), y 7 del de la Fase Cepa (Generación 1996-97), los cuales fueron sembrados en la Fase Parcela, el año 2002, y fueron evaluados en la zafra, 2002-2003, en cuanto a sus características botánicas, agronómicas e industriales. En el periodo 2003-2004 se evaluarán en ciclo soca, las 10 variedades y en plantilla, de la fase parcela las 7 variedades de la generación 1996-97.

CUADRO 3. CENSO DE VARIEDADES, ZAFRA 2000/01 (CNIAA)

No	Variedad	Superficie (ha)	%
1	Mex 69-290	158,782	24.42
2	CP 72-2086	109,466	16.84
3	Mex 68-P-23	76,677	11.79
4	Mex 57-473	43,025	6.62
5	NCo 310	40,457	6.22
6	Co 997	28,574	4.40
7	SP 70-1284	18,388	2.82
8	Q 68	14,194	2.18
9	Mex 68-1345	14,130	2.17
10	Mex 55-32	13,306	2.04
11	My 55-14	12,044	1.85
12	Mx 80-1410	11,353	1.74
13	Q 96	11,202	1.72
14	L 60-14	9,830	1.51
15	RD 75-11	6,272	0.96
16	Mex 79-431	6,020	0.93
17	CP 44-101	5,870	0.90
18	Mex 73-523	5,044	0.78
19	Mex 80-1428	4,629	0.71
20	Otras	60,248	9.46
Suma		649,511	99.86

Según Flores (2001).

5. El Proceso de Selección de Variedades

Los procesos de selección de variedades tienen notables diferencias, dependiendo de los caracteres por seleccionar (cualitativos y cuantitativos), la naturaleza de los progenitores, en cuanto a su pureza genética, el tipo de propagación del material segregante, entre otros más. En el caso de la caña de azúcar, las poblaciones segregantes pueden provenir de mutaciones de yema polen ú óvulos, recombinación somática, o bien de genes, mediante el cruzamiento de progenitores, con los caracteres de interés. Los individuos que se seleccionan en la primera generación filial (F1), con un alto grado de heterocigosis, se propagan de ahí en adelante por la vía vegetativa, con lo cual se mantienen inalterables sus características genéticas, salvo aquellas que presenten algún grado de interacción con el medio ambiente, razón por lo cual se someten a ensayos de adaptación en diferentes condiciones ambientales, como parte del proceso de selección, para determinar su respuesta, y en su caso, recomendarse, para uno, dos o más ambientes, según el resultado.

Además de la característica de la caña de azúcar, de propagarse fácilmente por la vía asexual, tiene la particularidad de que puede mantenerse bajo producción económica, ciclo tras ciclo, por 5-6 años, o más, por lo que los procesos de selcción de las variedades incluyen la respuesta que los híbridos

seleccionados tengan, tanto en el ciclo plantilla, como en los ciclos soca y resocas, a través de varios años y fases de selección.
Los procesos de selección que practican los paises productores de caña, tienen variaciones notables, de tal manera, que pueden definirse según el país de que se trate, así tenemos los métodos: australiano, de Louisiana, cubano, hawiiano o mexicano, etc, etc. Por ejemplo, en Barbados y la Florida el tiempo requerido para obtener una nueva variedad es de 8 años; en tanto que, en Cuba, de 11 **(**ver Martín, 1982**)**, y en México el tiempo establecido es de 14 -15 años (Marín, 1989, citado por Flores, 2001).

CUADRO 4. SINTESIS DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZUCAR, SEGÚN METODOLOGIA EXPERIMENTAL DEL IMPA, MODIFICADA EN 1988 (MARIN, 1989). CITADO POR FLORES, 2001.

Fase	Periodo de Evaluación		Población Teórica	Nomenclatura	Parcela Experimental	Localización
	Ciclo	Meses				
Plántula	Soca	18	10,000	Híbrido	1 cepa cada 0.90m	Campo Experimental
Surco	Soca	24	2000	Clón	1 surco de 3m	Campo Experimental
Parcela	Soca	24	400	Clón	3 surcos de 5 m	Campo Experimental
Multiplicación I	Plantilla	10- 12	80	Variedad	4 surcos de 25 m	Campo Experimental
Prueba de Adaptación	Soca	24	90	Variedad	3 surcos de 10 m	Campo Experimental
Multiplicación II	Plantilla	10-12	16	Variedad	Variable	Campo Experimental
Evaluación Agroindustrial	Resoca	38-42	16	Variedad	6 surcos de 12 m	Campo Comercial
Multiplicación III	Plantilla	10-12	1-4	Variedad Prometedora	Variable	Campo Experimental y Comercial
Prueba Semicomercial	Plantilla	10-12	1-4	Variedad Prospecto Comercial	Variable	Campo Comercial
Tiempo total del período de selección 180 meses (15 años)						

El método de selección de variedades de caña de azúcar, aplicado en México (CUADRO4 parte de una población de 10,000 plántulas, actualmente de 20,000, y termina con 1-4 variedades, después de un trabajo arduo de selección, desde la fase plántula, hasta la semicomercial, lo cual comprende un periodo de 14-15 años. En cada fase y ciclo se toma una serie de datos de los materiales, de tipo agronómico, botánico é industrial para obtener las variedades más sanas y altamente productivas, en campo y fábrica.

6. Nueva Metodología para la Selección de Variedades (propuesta del autor)

La simplificación del método de selección de variedades tiene como propósito fundamental reducir el número de años, para obtener una nueva variedad. Hasta ahora, considerando el tiempo desde el momento de la siembra del material híbrido (semilla fuzz), en condiciones de invernadero y trasplante

en plántula, en campo, hasta las pruebas semicomerciales, en las que se validan las nuevas variedades, el proceso de selección dura de 14-15 años (CUADRO 4).

El proceso simplificado de selección de variedades de caña, que aquí se propone (CUADRO 5-ANEXO 1) consta de las siguientes fases, ciclos y tiempos de selección:

I. FASE PLANTULA. Empieza Con la siembra de semilla fuzz en invernadero (que produce unas 20,000 plántulas), sobre las que se hace la prueba del mosaico, que sirve para hacer la selección inicial de los materiales, para su trasplante en campo. El material de invernadero se trasplanta en campo según diseño experimental del autor, donde se selecciona, en ciclo soca (después de 18 meses), en base a la caracterización de las plantas híbridas (ver columna de caracterización en CUADRO 5), bajo los valores establecidos en la metodología establecida por el IMPA.

II. FASE SURCO. Esta fase se establece de acuerdo al diseño experimental indicado en el CUADRO 5. La cantidad de cepas sembradas corresponde al 5-6% (1000-1200) del total de la población de la fase plántula. En esta fase se caracterizan los materiales en la misma forma que en la fase anterior. La selección se hace en el ciclo plantilla (10% de la población, o sea unos 100-120 clones), los cuales se siembran en la siguiente fase (fase parcela). Además se evalúa el ciclo soca, que sirve para seleccionar aquellos clones que soqueen bién, en cuyo caso se tomarán en cuenta para sembrarse también en las fases de multiplicación y de adaptabilidad-evaluación agroindustrial.

III. FASE PARCELA. En esta fase se siembran los clones seleccionados (100), en un diseño de látice simple (CUADRO 5). La caracterización de los materiales, además de los considerados en fase surco, se hace tomando en cuenta los siguientes caracteres: jugosidad, floración, tipo de yema, sacarosa, pureza de fibra; así como curvas de madurez. Los clones establecidos reciben ahora el nombre de variedades, cuya nomenclatura incluye las siglas Mex, seguida de los dos últimos dígitos del año en que se hizo la cruza, de la cual proviene el clón, así como el número consecutivo que tenía en la fase surco. La selección (20%) se hace en ciclo plantilla, con lo cual se siembran las siguientes fases de multiplicación, adaptabilidad y agroindustrial; evaluándose posteriormente, también, los ciclos soca y resoca 1, que servirán para tener la comparación del comportamiento de las variedades seleccionadas, en los tres ciclos. Además de que, las variedades que se cosechen en ciclo soca servirán PARA complementar la cantidad de planta que se requiera para, sembrar la prueba semicomercial.

IV. FASE MULTIPLICACION Y V. FASES ADAPTABILIDAD Y EVALUACION AGROINDUSTRIAL.

Estas tres fases se establecen simultáneamente, con materiales, seleccionados en el ciclo plantilla de la fase parcela y con los correspondientes del ciclo soca de la fase surco, y resoca de la fase plántula, para complementar la cantidad de semilla vegetativa que se requiere para efectuar toda la siembra. La fase multiplicación se siembra en el campo experimental y la de adaptabilidad-evaluación agroindustrial en 3-4 localidades productoras de caña. La caracterización de los materiales, en la fase multiplicación, incluye solamente sanidad; pero la fase adaptabilidad-evaluación agroindustrial incluyen: tipo de yema, ahuates, germinación, cierre de campo, hábito de crecimiento, uniformidad de desarrollo, resistencia al acame y rendimiento de campo, además de los caracteres considerados en las anteriores fases de selección. El diseño experimental se indica en el CUADRO 5.

V. PRUEBA SEMICOMERCIAL. Se establece con semilla de soca de las variedades seleccionadas (1-6), en la fase de adaptabilidad-evaluación agroindustrial, además de planta de soca, de la fase parcela, y resoca 1 de la fase surco correspondiente a esas mismas variedades, las cuales se siembran en los mismos 4 lugares de la región, donde se sembró la fase de adaptabilidad-evaluación agroindustrial, en lotes de tamaño variable (0.5 ha), de acuerdo a la cantidad de planta existente. La caracterización de dichos materiales se hace tomando en cuenta los caracteres considerados en la fase anterior.

Conclusiones

La nueva metodología para la selección de variedades de caña de azúcar, reduce los tiempos de 14-15 años, empleados actualmente por el método del IMPA, modificado por Marín (1989), a solamente 6.5 años, ya que la selección, se practica en ciclo soca (fase plántula); ciclo plantilla (fases surco y parcela); ciclo soca (fases adaptabilidad-evaluación agroindustrial, las cuales se evalúan en el mismo experimento), además en el mismo periodo se establece la fase multiplicación; y la fase semicomercial se establece en ciclo plantilla. Por otra parte, mientras avanzan las fases de selección, se practican evaluaciones en diferentes ciclos, para cada fase, como se muestra en el CUADRO 5 (anexo 1), lo cual permite conocer la respuesta de los materiales seleccionados en ciclos avanzados de soqueo, e incorporar otras variedades a las ya seleccionadas.

BIBLIOGRAFIA

- Dutt, N.L. y Rao J.T. (1950). The Present Taxonomic position of Saccharum and its Congeners. Proc. Congr. ISSCT, Brisbane. 7:288-293.
- Flores C.S. (2001). Las Variedades de Caña de Azúcar en México. Editado por Lic. Carlos Gómez Núñez. México.
- García, E. A. (1984). Manual de Campo en Caña de Azúcar. 3ra. Ed. Libro 24; Serie Divulgación Técnica, IMPA, México.
- Janick, J., Schery, W.R., Woods, W. F. Y Ruttan W. V. (1974). Plant Sceince, An Introduction to World Crops. 2da. Ed. W.H. Freeman and Company. San Francisco, USA.
- Loma J.L. DE la (1963). Genética General y Aplicada. 3ra. Ed. Editorial UTEHA, México.
- Martín, O. R.J. (1987). La Caña de Azúcar en Cuba. Editorial Científica Técnica. La Habana, Cuba.
- Parthasarathy N. (1948). Origin of Noble Canes (*S. Officinarum*L.). Nature London, 161:608.
- Schütt, P. (1972). Weltswirtschaftsplanzen. Verlag Paul Parey in Berlin und Hamburg.
- Trujillo F.R. (2001). Selección de Variedades de Cañade Azúcar, de Alto Rendimiento, en Campo y Fábrica, para el Estado de Tabasco. En: Tecnociencia Universitaria. Organo de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Popular de la Chontalpa. Volumen 1, No 1. H. H. Cárdenas Tab., pp 40-52.
- Valdez, B.A. y Bucio, A.L. (1998). Las Variedades Mex 83-510 y RD 75-11 una Promesa para el Sureste de México. En: VII Día del Cañero. Memoria, Resultados de Investigación en el Cultivo de la Caña de Azúcar. H. Cárdenas Tab., dic. 1998. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, pp 8-11
- Valdez, B.A., Bucio A.L., Molina G.J.D. y Mejía C.A. (1999). Evaluación Agroindustrial de 12 Clones de Caña de Azúcar, en la Chontalpa, Tabasco. No de Proyecto 168-8E-10T. Avances de Investigación 1996-1999. “XL Aniversario”, H. Cárdenas, Tab., dic. 1999. Colegio de Postgraduados, Campus Tab., pp 70-72.

ANEXO 1

CUADRO 5. Nueva Metodología en la Selección de Variedades de Caña de Azúicar *S. officinarum* L. (propuesta del autor).						
LUGAR DE SELECCION	FASE DE SELECCION	CICLO DE SELECCION	PERIODO DE EVALUACION (CICLOS)	CARACTERIZACION	TAMAÑO POBLACION	DISEÑO EXPERIMENTAL
Invernadero y Campo Experimental	I. Plántula (Invernadero y campo)	Soca (18 meses)	Plántula Soca Resoca 1 Resoca 2 Resoca 3	Enfermedades: mosaico, roya y carbón. Brix. Médula Oquedad Altura Grosor No de tallos	20,000	Siembra de semilla sexual (fuzz) en invernadero en una caja por cruza. Siembra en campo. En 4 fajas de 100 surcos (1.40 m entre ellos), y 40 m de largo. Las plantas se trasplantan a una distancia de 0.80 m entre ellas De tal manera que en cada surco caben 50 plántulas, que es el máximo que se planta por cruza. Se establece un testigo (variedad regional) cada 20 surcos.
Campo Experimental	II. Surco	Plantilla (12 meses)	Plantilla Soca Resoca 1 Resoca 2	La misma que en estado de plántula	5-6% (1000-1200)	Los clones (plantas individuales) seleccionados en fase plántula, se trasplantan en cordón cruzado, en surcos de 3 m de largo, espaciados 1.40 m. Se establecen unas 20 fajas de 60 surcos (plantas híbridas-clones), cada una, según la cantidad de clones seleccionados. Se intercala un testigo cada 20 clones.
Campo Experimental	III. Parcela	Plantilla (12 meses)	Plantilla Soca Resoca 1	La misma que en estado de plántula, pero además añadir: jugosidad, floración, tipo de yema, sacarosa, pureza y fibra, incluir además la curva de madurez.	10-12% (100-120)	Los materiales seleccionados (100-120 clones) en la fase surco, ciclo plantilla, se identifican como variedades, las cuales llevan la siguiente nomenclatura: las siglas Mex, el año en que se hizo la cruza, de la que provienen y el número consecutivo del surco. Dichas variedades se trasplantan en el terreno bajo un diseño de látice simple, en parcelas de 2 surcos, de 3 m de largo con 3 repeticiones, utilizando también material seleccionado en ciclo soca de la fase plántula, agregando 3 testigos de los sobresalientes en la región. La siembra se hace a cordón cruzado.

C O N T I N U A ……..

Campo Experimental y Campos de productores	IV. Multiplicación V. Adaptabilidad y Evaluación Agroindustrial (4 localidades)	Soca (24 meses)	plantilla) Soca Resoca 1	En la parte correspondiente a multiplicación se incluye solo sanidad, pero en adaptabilidad y evaluación agroindustrial se consideran: yema, ahuates, germinación, cierre de campo, hábito de crecimiento, uniformidad desarrollo, resistencia al acame, rendimiento de campo; además de los caracteres considerados en los procesos de selección.	20% (20)	Las variedades seleccionadas en la fase parcela pasan, por una parte, a la de multiplicación, en la cual se plantan de 3-4 surcos de 25 m de largo, y simultáneamente se establece la fase de Adaptabilidad, la que sirve a la vez para hacer la evaluación agroindustrial. Esta prueba se establece bajo un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones en parcelas de 3 surcos de 3 m, a 1.40 m entre ellos, y el trasplante en cordón cruzado.
Campo Experimental y Campos de Productores	V. Prueba Semicomercial	Plantilla (12 meses)	Plantilla	Todas las consideradas en las fases anteriores.	5-30% (1-6)	Se establecen lotes de media hectárea en cada una de las zonas correspondientes, a la región donde se hayan hecho las pruebas de adaptabilidad y de evaluación agroindustrial, a razón de 0.5 ha por variedad seleccionada (1-6 variedades), en la fase anterior.
T o t a l	**F a s e s (5)**	**T i e m p o de Selección (6.5 años)**	**Ciclos de Evaluación (16)**	**----------**	**---------- -------**	**----------**

ALCOHOL Y BEBIDAS

ÍNDICE
ALCOHOL Y BEBIDAS

108 Estudio de alternativas para la integración de los procesos de obtención de alcohol superfino y coproductos de este

123 Obtención de alcohol a partir de azúcar orgánica en condiciones ecológicas

113 Alcohol orgánico: Otra posibilidad para la industria de derivados

126 Posibilidades técnico-económicas de producir bioetanol de caña considerando el uso de residuos lignocelulósicos

130 Potencialiades de la agroindustria de la caña de azúcar en la produccion de líquidos hidrocarburantes a partir de residuos lignocelulósicos.

159 Caracterización de residuos industriales y agrícolas de la caña de azúcar para la obtención de biocombustible

023 Determinación conductimétrica de humedad en etanol

054 Estrategia para minimizar los costos de producción de alcohol, considerando los gastos en la transportación miel y tipos de miel a emplear

038 Obtención de CO_2 como subproducto de la industria alcoholera

067 Amplificación y secuenciación de ADNrib de levaduras alcoholeras aisladas en la destilería "A. Guiteras"

059 Evaluación de una alternativa para mejorar la calidad del aguardiente durante la fermentación alcohólica

175 Production of ethanol with free and immobilized cells *Zymomonas mobilis*

174 Evolución y características de la producción de bioetanol a nivel internacional

185 Un enfoque sobre el comportamiento de la estabilidad y la lubricidad de las mezclas diesel/etanol como combustible motor.

183 Obtención de un extracto rico en aromas a partir de aguardiente añejado mediante extracción contínua con CO_2 supercrítico

056 Estudio de incertidumbre en técnicas analíticas utilizadas para evaluar el control de la calidad de los rones

042 Cálculo de la incertidumbre en las determinaciones de grado alcohólico y acidez en el laboratorio de alcoholes y bebidas

017 Comportamiento de lactonas de roble en extractos de aguardientes con madera de roble

063 Extractos de uvas pasas, evaluación analítica para su utilización como aditivo en la producción de rones

068 Estudio comparativo de polifenoles en rones añejados de formación clásica con ron utilizando alejamiento acelerado

066 Fraccionamiento de aguardientes de caña con CO_2 supercrítico

117 Dimensionamiento y parámetros de operación de una columna de intercambio iónico para la desmineralización del ron previo a su envase

203 El alcohol como *commodity* internacional

204 Propuesta de un plan estratégico de producción y uso de alcohol carburante en Cuba

168 Análisis HAZOP en destilerías de alcohol

070 Empleo del método HAZOP al área de destilación de una destilería de alcohol

001 SIDEL:Sistema de diseño y simulación de destilerías

201 Simulación modular secuencial de destilerías de alcohol con fines energéticos

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA INTEGRACIÓN DE LOS PROCESOS DE OBTENCIÓN DE ALCOHOL SUPERFINO Y COPRODUCTOS DE ESTE

Autores: [1] Msc. Ing. Nancy López Bello [2] ,Dra. Irenia Gallardo Aguilar, Ing. Maite R.Vera.
[1,2,3] . Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. UCLV
Carretera Camajuani Km 5 ½
Pais:Cuba
Fax:
Email: (nancyl@qf.uclv.edu.cu)
Facilidades requeridas- Computadora

Resumen:

El trabajo que se presenta está dirigido a la integración de procesos para la obtención de alcohol superfino y coproductos de este, entre los que se encuentra el acetato de etilo, de un alto valor agregado. El poner en práctica esta producción, contribuirá al desarrollo de la industria alcohoquímica en Cuba, a la eliminación de importaciones y a la creación de nuevas fuentes de exportación.

Para el desarrollo de la tarea se emplea como tecnología fundamental la separación por destilación. Se analizan dos alternativas para la integración de los procesos, con los correspondientes diseños y análisis económicos, empleando para este último los indicadores dinámicos VAN y TIR en vistas a determinar la factibilidad de estas alternativas . Además se obtiene gráficamente el tiempo de recuperación de la inversión de ambas variantes, estando en los límites aceptables.

En el análisis de resultados se aprecia que en la variante 2 es donde se ofrecen los mejores resultados tanto técnicos como económicos.

STUDY OF ALTERNATIVES FOR THE INTEGRATION OF THE PROCESSES OF OBTAINING OF SUPERFINE ALCOHOL AND COPRODUCTS OF THIS

Summary:

The work that is presented is managed to the integration of processes for the obtaining of superfine alcohol and co-products of this, among those that is the ethyl acetate, of a high added value. Putting into practice this production, it will contribute to the development of the industry of having derived in Cuba, to the elimination of imports and the creation of new export sources.

For the development of the task it is used as fundamental technology the separation for distillation. Two alternatives are analyzed for the integration of the processes, with the corresponding designs and economic analysis, using for this last one the dynamic indicators VAN and TIR in views to determine the feasibility of these alternatives. It is also obtained graphically the time of recovery of the investment of both variants, being in the acceptable limits.

In the analysis of results it is appreciated that in the variant 2 are where they offer the best results so much technical as economic.

Key Words: mass transfer, distillation, alcohol, integration

Introducción.

La crisis del mercado internacional del azúcar, la crisis energética y los avances de la biotecnología, han llevado a que la principal industria de nuestro país, se encuentre actualmente en el umbral de una transformación total que lleva a volcar todos los esfuerzos hacia la diversificación azucarera; proceso este que la transformará en una industria multidimensional, productora de alimentos, combustibles y productos orgánicos trayendo como una de las direcciones principales la reducción de centrales azucareros en producción.

Dentro de este proceso de diversificación, la producción de alcohol ha continuado desarrollándose, ya que su uso en la producción de bebidas y licores para la exportación así como para la producción de medicamentos han contribuido a la recuperación económica y se ha establecido esta como una línea de primera prioridad, además se le está dedicando especial interés a la obtención de productos de alto valor agregado que acompañan al proceso de obtención de alcohol, con vistas al desarrollo de la industria alcoquímica.

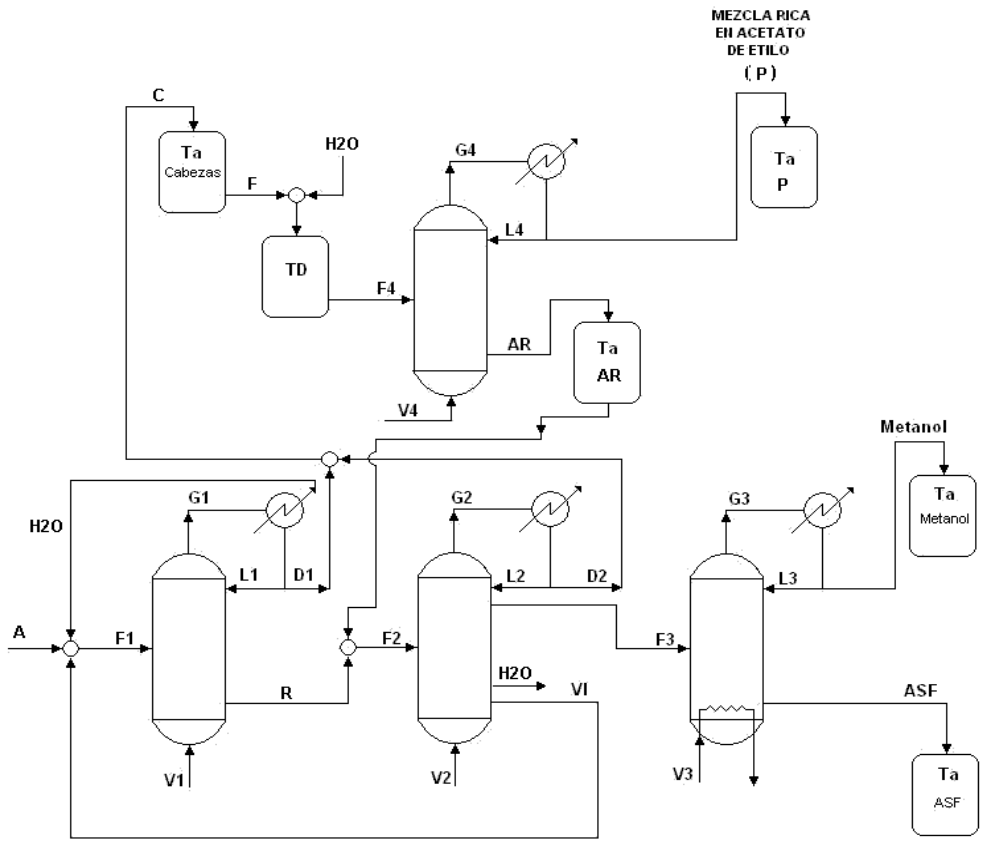
El alcohol etílico constituye el soporte de un concepto de aromas formado por compuestos alifáticos que a su vez se originan como congéneres del etanol durante su producción por fermentación de melazas, estos constituyen los parámetros de calidad así se normalizan las concentraciones de ésteres, aldehídos, ácidos y otras sustancias que, aunque presentes en pequeñas concentraciones del orden de 10^{-3}, determinan la calidad del producto dada la alta sensibilidad que presentan las papilas linguales y el olfato humano ante estas sustancias cuando alcanzan concentraciones críticas.

Uno de los productos que con más calidad se obtienen a partir del alcohol etílico es el alcohol superfino cuya producción se está incrementando en destilerías ya instaladas con vista además a la obtención de productos que sean derivados a su vez de esta producción.

Materiales y metodos

Se tendrán en cuenta dos alternativas para integrar el proceso de producción de alcohol superfino con el de obtención de acetato de etilo. La diferencia fundamental entre estas variantes está en la forma de llevar a cabo la producción del acetato de etilo y su producción para el mercado.

A continuación se muestra el diagrama de flujo del proceso que sirve para las dos alternativas.



Una primera variante se realiza en una destilería diseñada para producir 260 hl de alcohol superfino por día a partir de alcohol A, y logrando a su vez la separación de acetato de etilo de estas mezclas hidroalcoholicas a razón de 34.96 Kg/h, para su uso como diluente de esmaltes.

En el diseño de esta alternativa de producción de alcohol superfino, se toma como base la concentración y producción diaria de una destilería con las mismas características que la que nos ocupa.

El diseño de las columnas incluye el cálculo de las dimensiones, caída de presión y el cálculo de los condensadores. Los resultados de estos calculos se ofrecen en las tablas que a continuacion se presentan.

Tabla I Dimensiones de la variante 1

Parámetros	**Col. 1**	**Col. 2**	**Col. 3**	**Col. 4**
Npr	**35**	**46**	**50**	**3(Npt)**
D (m)	**1**	**0.8**	**0.5**	**0.3**
H (m)	**10.2**	**13.5**	**14.7**	**2**
H/D	**10.2**	**13.5**	**29.4**	**6.6**

Tabla II

Resultado de la columna de acetato de etiio			
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Velocidad de inundamiento (Win, m/s)	0.96	Número de platos teóricos	3
Velocidad (W, m/s)	0.77	HETP	0.66
Diámetro (D, m)	0.3	Altura (Z, m)	2
Tipo de relleno	Anillo rashing 15x15x2 mm	Caída de presión (ΔP, Pa)	584

La segunda variante se analiza para superar las deficiencias técnicas y de mercado de la variante anterior en el proceso integrado, se toma entonces la variante de aumentar el flujo de cabezas extraído. Esto se logra aumentando el flujo de alcohol A a procesar para la obtención del alcohol superfino. Por tanto se procede al diseño de una nueva planta donde se logre este objetivo.

Para ello se parte de fijar las cantidades de destilado que se quieren obtener, y sobre esa base, se busca que se mantengan las mismas relaciones de entrada y salida de la variante anterior.

Resultados del dimensionamiento de la variante 2

Tabla III

Parámetros	**Col. 1**	**Col. 2**	**Col. 3**	**Col. 4**
Npr	**35**	**46**	**50**	**3(Npt)**
D (m)	**1.8**	**1.2**	**0.9**	**0.3**
H (m)	**10.2**	**13.5**	**14.7**	**2**
H/D	**5.7**	**11.25**	**16.3**	**6.6**

Resultados y discusion

Los resultados obtenidos del cálculo para el dimensionamiento de las columnas están acordes con los reportados por la literatura y no presentan problemas desde el punto de vista hidráulico, que garantizará la producción de alcohol superfino para las especificaciones de purezas deseadas, siempre que se trabaje con parámetros de operación como los establecidos.

Para el caso de la destilería Heriberto Duquezne con la primera variante no obtendrían una cantidad para satisfacer mercado para el diluente, por lo que esto se solucionaría con un aumento de capacidades, analizándose esta posibilidad en la variante dos que satisface una mayor producción del esmalte.

- ⇒ Del análisis de la integración propuesto en este trabajo se derivó que la alternativa 1 no se puede realizar de manera continua.

⇒ Aumentando el flujo de alcohol A a tratar, se logra la continuidad del proceso de alcohol superfino y sus coproductos.

Ademas se realizaron los estudios economicos empleando los indicadores dinamicos y los resultados fueron los siguientes

- **Variante 1**

VAN = 2 564 448.32 USD, TIR = 38 %, PRD = 2.7 Años

- **Variante 2**

VAN = 6 556 841.49 USD, TIR = 36 %, PRD = 3.0 Años

Conclusiones:

⇒ La integración para la producción de alcohol superfino y sus coproductos desde el punto de vista técnico es posible.

⇒ La variante uno si bien es posible lograr la integración de las producciones, solo puede trabajar de esta forma 4.15 horas cada día.

⇒ En la variante dos se logra la continuidad del proceso integrado con un aumento de la capacidad de producción de alcohol superfino.

⇒ Del análisis económicos de ambas alternativas se aprecia que ambas son económicamente factibles. Los indicadores son los siguientes:

- Variante 1 VAN = 2 564 448.32 USD TIR = 38 % PRD = 2.7 Años
- Variante 2 VAN = 6 556 841.49 USD TIR = 36 % PRD = 3.0 Años

⇒ De ambas alternativas, tanto desde el punto de vista técnico como económico, se obtuvo que la variante 2 ofrece los mejores resultados debido a la continuidad del proceso, el cubrimiento de mercado y los indicadores económicos.

Referencias

1. Aguilar S.A. Destilación y Rectificación. Madrid. 1994
2. Aiba Shuchi. ”Biochemical Engineering “Academic Press New York.p77-86.1985.
3. Dunn, R; Bush, G. E. “Using process integration technology for cleaner production”. Journal of cleaner production. Vol. 8, pp 1-23, 2000

OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE AZÚCAR ORGÁNICA EN CONDICIONES ECOLÓGICAS.
ALCOHOL OBTAINING FROM ORGANIC SUGAR IN ECOLOGICAL CONDITIONS.

MSc.Lic. Pedro J. Iturria Quintero(*)
Ing. Nilda Rosa Martínez (**)
Dr.Ing.José A. Fabelo Falcón(***)

(*) Departamento de Licenciatura en Ciencias Químicas-Facultad de Química y Farmacia -UCLV- Santa Clara – Cuba. (piq@qf.uclv.edu.cu)
(**) Dirección de Salud Pública Provincial-Villa Clara
(***) Centro de Análisis de Procesos-Facultad Química y Farmacia-UCLV-Santa Clara - Cuba.(fabelo@qf.uclv.edu.cu)

RESUMEN:
Se realizó el estudio del proceso de fermentación alcohólica a nivel de laboratorio utilizando un sustrato no tradicional (azúcar orgánica) procedente del C.A.I "Carlos Baliño" bajo condiciones totalmente ecológicas. Se empleó la cepa de levadura Saccharomyces cerevisiae.
Se utilizaron dos diseños experimentales: tipo 2^3 para la etapa prefermentativa y 2^2 para la fermentativa, determinándose las condiciones de operación más favorables en cada caso teniendo en cuenta los valores de las variables respuestas consideradas.
A pesar de que los tiempos de fermentación son elevados por las características propias del sustrato, los grados alcohólicos obtenidos en algunas experiencias se pueden considerar como satisfactorios.
Se comprobó el alto poder contaminante del residual de la destilación (vinaza), y por tanto, la necesidad de aplicar un tratamiento adecuado al mismo.

Palabras clave: fermentación alcohólica, azúcar orgánica, producción de etanol, residuales.

SUMMARY:
An alcoholic fermentation process was studied under ecological conditions at laboratory level using a non traditional raw material (organic sugar) coming from CAI "Carlos Baliño". The Saccharomyces cerevisiae stump of baking powder was also used.
Two experimental designs were mode: 2^3 for the pre fermentative stage and 2^2 for fermentative stage. For both stages the best working conditions were determined taking into account the values of the variables to be considered.
In spite of the fact that the fermentation periods are increased by the proper characteristics of the raw material, the alcoholic rates reached can be considered as satisfactory.
It was verified the high polluting power of the residual of the distillation, and therefore, the necessity to apply a suitable treatment.

Key words: alcoholic fermentation, organic sugar, ethanol production, effluents.

INTRODUCCION

La sociedad moderna tiene gran necesidad de promover la producción de alimentos orgánicos, que son productos obtenidos a base de una agricultura orgánica en que toda la agrotecnia es natural y por lo tanto no utiliza fertilizantes químicos, herbicidas, ni otros tipos de productos químicos sino, control de plagas por vías biológicas y laboreo con preservación del medio.
Este tipo de producción garantiza una alimentación sana de los seres humanos, lográndose, además, frenar la degradación ambiental, contribuyendo a la regeneración de zonas contaminantes, haciendo desaparecer los problemas causados por las pesticidas y herbicidas, y por lo tanto, salvaguardando el ambiente con un criterio de perennidad.
El procesamiento industrial de estos alimentos se tiene que realizar, además, sin contaminación con productos químicos perjudiciales a la salud del hombre y afectaciones a la naturaleza.
En el aspecto social se procura que dentro de toda actividad vinculada a producciones de carácter orgánico, las personas que en ella se desempeñan encuentren un medio digno donde la posibilidad de crecimiento espiritual y material sea realidad**.**
Por otro lado los productos orgánicos alcanzan un elevado precio en el mercado internacional donde Europa es el más importante. Este mercado es dominado ampliamente por Alemania (50% del total) donde casi la mitad del mercado de productos para niños proviene de la agricultura biológica. Los sectores más interesantes son principalmente el de hortalizas, frutas y cereales. Estos productos son objeto de un riguroso control para garantizar su calidad por determinados organismos internacionales.
Los altos precios de los productos orgánicos y en especial el azúcar responden tanto al hecho de no poseer elementos químicos nocivos a la salud del hombre, como a contener mayores cantidades de vitaminas y minerales.
Cuba ha dado los primeros pasos en la producción de este rubro en el C.A.I. "Carlos Baliño" en el que se han realizado cosechas ecológicas, según se reporta por la AIN (2002) , obedeciendo a la estrategia del Ministerio de la Industria Azucarera de diversificar la producción del dulce, en vista de sus deprimidos precios internacionales .
El azúcar orgánica o ecológica es muy pura, de un grano fino, casi de color blanco, y al final del proceso fabril se obtiene una miel orgánica, que fermentada bajo control, permite obtener alcohol ecológico. Esta es la materia prima que se utiliza en el estudio preliminar de obtención de alcohol bajo condiciones ecológicas, experimentos que por primera vez se realizan, de acuerdo a los reportes a que se ha tenido acceso hasta el momento. Esta idea surgió como una alternativa para su posible aprovechamiento.
Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, el siguiente trabajo se propone como **objetivos:**

1. Caracterizar la materia prima utilizada en el proceso de fermentación alcohólica (azúcar orgánica).
2. Estudiar las etapas de prefermentación y fermentación alcohólica a nivel de laboratorio a través del seguimiento de diferentes parámetros.
3. Determinar las mejores condiciones de trabajo en las etapas prefermentativa y fermentativa.
4. Evaluar la agresividad del residual resultante a través de su caracterización .

MATERIALES Y MÉTODOS.

- **Caracterización de la materia prima empleada:**

Las características del componente principal de la batición (azúcar orgánica) y el seguimiento del proceso se determinaron a través de las técnicas de análisis químico según la metódica de ejecución general aplicados a la práctica de las investigaciones azucareras .

- **Prefermentación:**

El inóculo para la fermentación anaeróbica fue preparado de forma previa en un prefermentador de vidrio en el laboratorio representando el 13 % del volumen del fermentador. Se utilizaron condiciones de aireación durante esta etapa con el objetivo de lograr el crecimiento de la población de células necesario.

Se controló la temperatura para que no excediera los 34°C. Se utilizó levadura seca activa de destilería del género Saccharomyces cerevisiae de importación. No se añadieron los nutrientes empleados de forma tradicional (urea, fosfato y sulfato de amonio) en el prefermentador. Se ajustó el pH hasta aproximadamente un valor de 5 unidades con jugo de limón filtrado usado en trabajos anteriores por Correa (2003). La concentración inicial de sustrato (^{o}Brix) en el prefermentador fue ajustada y se siguió el proceso hasta que éste último se redujo al 50% más uno de su valor y se alcanzara un conteo celular de más de 150 millones de células por mililitro. Durante el transcurso de la prefermentación se siguieron una serie de parámetros característicos del mismo como el conteo celular, los ^{o} Brix , el pH y la temperatura.
El estudio en esta etapa se llevó a cabo a través de un diseño factorial completo del tipo $\mathbf{2^3}$, realizándose 8 corridas o experimentos con varias réplicas cada uno.
Las variables independientes analizadas fueron:
$\mathbf{X_1}$= Concentración de levadura en (Nivel bajo: 2.0 g/L , nivel alto: 2.5 g / L).
$\mathbf{X_2}$= Temperatura (Nivel bajo: 30 ºC , nivel alto: 33 ^{o} C).
$\mathbf{X_3}$= Concentración de sustrato (Nivel bajo: 10 ºBrix , nivel alto: 13 ºBrix).
Como variables respuestas fueron consideradas las siguientes:
$\mathbf{Y_1}$= Velocidad específica de crecimiento (h^{-1}).
$\mathbf{Y_2}$= Tiempo para lograr un conteo celular igual o superior a los 150 millones de células por mililitro (h).

- **<u>Fermentación:</u>**

Para la ejecución de los experimentos se cargó el reactor (recipiente de vidrio de 2 L de volumen) con el sustrato a emplear (batición) en la misma proporción que el prefermento, auxiliándose de un agitador mecánico para su disolución y se ajustó el pH con jugo de limón filtrado . Se dejó en reposo el sistema durante 45 minutos y al observar el comienzo de la fermentación se procedió a llenar el fermentador con la batición hasta el volumen establecido (2 L). A partir de ese momento se comenzó a controlar el proceso, utilizando como parámetro indicador del consumo de sustrato el valor del ^{o}Brix , que al descender al 50 % más uno y mantenerse constante , indica la terminación de la fermentación.
Se realizaron de forma periódica otras determinaciones como el pH, temperatura, grado alcohólico en la batición final, así como ART inicial y final.
Para cada experiencia fue ajustado el ^{o}Brix de acuerdo con el diseño experimental utilizado tipo 2^2 , en el cual realizaron 4 experimentos con varias réplicas .
Las variables independientes utilizadas fueron:
X_1= Concentración de sustrato (Nivel bajo: 15 ºBrix , nivel alto: 18 ºBrix).
X_2= pH (Nivel bajo: 4.4 , nivel alto: 5.8)..
Las variables respuestas consideradas fueron las siguientes:
Y_1= Concentración final de alcohol o grado alcohólico en batición (% v/v).
Y_2= Rendimiento alcohol- sustrato(%).
Y_3= Eficiencia(%).
Y_4 =Productividad(kg / m^3. h)
Después de haber finalizado el proceso fermentativo, se esperó 3 horas y se procedió a la determinación de la riqueza alcohólica en la batición fermentada, sometiéndose el resto de la misma (aproximadamente 2 litros) al proceso de destilación a nivel de laboratorio, utilizando una columna de fraccionamiento, recogiendo en el destilado el alcohol y quedando como residual la vinaza de destilería.

- **<u>Caracterización del residual :</u>**

El residual obtenido producto de la destilación de las diferentes baticiones se sometió al proceso de caracterización teniendo en cuenta algunos de los parámetros indicadores de la contaminación (Demanda Química de Oxígeno(DQO), conductividad específica, sólidos sedimentables y pH) con el objetivo de valorar su agresividad al medio ambiente**.**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

- **Caracterización de la materia prima.**

En la tabla I aparece el resultado de la caracterización de la materia prima utilizada (azúcar orgánica), procedente del CAI "Carlos Baliño", que resultó ser la misma para todos los ensayos realizados.

TABLA I: Caracterización de la materia prima utilizada (azúcar orgánica)

Propiedades	Valores promedios
Pol (%)	99.854
Pureza(%)	99.681
Azúcares reductores totales (%)	0.132
Humedad (%)	0.098
Cenizas (%)	0.118
Sólidos insolubles(ppm)	0.012
Tamaño del grano sobre malla 20	69.799
Color (Horne)	5.777
pH(unidades)	6.6
Hierro (ppm)	0.263

Los resultados anteriores se encuentran en el rango de valores tradicionalmente reportados para este tipo de azúcar.

- **Etapa prefermentativa.**

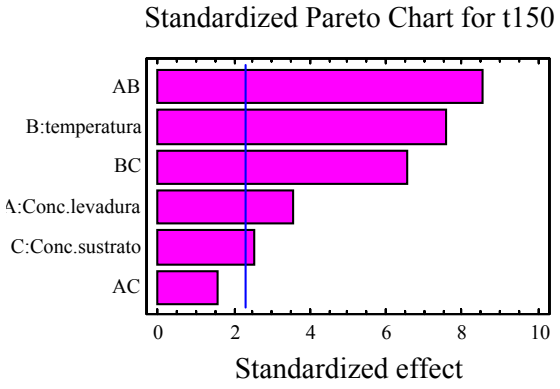
Esta etapa del proceso tiene una importancia especial ya que se realiza con el objetivo de seleccionar el experimento de mejores resultados para posteriormente ser utilizado en la etapa fermentativa.
En la Tabla II se muestra el seguimiento en el tiempo del proceso prefermentativo para el experimento # 5 del diseño experimental 2^3.

TABLA II: Resultados experimentales de la prefermentación para el experimento # 5.
Condiciones iniciales : Conc. levadura = 2.0 g/L **Leyenda:** μ = Veloc. específica de crecimiento(h^{-1}).
Temperatura= 33 ºC t_{150}= Tiempo en que alcanza
ºBrix= 13,1 150 millones o más de células(h).

Tiempo (h)	ºBrix	pH (unidades)	Temp. (ºC)	μ (h^{-1})	t_{150}(h)
0	13.1	5.10	33.0	0.0946	8
2	13.0	4.37	33.0		
4	12.4	3.98	33.1		
6	12.0	3.81	33.5		
8	11.5	3.68	33.1		
9	11.0	3.63	33.1		
11	9.8	3.60	33.0		
13	9.6	3.57	33.1		
15	9.4	3.55	33.0		
17	9.2	3.52	33.0		
19	9.0	3.50	33.0		
21	8.7	3.40	33.3		
23	8.5	3.32	33.0		
24	8.4	3.30	33.0		

Como se puede observar se alcanza una población celular mayor a los 150 millones a las 8 horas de haberse iniciado el proceso, para el caso del experimento # 5. Para el resto de las experiencias, los resultados fueron similares, alcanzándose tiempos entre 8 y 13 horas . Si se tiene en cuenta que dichos experimentos se llevaron a cabo con azúcar orgánica y no con el tradicional sustrato (miel final) , y la no utilización de nutrientes en el proceso de preparación, se pueden catalogar como valores satisfactorios.
Teniendo en cuenta el menor tiempo en que se alcanzan los 150 millones de células, el alto valor de la velocidad específica de crecimiento (0.0946 h^{-1}) , el nivel inferior de concentración inicial de levadura (muy favorable desde el punto de vista económico teniendo en cuenta sus elevados precios en el mercado mundial), el experimento con mejores resultados resultó ser el # 5, y por lo tanto el seleccionado para utilizarse como inóculo en la preparación de la etapa fermentativa .
La temperatura fue controlada desde un inicio en los valores correspondientes a cada experimento, de tal manera que no excediera de los 34 ºC, y así evitar la muerte de la población de levaduras.
La concentración de sustrato (ºBrix) tiene un descenso paulatino, o sea, se redujo a alrededor del 50% + 1 del valor inicial en alrededor de 25 horas, producto del consumo de sustrato que tuvo lugar por parte de los microorganismos presentes en el sistema. El comportamiento para el resto de las experiencias es muy similar al anterior.
En la totalidad de los experimentos realizados el valor del pH, que fue ajustado desde un inicio al mismo valor (≈5.0) con jugo de limón filtrado, fue disminuyendo de forma paulatina hasta tomar valores prácticamente constantes al final de la prefermentación. Este comportamiento puede ser debido a la formación de ácidos orgánicos durante la ocurrencia de las reacciones características de los procesos fermentativos. En el resto de las experiencias el comportamiento es muy similar.
Se realizó un experimento sin ajustar el pH inicialmente , en el cual los valores tanto de la velocidad específica de crecimiento (0.0392 h^{-1}) como del tiempo en que se alcanza una población celular igual o mayor a los 150 millones (24 h) son comparativamente muy inferiores a los alcanzados para las demás experiencias en las cuales se ajustó el pH, demostrándose una vez más la importancia de este factor experimental en la obtención de buenos resultados ya que facilita un medio propicio para el desarrollo de las cepas de levadura, no permitiendo contaminación bacteriana y que puede provocar daños irreversibles al proceso fermentativo .
Los resultados experimentales del diseño factorial 2^3 , fueron procesados a través del software profesional Statgraphics Plus Versión 4.1, el cual muestra la dependencia o no de las variables respuesta y de las variables independientes, así como el modelo de adecuación que se ajusta al comportamiento de ellas.

Gráfico # 1: Efecto de las variables independientes y sus interacciones sobre t_{150} .



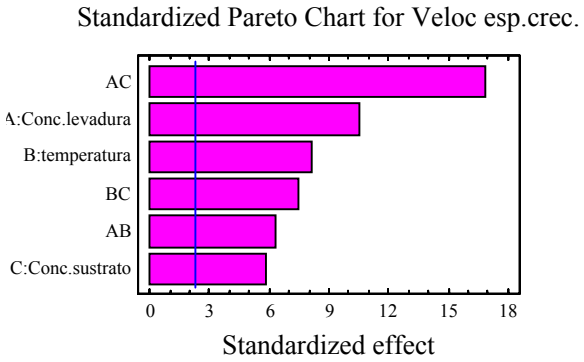
Para la variable respuesta **tiempo en que se alcanzan 150 millones o más de células(t_{150})**, con el modelo sin interacciones se observa un mal ajuste a un modelo lineal, en el cual el factor TEMPERATURA es el único significativo, no obstante cuando se ajusta a un modelo con interacciones (Gráfico # 1) se aprecia que todas las variables, excepto la combinación CONCENTRACION DE LEVADURA–CONCENTRACION DE SUSTRATO (A-C), son significativas. Dicho modelo tiene un buen coeficiente de correlación, la interacción TEMPERATURA-CONCENTRACION DE

LEVADURA (A-B) tiene gran influencia sobre el mismo y la TEMPERATURA es el factor determinante.
El modelo del sistema para $\mathbf{t_{150}}$ resultó ser el siguiente:

t_{150}=119.521–96.75*Conc.levadura–2.84722∗Temperatura+10.0417*Conc.sustrato+ 2.83333∗Conc.levadura∗Temperatura+0.5∗Conc.levadura*Conc.sustrato – 0.361111*Temperatura*Conc.sustrato

En cuanto a la variable respuesta **velocidad específica de crecimiento (μ)** con el modelo sin interacciones se observa un mal ajuste a un modelo lineal siendo la variable concentración de levadura la única significativa , sin embargo al ajustarlo a un modelo con interacciones con las demás variables se aprecia que todas son significativas , lo cual se puede observar en el gráfico # 2 .

Gráfico # 2: Efecto de las variables independientes y sus interacciones sobre la velocidad específica de crecimiento.



El modelo del sistema para la velocidad específica de crecimiento(**μ**) resultó ser el siguiente:

Veloc esp.crec. = - 0.335142 + 0.3333*Conc.levadura + 0.00157222*Temperatura - 0.00198333*Conc.sustrato - 0.00513333*Conc.levadura*Temperatura - 0.0138*Conc.levadura*Conc.sustrato + 0.00101111*Temperatura*Conc.sustrato

- **Etapa fermentativa.**

Para la preparación de la batición inicial de cada uno de los experimentos de esta etapa fueron seleccionadas las condiciones iniciales correspondientes al experimento # 5 de la etapa prefermentativa, que como se señaló anteriormente tuvo los mejores indicadores en cuanto al tiempo para alcanzar los 150 millones o más de células y la velocidad específica de crecimiento.
La experiencia con mejores resultados en la etapa fermentativa en cuanto a todas las variables respuesta analizadas fue la # 1. En la Tabla III se muestra el seguimiento en el tiempo de dicho proceso para este experimento. Aunque el experimento # 3 tuvo similar comportamiento en cuanto al grado alcohólico en batición , fue superado en los demás parámetros contemplados (rendimiento alcohol-sustrato, productividad y eficiencia) correspondientes al primero. Coincide que estos dos experimentos fueron realizados con condiciones similares en cuanto a la concentración del sustrato (18 ºBrix) , lo que se considera que puede haber influido en el comportamiento referido anteriormente .
La eficiencia y el rendimiento alcohol-sustrato dependen de cierta manera del grado alcohólico alcanzado, lo cual trae como consecuencia que cuando una batición alcanza un valor elevado del grado alcohólico el consumo de sustrato también lo es, y viceversa. Estos valores son aceptables para los experimentos 1 y 3 y para los experimentos 2 y 4 son bajos por lo anteriormente explicado.
La productividad se considera baja, lo cual era esperado dado los elevados valores de los tiempos de fermentación con respecto a un proceso de fermentación alcohólica tradicional utilizando mieles finales .

TABLA III: Resultados experimentales del estudio de la FERMENTACION para el experimento # 1.

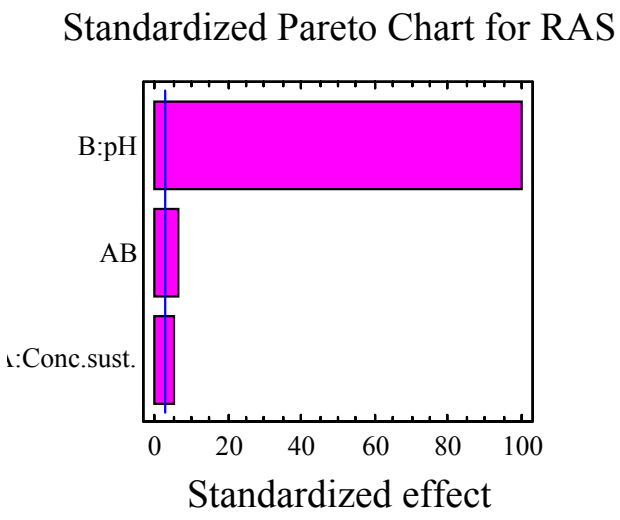
Condiciones iniciales : Temperatura(ºC)=30
ºBrix= 18
pH =5,8

Tiempo (h)	Conc. Sustrato (ºBx)	pH (unidades)	Temp (ºC)	Grado Alcohólico en batición (% v/v)	Rendimiento Alcohol-Sustrato(%)	Produc-tividad ($kg/m^{3}.h$)	Eficiencia (%)
0	18.0	5,80	30.0				
4	18.0	5,59	29.8				
8	18.0	5,28	29.9				
24	18.0	5,76	30.1				
28	18.0	5,64	29.8				
32	18.0	5,27	29.9				
48	17.5	2.95	30.0				
52	17.2	2,89	30.1				
56	16.8	2,81	29.6				
72	16.5	2,66	30.2	6.5	41.96	0.21	65.15
76	16.4	2,67	29.5				
80	15.7	2,63	29.8				
96	15.4	2,58	29.7				
100	15.2	2,55	30.0				
104	14.9	2,53	29.5				
120	14.5	2,51	30.3				
124	14.3	2,50	30.0				
128	13.9	2,48	30.4				
144	13.7	2.46	30.1				
148	13.5	2.45	29.8				
152	13.4	2.42	30.1				
168	13.1	2.38	29.7				
172	13.0	2.35	30.3				
176	12.6	2.32	30.2				
192	12.5	2.30	29.7				
196	12.4	2.28	30.1				
200	12.2	2.27	30.3				
216	11.7	2.25	29.8				
220	11.4	2.21	29.6				
224	11.2	2.19	30.3				
240	10.7	2.17	30.2				
244	10.5	2.15	29.8				
248	10.0	2.12	30.2				

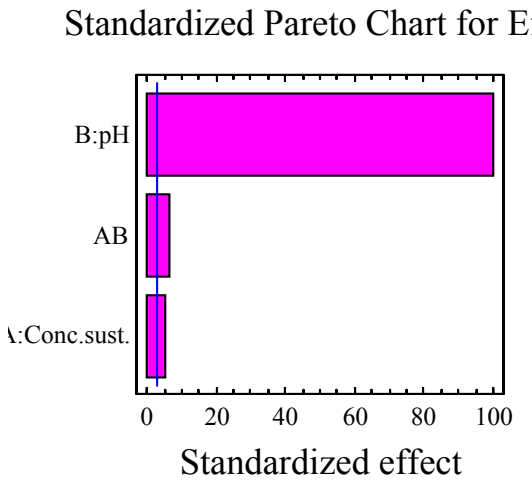
Se aprecia la disminución paulatina de la concentración de sustrato (ºBrix) , lo cual se corresponde con el comportamiento tradicional. Los resultados obtenidos para el descenso hasta 50 % + 1 del Brix inicial, indicador de la terminación de la fermentación, ocurrió en un rango entre 224-288 horas, para todos los experimentos del diseño ,valores muy superiores a los tradicionalmente conocidos para las mieles finales , no encontrándose referencias de estudios realizados con azúcar orgánica, aunque es de esperar este comportamiento dada las características particulares del sustrato utilizado , o sea , como los azúcares reductores son los capaces de fermentar , esta sacarosa debe invertirse primeramente .
Se observa la disminución estable del valor del pH con respecto al tiempo hasta el final de la fermentación, lo cual es extensivo para todos los experimentos del diseño. Este comportamiento puede

ser explicado por la formación de ácidos de naturaleza orgánica, de forma similar a como se apuntó para el caso de la prefermentación.
Los resultados experimentales fueron procesados con auxilio del software profesional Statgraphics Plus Versión 4.1 al igual que se hizo en el proceso prefermentativo.
La variable dependiente rendimiento alcohol-sustrato con el modelo sin interacciones tiene un buen ajuste, siendo estadísticamente significativa, por lo tanto no se hace necesario el análisis del modelo con interacciones .La productividad y la eficiencia tuvieron similares resultados . En las tres variables respuesta el pH resultó ser el más significativo.
A continuación se ilustran los resultados del procesamiento estadístico de estas variables en los gráficos y modelos obtenidos
.

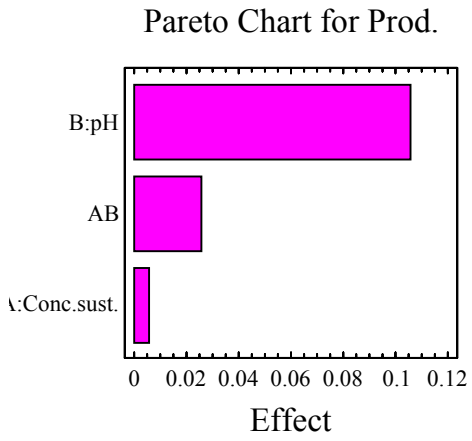
<u>Gráfico</u> # 3: Efecto de las variables independientes y sus interacciones sobre el rendimiento alcohol-sustrato.



<u>Gráfico</u> # 4 : Efecto de las variables independientes y sus interacciones sobre la eficiencia.



<u>Gráfico</u> # 5 : Efecto de las variables independientes y sus interacciones sobre la productividad.



Los modelos lineales obtenidos resultaron ser:

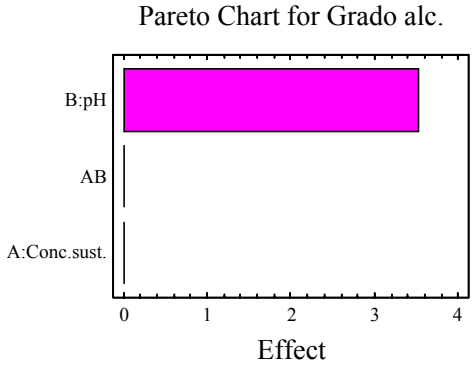
Efic. = -90.7309 + 24.8732*pH + 0.550833*Conc.sustrato.
(R^2 = 99.439 %)

RAS = -58.4286 + 16.0179*pH + 0.355*Conc.sustrato.
(R^2 = 99.4394 %)

Prod. = -0.2075 + 0.075*pH - 0.00166667*Conc.sustrato.
(R^2 = 92.5054 %)

En el caso del grado alcohólico en el modelo sin interacciones el pH es el único significativo, por lo cual se hace necesario la utilización del modelo con interacciones, donde se obtienen los mismos resultados . Lo anterior se puede observar en los resultados del análisis estadístico de forma gráfica y la ecuación del modelo.
Grado alcohólico. = - 8.0 + 0.0*Conc.sustrato + 2.5*pH

<u>Gráfico</u># 6 : Efecto de las variables independientes y sus interacciones sobre el grado alcohólico.



- **<u>Caracterización del residual del proceso de destilación</u>(vinaza)**.

La destilación de las baticiones correspondientes a cada experimento del diseño se llevó a cabo en una columna de destilación fraccionada y el residual obtenido (vinaza) se sometió a un proceso de caracterización , resultados que se muestran en la tabla IV.

TABLA IV : Caracterización del residual del proceso de destilación (vinaza)

# exp.	Conc. de sustrato (^{o}Brix)	D.Q.O.(mg/L)	pH(unidades)	Conductividad específica (mS/cm)	Sólidos sedimentables (mL/L)
1	9.4	103 858.9	3,392	0.53	1.7
2	8.5	93 477.6	2,592	0.55	0.8
3	9.8	142 810.6	3,381	0.58	1.6
4	8.2	98 315.3	3,283	0.56	0.8

- **Demanda química de oxígeno (DQO).**

La DQO proporciona una medida equivalente en oxígeno de aquella parte de la materia orgánica contenida en una muestra.
Al realizar la comparación para cada punto se observa que los valores más bajos corresponden a los experimentos # 2 y 4, coincidiendo éstos con los puntos de menor concentración inicial de sustrato (15ºBrix), aunque a pesar de ello son muy elevados. Esto demuestra el alto contenido de materia orgánica degradable y no degradable que contiene este tipo de sistema. Todos los valores se encuentran por encima del límite máximo permisible por la norma de vertimiento de residuales a los cuerpos receptores de acuerdo a NC-XX (1999) lo cual debe tomarse en cuenta para su futuro tratamiento y utilización.

- **pH**

Sus valores en todos los puntos se encuentran entre 2.5 y 3.4 unidades, muy inferiores al permitido por la norma cubana de vertimiento de aguas residuales a los cuerpos receptores (valores permitidos entre 6 y 9 unidades), lo cual evidencia la agresividad de este efluente por su elevada acidez y por tanto la necesidad de la evaluación de su tratamiento y su posible reutilización.

- **Conductividad específica y sólidos sedimentables**.

Estos dos parámetros medidos se encuentran por debajo de la norma cubana de vertimiento de aguas a los cuerpos receptores. En el caso de la conductividad específica se debe a la no presencia de sustancias electrolíticas en el medio, precisamente por la imposibilidad de utilizar nutrientes de naturaleza inorgánica en el proceso de preparación del prefermento, diferencia que se puede observar en trabajos realizados anteriormente por Iturria(2001),relacionados con la caracterización de vinazas tradicionales .
El comportamiento observado en los sólidos sedimentables se debe fundamentalmente a las características propias del sustrato (azúcar orgánica), la cual en su proceso fermentativo no deja una cantidad considerable de residuos insolubles y que puedan sedimentar. Este conocimiento es importante debido a la posible utilización de una etapa de sedimentación en el tratamiento de este residual.

CONCLUSIONES:

1. Los valores de los parámetros tenidos en cuenta en la caracterización de la materia prima utilizada (azúcar orgánica) están acorde con los reportados tradicionalmente para la misma.
2. Los tiempos en que se alcanzan los 150 millones de células y la velocidad específica de crecimiento de cada uno de los experimentos para la etapa prefermentativa se pueden considerar

satisfactorios, a pesar de la no utilización de nutrientes y de las características particulares de este sustrato .

3. En la etapa fermentativa los valores de la eficiencia, el rendimiento alcohol–sustrato y el grado alcohólico fueron aceptables para dos de las experiencias (#1 y 3). La productividad se considera baja para cada uno de los experimentos motivado por los elevados valores de los tiempos de fermentación..
4. Los mejores resultados en la etapa prefermentativa correspondieron al experimento # 5, cuyas condiciones iniciales fueron: concentración de levadura:2.0 g/L, temperatura :33ºC y concentración de sustrato: 13 ºBrix., Desde el punto de vista económico es ventajoso ya que utiliza el nivel bajo de concentración de levadura.
5. Los mejores resultados en la etapa fermentativa en cuanto a los parámetros considerados (grado alcohólico en batición, rendimiento alcohol-sustrato, eficiencia y productividad) correspondieron al experimento # 1, cuyas condiciones iniciales fueron: concentración de sustrato :18ºBrix y pH:5.8 unidades.
6. En la etapa prefermentativa, para el tiempo en que se alcanza 150 millones o más de células al utilizar el modelo con interacciones, todas las variables son significativas, excepto la combinación concentración de levadura - concentración de sustrato, siendo la temperatura el factor determinante en el modelo. Para la velocidad específica de crecimiento todas las variables (en el modelo con interacciones) son significativas..
7. En la etapa fermentativa para la productividad, la eficiencia y el rendimiento alcohol- sustrato al utilizar el modelo sin interacciones se observa un buen ajuste, donde todas las variables son significativas, especialmente el pH , siendo este último el único significativo para el grado alcohólico tanto en el modelo sin interacciones como con interacciones.
8. Los parámetros indicadores de la contaminación (evaluados en el residual) pH y DQO se encuentran muy por encima del límite máximo permisible en la norma de vertimiento de aguas residuales a los cuerpos receptores, no siendo así en el caso de la conductividad especifica y los sólidos sedimentables.

REFERENCIAS:

- AIN, Diario Granma Edición Digital ,25 de marzo 2002; ***http://www.granma.cubaweb.cu***
- Correa ,Y.(2003), Alcohol ecológico, otra posibilidad más sana para la industria de derivados.,Memorias Evento Medio Ambiente Siglo XXI , Facultad Ingeniería Mecánica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas ,Noviembre 2003,
- Iturria, P.;"Estudio medio-ambiental de la etapa de fermentación alcohólica utilizando diferentes sustratos y sus combinaciones "Tesis de Maestría .Cuba .2001.
- Norma Cubana XX "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres alcantarillado. Oficina Nacional de Normalización . 1999**.**

ALCOHOL ORGÁNICO: OTRA POSIBILIDAD PARA LA INDUSTRIA DE DERIVADOS.
ORGANIC ALCOHOL: ANOTHER POSSIBILITY FOR THE INDUSTRY OF DERIVATIVES.

Autores: Msc. Ing. Yania Correa Cortés[1], Dr. Iván Rodríguez Rico[2], Dra. Irenia Gallardo Aguilar[3]

[1]Cuba. Centro de análisis de Procesos. Facultad de Química y Farmacia. UCLV. Tel: 281164. yania@qf.uclv.edu.cu
[2] , [3]Cuba. Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. UCLV. Tel: 281164. ivanl@qf.uclv.edu.cu

Resumen: El propósito de este trabajo consistió en investigar y desarrollar una nueva tecnología de obtención de alcohol. Nos referimos a la obtención de alcohol orgánico o ecológico, para lo cual fue necesario prescindir de agregar sustancias químicas obtenidas por síntesis, tales como ácido sulfúrico, urea, antiespumante y fosfato entre otros nutrientes, en las distintas etapas del proceso de obtención del alcohol.
En este trabajo se realiza un estudio a escala de laboratorio del comportamiento de las diferentes fases para la producción de alcohol ecológico a partir de melazas orgánicas de la planta Piloto José Martí, la levadura empleada fue la Sacharomyces cerevisiae de uso industrial (levadura seca activa), garantizando concentraciones de mas de 150 millones de células /mL
Para la realización del mismo fue necesaria la ejecución de dos diseños de experimentos uno del tipo 2^3 para la etapa de prefermentación y otro del tipo 2^2 para la etapa fermentativa, realizándose el tratamiento estadístico a través del programa computacional STATGRAPHIS. Las variables independientes analizadas para el primer diseño fueron concentración de levadura, temperatura del medio y concentración del sustrato, así como en el segundo la concentración de sustrato y la regulación o no del pH del medio.
Una vez valoradas las condiciones óptimas para las etapas mencionadas anteriormente se hizo una fermentación a mayor escala con el propósito de hacer una destilación que permitiera la obtención del producto deseado, llegándose a obtener por primera vez en Cuba (a nivel de laboratorio) un alcohol orgánico, realizándole su caracterización mediante cromatografía gaseosa.
Este producto puede resultar muy atractivo por ser mas sano asi como por su esencia y aroma, fundamentalmente para la joven industria de los cosméticos orgánicos y la fabricación de bebidas, alcanzando elevados precios en el mercado internacional.

Palabras claves: alcohol orgánico o ecológico, fermentación, mieles orgánicas.

Abstract: The intention of this work consisted on investigate and develop a new technology of alcohol obtaining. We referred about the organic or ecological alcohol obtaining, for which it was necessary not adding chemicals substance obtained by synthesis such as sulfuric acid, urea, antiespumante and ammonium phosphate other nutrients, in the different stages from the obtaining process of the alcohol. In this work a study on laboratory scale of the behavior of the different phases for the ecological alcohol production is make from organic molasses of the Pilot Jose Martí plant, the use yeast was the Sacharomyces cerevisiae of industrial use (active dry yeast), guaranteeing concentration of but of 150 million cells /mL. For the accomplishment of the same one was necessary the execution of two designs of experiments, one type $2^{\wedge}3$ for the stage of pre-fermentation and another one type $2^{\wedge}2$ for the fermentative stage, being made the statistical treatment through computational program STATGRAPHIS. The analyzed independent variables for the first design were concentration of yeast, temperature of means and concentration of the substrate, as well as in the second the concentration of substrate and the regulation or not of pH of means.

Once valued the optimal conditions previously mentioned for the stages a fermentation on greater scale was made in order to make a distillation that allowed the obtaining of the wished product, getting itself to obtain for the first time in Cuba (at laboratory level) an organic alcohol, making its characterization by means of gaseous chromatography. This product can be very attractive by its essence and aroma, fundamentally for the young industry of organic cosmetics and the drink manufacture, reaching elevated prices in the international market.

Key words: organic or ecological alcohol, organic fermentation, and molasses.

Introducción:

Para poder producir alcohol con la denominación de orgánico es necesario prescindir de agregar sustancias químicas obtenidas por síntesis, tales como ácido sulfúrico, penicilina, urea, antiespumante y fosfato entre otros nutrientes, en algunas etapas del proceso de obtención de alcohol. Este producto resulta muy atractivo por su esencia y aroma, fundamentalmente para la joven industria de los cosméticos orgánicos y la fabricación de bebidas. Los productos con denominación de orgánicos alcanzan un elevado precio en el mercado internacional y por tanto también son objeto de un riguroso control, tanto de la materia prima, del proceso, como del producto final para garantizar su calidad.
La producción de azúcar orgánica se realizó en Cuba por primera vez en la Planta Piloto José Martí de la UCLV y actualmente en la región central del país se produce azúcar orgánico en el CAI Carlos Baliño, siendo el principal suministrador de melazas orgánicas, materia prima fundamental para llevar a cabo esta producción. Las particularidades tecnológicas de este proceso orgánico permitirán disminuir o suprimir la utilización de grandes cantidades de productos químicos.
Para obtener alcohol en las condiciones señaladas se requiere del desarrollo de estudios fundamentales que optimicen la tecnología a emplear, así como la aplicación de nuevos microorganismos y productos de origen natural, su introducción a escala industrial con los ajustes requeridos y el establecimiento de las normas tecnológicas de producción y control de calidad del proceso.
Dentro de este contexto y con la reanimación del centralito de la Universidad Central de Las Villas y del CAI Carlos Baliño para la producción de azúcar orgánica o ecológica, se despertó el interés de la Facultad de Química Farmacia y del CAI Carlos Baliño, de realizar estudios para la diversificación de esta fabrica y utilizar sus subproductos en la producción de alcohol orgánico o ecológico.
Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado nos proponemos como objetivos:

- Hacer una caracterización de la materia prima que se utilizará.
- Hacer un estudio del proceso de producción de alcohol orgánico a partir de las mieles finales de la Planta Piloto José Martí.
- Establecer los parámetros o las condiciones de trabajo alrededor de las cuales se proyectará el estudio que nos proponemos hacer.
- Hacer la caracterización del alcohol que se obtenga bajo condiciones orgánicas.

Metodología:

El objetivo general de nuestro estudio es evaluar la factibilidad técnica de la producción de alcohol orgánico o ecológico. El trabajo experimental se desarrollo según el siguiente orden:
1. Caracterización de las materias primas:
2. Estudio del proceso fermentativo:
    - Estudios preliminares en condiciones orgánicas o ecológicas.
    - Prefermentación.
    - Fermentación alcohólica.
3. Caracterización del producto (alcohol orgánico o ecológico)

1. Caracterización de las materias primas:

Durante la caracterización de la materia prima se emplearon dos tipos de mieles. La miel final del CAI Heriberto Duquesne con el objetivo de ser utilizada en los estudios preliminares en condiciones orgánicas y la miel final orgánica del centralito José Martí como materia prima fundamental para nuestro estudio. La

caracterización consistió en determinaciones de azúcares reductores totales (ART), grados Brix, pol, pureza, ceniza y pH.

2. Estudio del proceso fermentativo:

- **Prefermentación:**

La prefermentación se realizó en el laboratorio en condiciones similares a la industria, pero sin adición de los nutrientes que se emplean de forma tradicional en este tipo de proceso (urea, fosfato y sulfato de amonio.)Se garantizaron concentraciones de más de 150 millones de células por mL, la levadura empleada fue la Sacharomyces cerevisiae de uso industrial (levadura seca activa).

- **Fermentación alcohólica:**

Todas las experiencias se realizaron también de forma similar al proceso industrial, con las diferencias de que fue utilizado un solo refresco para el llenado de los fermentadores. Para regular el pH en los parámetros establecidos se utilizó como una alternativa a escala de laboratorio (en los experimentos que lo necesitaron) jugo de limón cuyo pH fue de 2.24 unidades y sin la adición de ningún producto químico.

3. Caracterización del producto final.

Para la obtención de este producto se hizo una destilación fraccionada a escala de laboratorio en una columna rellena.
Al alcohol orgánico obtenido se le determino el grado alcohólico, así como acetaldehído, acetato de etilo, metanol, n propanol, isobutanol, isoamílico y alcoholes superiores por cromatografía gaseosa.

Diseño experimental:

El trabajo experimental consistió en la realización de dos diseños de experimentos, uno para la prefermentación y otro para la etapa fermentativa. Para la primera etapa se realizó un diseño factorial completo del tipo 2^3 por lo que se realizaron 8 corridas o experimentos con una réplica cada uno y en el caso de la fermentación el diseño de experimento responde a un diseño factorial del tipo 2^2 y para el mismo se hizo necesaria la ejecución de cuatro experimentos con sus réplicas respectivas.

- **Prefermentación:**

Este experimento responde a una matriz del tipo:

Exp.	X_1 Concentración de levadura (g/L)	X_2 Temperatura (° C)	X_3 Concentración de sustrato (°Bx)	Y_1 Velocidad especifica de crecimiento (h^{-1})	Y_2 Tiempo en que se logran conteos celulares superiores a 150 millones de células / mL (h)
1	2.5	32	13	--	--
2	2	32	13	--	--
3	2.5	30	13	--	--
4	2	30	13	--	--
5	2.5	32	10	--	--
6	2	32	10	--	--
7	2.5	30	10	--	--
8	2	30	10	--	--

Las variables independientes analizadas fueron X1, X2 y X3 y como variables respuestas fueron consideradas Y_1 y Y_2, cuyas nomenclaturas aparecen reportadas en la tabla anterior.

- **Fermentación:**

Este experimento responde a una matriz del tipo:

#	P_1 Concentración de sustrato (°Bx)	P_2 Control del pH	Z_1 Concentración final de alcohol. (% vv)	Z_2 Rendimiento alcohol sustrato (%)	Z_3 Eficiencia (%)	Z_4 Productividad (g / Lh)
1	18	5.8	--	--	--	--
2	15	5.8	--	--	--	--
3	18	4.4	--	--	--	--
4	15	4.4	--	--	--	--

Para este diseño las variables independientes fueron P_{1y} P_2 y las variables respuestas para este experimento fueron Z_1, Z_2, Z_3 y Z_4.
Los resultados se procesaron estadísticamente a través del software STATGRAPHICS con el fin de buscar un modelo que describa el comportamiento de las variables respuestas para los dos diseños de experimentos antes mencionados.

Resultados y discusión:

1. Caracterización de la materia prima.

Los resultados promedios de la caracterización de la materia prima aparecen a continuación:

Tabla I. Caracterización de las materias primas.

Parámetros	Brix	Pol	Pureza	% Reductores.	Total Invertido.	% Sacarosa.	Azuc. Totales.	pH	Ceniza
Miel final	89.12	35.64	40	14.96	57.27	38.78	55.15	5.2	12.25
Miel final orgánica	87.09	39.23	44.98	14.83	54.32	38.07	53.10	4.585	20.46

Como se puede apreciar los valores de los parámetros de ambas mieles no difieren mucho unos de otros a pesar de haber sido procesadas bajo condiciones diferentes y en diferentes industrias no obstante en ciertos parámetros existen ciertas diferencias que pudiesen influir en la eficiencia del proceso fermentativo.
Según los datos reportados por la literatura puede observarse que los valores de pureza se encuentran un poco elevados para ambas mieles.
Para el caso del Brix, la miel orgánica presenta un valor inferior al de la miel final pero este no es un aspecto que influya grandemente en la fermentación debido a que la concentración inicial de sustrato es igual en todos los experimentos, aunque para la industria alcoholera mieles con altos valores de Brix reportan mayores ventajas desde el punto de vista económico debido a que se utiliza una menor cantidad de esta, pues generalmente presentan mayor cantidad de azucares reductores.
El pH de la miel orgánica es menor que el de la miel final, esto para un proceso de fermentación de tipo orgánico influye apreciablemente y mucho mas cuando no se utilizan ácidos orgánicos para regular el pH. En la medida que el pH se aproxime al valor de 4 la presencia de bacterias que puedan contaminar el medio se hace más difícil y por lo tanto esto influye positivamente para el proceso. Sin lugar a dudas esta es la variable que más puede influir sobre la eficiencia de una u otra materia prima para un proceso orgánico de producción de alcohol.
El resto de los parámetros se encuentran en los valores establecidos y no se corre riesgo que por causa de la materia prima ocurran deficiencias en el proceso fermentativo. La miel final orgánica presenta características aceptables para ser empleadas en la fermentación.

2. Estudio del proceso fermentativo.

- **Estudios preliminares en condiciones orgánicas o ecológicas.**

Como ya hemos señalado, la obtención de alcohol bajo características orgánicas es una nueva forma de producción que requiere ciertas exigencias para su producción. Hasta el momento se ha encontrado poca referencia respecto al modo del comportamiento de las variables que rigen este tipo de producción, es por ello que comenzamos este estudio realizando varias pruebas preliminares en condiciones orgánicas con miel final para poder determinar el rango de operación por el cual debemos encaminar nuestro estudio para tener resultados acertados y eficientes en nuestro proceso de prefermentación.
El trabajo inicial consistió en una serie de experimentos donde se sometieron varios prefermentos a diferentes condiciones de trabajo, buscando las características o al menos la ubicación del punto de partida para los estudios posteriores, en estos estudios iniciales se llegó a la conclusión de que había que utilizar un compresor para suministrar aire a los prefermentos debido a la deficiencia de oxígeno presentada mediante la utilización de la zaranda. Además se comprobó que la concentración inicial de levadura debe ser superior al valor de 1 g/L, valor considerado como óptimo en el proceso convencional; debido a que con esta concentración inicial el conteo celular tarda demasiado en llegar hasta el valor deseado para nuestro propósito.
En estos estudios previos se fue variando ascendentemente la concentración de levadura añadida inicialmente, partiendo de una concentración inicial de 1.5 hasta 3 g/L, esto se hizo para diferentes concentraciones de sustrato, en este caso para 10 y 13 ^{o}Bx respectivamente. Una vez determinado los

mejores resultados en cada una de las concentraciones de sustrato analizado se realizó una experiencia en iguales condiciones pero con la adición de nutrientes y con la regulación del pH tal y como se hace en los procesos tradicionales en nuestra industria alcoholera a modo de comparación.
Algunos de estos resultados se reportan en las tablas 2 y 3.

Tabla II. Resultados de los estudios preliminares para prefermentos en condiciones orgánicas (10 ^{o}Bx)

Conc. inic. de levadura	**Parámetros**							**μ (h^{-1})**
2.5 g/L	Tiempo (h)	0	1.5	3.0	4.5	6.0	7.0	0.11
	Temp. (^{o}C)	31	31	31	31	31	31	
	Brix	10.0	8.9	8.5	7.6	7.1	6.4	
	pH	6.20	6.17	6.13	6.05	6.00	5.95	
	Conteo	38.1	55.6	90.3	120.7	158.4	200.2	
2.5g/L (Patrón)	Tiempo (h)	0	1.5	3.0	4.5	6.0	7.0	0.16
	Temp. (^{o}C)	31	31	31	31	31	31	
	Brix	10.0	8.7	8.2	7.1	6.6	6.0	
	pH	4.23	4.28	4.36	4.42	4.46	4.50	
	Conteo	35.0	60.5	100.5	145.7	172.4	230.5	

Nota: Los resultados solo se reportan para la mejor condición inicial de levadura ensayada (2.5 g/L) tanto para 10 como para 13 ^{o}Bx

Tabla III. Resultados de los estudios preliminares para prefermentos en condiciones orgánicas (13 ^{o}Bx)

Conc. inic. de levadura	**Parámetros**							**μ (h^{-1})**
2.5 g/L	Tiempo (h)	0	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	0.11
	Temp.(^{o}C)	31	31	31	31	31	31	
	Brix	13.0	12.3	10.9	10.0	9.3	8.9	
	pH	6.20	6.15	6.13	6.09	6.04	6.00	
	Conteo	30.9	54.7	74.5	110.8	140.7	172.3	
2.5g/L (patrón)	Tiempo (h)	0	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	0.18
	Temp.(^{o}C)	31	31	31	31	31	31	
	Brix	13.0	12.1	10.6	9.5	8.9	8.0	
	pH	4.22	4.25	4.32	4.38	4.43	4.49	
	Conteo	32.4	60.3	80.5	130.6	174.0	220.5	

Del análisis de los resultados obtenidos se llega a la conclusión de que la concentración inicial de levadura de 2 g/L tampoco fue suficiente para alcanzar un número de microorganismos superior a los 150 millones por mL en un tiempo no superior a las siete horas. La velocidad de crecimiento de los microorganismos para esta concentración de levadura fue superior para cuando se empleo 2.5 y 3 g/L pero sin embargo no se logra alcanzar el número adecuado de microorganismos en el tiempo deseado. Por tanto se decidió inicialmente fijar para el diseño de experimento concentraciones iniciales de levadura de 2.5 y 3.0 g/L para los valores inferiores y superiores respectivamente. Para ambas concentraciones en menos de las siete horas se alcanza el número de microorganismos deseados para nuestro proceso.
Es significativo destacar que en la mayoría de las experiencias los 150 millones de células por mL se alcanza antes de que el Brix descienda a la mitad +1, lo que pudo ser aprovechado para lograr concentraciones celulares mayores y un prefermento de mayor calidad aunque el tiempo fuera superior al valor fijado.

- **Prefermentación:**

Prefermentación con miel final orgánica.

Esta etapa como ya se ha mencionado constó de 8 experimentos que se realizaron con el objetivo de seleccionar el mejor de ellos para una posterior etapa de fermentación .De los estudios precedentes se había llegado a prefijar cuales debían ser los valores de concentración de levadura, para los cuales se continuaría en esta etapa de prefermentación, sin embargo para los experimentos con la miel final orgánica estas concentraciones iniciales resultaron ser muy elevadas puesto que tan solo en cuatro horas se alcanzaban cifras por encima de los 150 millones de células por mL en el medio, esto para los efectos de la eficiencia es verdaderamente llamativo pero haciendo un análisis económico, es mas favorable reducir las concentraciones iniciales de levadura a niveles mas bajos, fundamentalmente si se tiene en cuenta que este tipo de levadura es importado. Es por ello que se fijan la concentración de sustrato en 2.0 g/L y 2.5 g/L para los niveles inferiores y superiores respectivamente.

Tabla IV. Resumen de la etapa de prefermentación con miel orgánica

	Bx inic	**Bx** final	**Conteo** final	**Temp** (^oC)	**Conc. Lev** (g/L)	**V. Crec** (h^{-1})
Exp1	13.0	9.0	168.0	32.0	2.5	0.166
Exp2	13.0	9.2	148.0	32.0	2.0	0.16
Exp3	13.0	9.0	195.2	30.0	2.5	0.133
Exp 4	13.0	9.0	149.6	30.0	2.0	0.18
Exp5	10.0	6.0	156.8	32.0	2.5	0.13
Exp6	10.0	6.6	153.7	32.0	2.0	0.126
Exp7	10.0	6.0	203.0	30.0	2.5	0.26
Exp8	10.0	6.4	179.9	30.0	2.0	0.28

Para el análisis de los datos obtenidos fue conveniente hacer la tabla resumen que se mostró anteriormente, en la misma se recogen los principales resultados de los experimentos concernientes a esta etapa.
En esta tabla se puede apreciar que en todos los experimentos el conteo celular alcanza el valor deseado para nuestro estudio, solo en los experimentos 2 y 4 se quedó ligeramente inferior a los 150 millones de células, pero realmente este valor se puede calificar como aceptable para el proceso que pretendemos. Estos valores demuestran que los experimentos cumplieron con los objetivos y expectativas propuestas, pues en un tiempo relativamente corto y sin la adición de nutrientes y control de pH se logró el desarrollo adecuado de la levadura.
En todas las experiencias el consumo de sustrato es adecuado expresado por el descenso del grado Brix aunque para el caso en que el Brix inicial es 13 la concentración de células de 150 millones /mL se alcanza para todas las experiencias antes de que el Brix llegue a descender a la mitad + 1 (lo que debe tenerse en cuenta para futuros estudios) De todas estas variantes se selecciono el experimento 7, para la etapa posterior, o sea la fermentación alcohólica. Las condiciones iniciales son 2.5 g/L de concentración inicial de levadura, 10° Brix de concentración inicial de sustrato y 30°C de temperatura. En estas condiciones se obtienen los mejores resultados en cuanto al número de células alcanzadas. Desde el punto de vista de la concentración de sustrato presenta el nivel más bajo, lo que a escala industrial traería ciertos ahorros de materia prima y por tanto se podría traducir como un aporte económico o incremento en la economía del proceso en general.
En todos estos experimentos donde no se regulo el pH se pudo apreciar cierto nivel de contaminación (baja y mediana) en algunas experiencias, pero para ningún caso se puede decir que los valores alcanzados fueron elevados como para evidenciar una gran contaminación. Debido a la aparición de bacterias ajenas al proceso

en los prefermentadores y para mejorar los parámetros de operación, se valoró la posibilidad de la utilización de algún ácido orgánico o cultivos de bacterias ácido lácticas que fuesen capaces de autorregular el pH. Es por ello que en la etapa de fermentación alcohólica se empleo jugo de limón para regular el pH.

- **Fermentación alcohólica**

Tabla V. Resumen de la etapa de fermentación alcohólica con miel orgánica.

Parámetros	**Experimento 1**		**Experimento 2**		**Experimento 3**		**Experimento 4**	
	Orig	Rép	Orig	Rép	Orig	Rép	Orig	Rép
Brix inicial	18.0	18.0	15.0	15.0	17.6	17.7	14.6	14.5
Brix final	11.5	10.5	9.5	11.5	9.5	11.4	8.0	8.5
ART Inicial(g/L)	12.07	12.07	9.92	9.92	11.83	11.91	9.591	9.66
ART Final(g/L)	3.624	3.594	2.218	2.77	2.927	3.92	1.967	2.102
pH inicial	5.84	5.94	5.92	5.82	4.47	4.43	4.42	4.47
pH final	4.87	4.74	4.41	4.42	4.43	4.42	4.29	4.35
Tiempo Fer(h)	116	132	96	98	120	122	132	130
G. Alc (^{o}GL)	4.1	4.3	2.7	2.1	4.8	4.6	3.95	3.82
Productividad (%)	0.027	0.026	0.022	0.017	0.031	0.030	0.023	0.026
Eficiencia (%)	75.37	78.77	54.42	45.60	82.90	89.39	79.47	78.47
Rendimiento (%)	48.54	50.73	35.05	29.37	53.39	57.57	51.18	50.54
Formación de espuma	media	media	poca	poca	alta	alta	alta	alta
Contaminación	baja		media		No apreciable		No apreciable	

Haciendo un análisis de los datos mostrados en esta tabla se puede apreciar que:
El resultado más significativo en cuanto al grado alcohólico alcanzado se corresponde con el experimento # 3, en este experimento el pH fue regulado, esto evidencia la importancia que tiene esta variable en la eficiencia de la fermentación. Este es un factor fundamental, pues a valores bajos de pH la presencia de bacterias que puedan contaminar el medio es mínima, el #2 fue el de peores resultados en cuanto a este aspecto, en el mismo se evidenció una contaminación media que puede influir en los resultados alcanzados por este fermentador ya que el problema de la contaminación microbiana en las distintas etapas del proceso, es un factor que afecta tanto la eficiencia industrial como la calidad del producto terminado. El Brix final de la batición se puede apreciar que es elevado, esto es un índice de una cierta cantidad de sustrato que pudo ser convertido en alcohol debido a características adversas del medio para el desarrollo adecuado de las levaduras, en general los restantes experimentos presentaron buenos resultados en cuanto a este aspecto aunque para el experimento # 4 los resultados son inferiores a los que se obtienen en nuestras destilerías.
La eficiencia y el rendimiento de cierta manera dependen fundamentalmente del grado alcohólico alcanzado, suele suceder que cuando un fermento alcanza un valor elevado del grado alcohólico el consumo de sustrato también lo es y viceversa, para nuestros experimentos los valores de estos parámetros tienen un comportamiento aceptable a pesar de que no todos los experimentos lograron un alto contenido de alcohol.
El tiempo de fermentación en todos los experimentos es extremadamente largo en comparación con un proceso tradicional donde una fermentación no debe exceder de un período de 24 horas, aunque se reportan fermentaciones donde el tiempo oscila alrededor de las 72 horas pero nunca tan alto como los alcanzados en estos experimentos, en realidad no podemos tomar estos resultados como un patrón para la evaluación de nuestro proceso puesto que estamos estudiando un sistema del cual se tienen pocos conocimientos, pero al parecer para este tipo de producción, las exigencias del proceso hacen que el tiempo de la fermentación se

haga más retardado en comparación con fermentaciones tradicionales, también puede influir la calidad del prefermento dado por un posible estado fisiológico no óptimo del cultivo.
La productividad que se obtiene es baja, lo cual era de esperarse pues esta depende del tiempo de fermentación, es inversamente proporcional al mismo y en todos los casos este
es muy elevado con respecto a un proceso de fermentación alcohólica de forma tradicional y además la concentración de productos no es muy elevada.
Basándonos en todo lo expuesto anteriormente el experimento mejor resulto ser el #3 aunque decidimos tomar las condiciones iniciales del experimento # 1 para realizar una fermentación a una escala un poco mayor que nos permitió hacer una destilación donde se obtuvo como producto el alcohol orgánico al cual se le realizó su caracterización. Esta decisión fue tomada teniendo en consideración que los resultados son similares y además con una limitante, no disponer de grandes cantidades de jugo de limón para regular el pH tal y como lo exige el experimento #4.

Análisis estadístico del proceso de prefermentación:
Modelo obtenido para esta etapa:
$y1=9.8777-0.350278*X2-0.676503*X3+0.0182193*X1*X2–0.0521841X1*X3 +0.2535*X2*X3$
$R^2=92,524$ %.

Análisis estadístico del proceso de fermentación alcohólica:
$Y1=6,95984- 2.07781*X2 +0.08883333 *X1*X2.$
$R^2=93,1147$ %.
$Y2=86.0852- 20.3133*X2 +0.767189*X1*X2.$
$R^2=89.2552$ %.
$Y3=133.667-315442*X2+1.91141*X1*X2.$
$R^2=82.556$%.
$Y4=0.00475+0.002*X1-0.0025*X2.$
$R^2=81.25$ %.

3. Caracterización del producto.

A continuación se muestran los resultados obtenidos por cromatografía gaseosa para el producto que se obtuvo como resultado de la destilación de la batición fermentada (tabla 6)
Haciendo una comparación de nuestro producto con la norma técnica del aguardiente (anexo 1) en primer lugar tenemos que la cantidad de acetaldehídos esta por encima del valor establecido, esto se cumple para todas las muestras tomadas en la destilación. Los alcoholes superiores tienen un comportamiento similar al compuesto antes mencionado, en todas las muestras los valores de nuestro producto están por encima del nivel establecidos para un aguardiente; el grado alcohólico está por encima del establecido para la mayoría de las muestras.
En la comparación con un alcohol técnico el acetaldehído, el grado alcohólico y los alcoholes superiores están por encima de los valores establecidos para poder ser calificado como alcohol técnico, además solo algunas de las muestras cumplen con los requerimientos para la concentración de acetato de etilo.
La comparación con el alcohol orgánico en cuanto a los aspectos que aparecen en los datos reportados por Otisa y a la caracterización hecha por nosotros demuestra que nuestro producto presenta valores que reportan una calidad superior a este, es significativo destacar que a excepción del grado alcohólico los demás parámetros presentan mejores valores que los reportados por este productor de alcohol orgánico. A pesar de que para nuestro producto la concentración de alcoholes superiores esta elevada los valores de los mismos es inferior a los reportados por la caracterización que hemos tomado como referencia para esta comparación.
El comportamiento elevado de los alcoholes superiores se debe principalmente al alcohol amílico, este es el componente que más aporta a los mismos, esta concentración elevada se debe a que en la columna en que fue obtenido el alcohol es imposible hacer extracciones parciales donde se pueda eliminar volúmenes del

mismo. Eran de esperarse concentraciones elevadas de alcoholes superiores, lo que realmente nos ha llamado la atención es la cantidad elevada de estos en las cabezas cuando este comportamiento es típico del final del proceso, teniendo en cuenta la temperatura de ebullición del alcohol amílico no es de esperarse la aparición de este en grandes proporciones al principio de una destilación fraccionada. Este comportamiento inusual solo puede ser justificado por una deficiente operación al inicio del proceso.

Tabla VI. Resultado de la destilación

Muestra		1	2,3	4	5	6
Volumen(mL)		100	200	100	100	250
Grado Alcohólico (real)		87.35	91.2	88.2	76.8	50
Acetaldehído	$mg/100mL_{muestra}$	48.2634	26.633	17	12.75	12.347
	$mg/100mL_{aa}$	52.25	29.2	19.27	16.6	24.695
	mg/L_{aa}	552.53	292.03	192.74	166.02	246.95
	g/hl_{aa}	0.0552	0.0292	0.0192	0.0166	0.0246
Acetato de Etilo	$mg/100mL_{muestra}$	11.5937	6.6019	4.2087	5.9417	5.2381
	$mg/100mL_{aa}$	13.27	7.239	4.77	7.736	10.47
	mg/L_{aa}	132.73	72.39	47.72	77.365	104.76
	g/hl_{aa}	0,0132	0.0072	0.0047	0.0077	0.0104
Metanol	$mg/100mL_{muestra}$	0.0796	0.136	0.1662	0.204	0.2290
	$mg/100mL_{aa}$	0.091	0.149	0.188	0.26	0.458
	mg/L_{aa}	0.911	1.492	1.8843	2.656	4.58
	g/hl_{aa}	0.00091	0.00149	0.00018	0.00026	0.00045
n-propanol (a)	$mg/100mL_{muestra}$	17.4146	13.10	19.6562	18.4875	11.743
	$mg/100mL_{aa}$	19.93	13.27	22.28	24.07	23.48
	mg/L_{aa}	199.37	132.72	222.86	240.72	234.87
	g/hl_{aa}	0,0199	0.0132	0.0222	0.0240	0.0234
Isobutanol (b)	$mg/100mL_{muestra}$	29.7040	36.12	34.34	31.518	32.13
	$mg/100mL_{aa}$	34.00	39.61	38.93	41.03	64.26
	mg/L_{aa}	340.06	396.11	389.34	410.39	642.6
	g/hl_{aa}	0.0340	0.0396	0.0389	0.0410	0.0642
Isoamílico (c)	$mg/100mL_{muestra}$	2890	838.456	535.185	361.85	368.25
	$mg/100mL_{aa}$	3308.53	919.36	606.78	470.37	736.50
	mg/L_{aa}	33085.29	9193.61	6067.85	4703.78	7365.0
	g/hl_{aa}	3.3085	0.9193	0.6067	0.4703	0.7365
Alcoholes superiores (a+b+c)	$mg/100mL_{muestra}$	2937.12	887.68	589.18	411.255	412.12
	$mg/100mL_{aa}$	3362.46	972.24	667.99	535.47	824.24
	mg/L_{aa}	33624.72	9722.4	6679.9	5354.7	8242.4
	g/hl_{aa}	3.362	0.9722	0.6679	0.5354	0.8242

Teniendo en cuenta los aspectos que se manifestaron anteriormente se puede clasificar de forma preliminar nuestro alcohol como un alcohol orgánico puesto que el grado alcohólico menor esta dado por ser este el producto de una primera destilación. Si este alcohol hubiese pasado por las etapas posteriores a esta primera destilación que son usuales en nuestras destilerías, el grado alcohólico fuese superior y además el alto valor de los alcoholes superiores sería reducido a valores muy inferiores en comparación con los que se reportan actualmente.

Conclusiones.

1. Se obtiene por primera vez a nivel de laboratorio en Cuba un alcohol orgánico o ecológico, dando los primeros pasos para el establecimiento de una nueva tecnología de producción de alcohol.
2. Según los datos reportados por el centro productor de alcohol orgánico Otisa, nuestro producto cumple con los requisitos que esta reporta e incluso nuestros resultados se pueden considerar satisfactorios, por tanto se puede catalogar como un alcohol orgánico de calidad aceptable de forma preliminar.
3. La miel final del centralito José Martí presenta buenas condiciones para ser utilizada como materia prima en el proceso de obtención del alcohol orgánico, teniendo como ventaja principal respecto a la miel final un menor valor de pH.
4. Las condiciones adversas (no adición de nutrientes, no control del pH) en que se desarrolla la levadura tiene incidencia en el tiempo de fermentación, siendo mucho más de 24 horas lo que afecta grandemente la productividad del proceso.
5. La concentración inicial de levadura no tiene una influencia significativa en la velocidad especifica de crecimiento de las levaduras en el medio, sin embargo la interacción de esta variable con la concentración inicial de sustrato y la temperatura del medio en que se desarrolla la prefermentación tienen un papel significativo en la velocidad específica de crecimiento.
6. En la etapa de prefermentación el mejor resultado obtenido le corresponde al experimento 7 cuyas condiciones iniciales fueron (2.5 g/L de concentración inicial de levadura, 10 °Bx de concentración inicial de sustrato y 30°C de temperatura.
7. En la etapa de fermentación el mejor resultado obtenido corresponde al experimento #3, la concentración inicial del mismo fue de 17.7 ^{o}Bx y fue regulado el pH.

Recomendaciones.

1. El presente documento se puede considerar como punto de partida para investigaciones posteriores sobre este tema, se recomienda continuar con el uso de otros microorganismos considerando especialmente el uso de levaduras superproductoras de alcohol, así como con bacterias ácido lácticas.
2. Valorar el empleo de ácidos de carácter orgánico para la regulación del pH tanto en la etapa de prefermentación como en la fermentación alcohólica.
3. Dada la aparición de bacterias en algunas experiencias se hace necesario realizar un análisis microbiológico de las mieles.
4. Se debe trabajar con volúmenes mayores de batición para obtener mayor valor de destilado que permita hacer una segunda destilación o rectificación del producto facilitando la obtención de un alcohol de mayor calidad.

Referencias Bibliográficas

1. Blanco, G: Diagnostico de la industria para la producción de alcohol etílico, ICIDCA, 1978
2. http://www.sicoar.com.uy/claes "Informe de la FAO, 2001"
3. Oramas Posted, El azúcar orgánica, nueva variedad con un futuro, jueves, Febrero 22, 2001: Granma International.
4. Fernández Peñate, C: Estudio preliminar de fermentación de melazas orgánicas de la planta piloto José Martí. Trabajo de Diploma, Facultad de Química y Farmacia, UCLV, 2001
5. http://www.quanta.net.py/userweb/judomola/Felsina_es.htm

Anexo I. Normas de calidad de alcoholes y aguardiente según diferentes referencias.

Componentes	**Alcohol Orgánico 96ºGL (g/HL)**	**Norma Cubana NC 83-31/1987 Alcohol Técnico (94-95 ºGL) (mg/100ml aa)**	**Aguardiente (mg/100ml aa)**
Acetaldeído	2.0 máx	30-4.68	6.44
Acetato de etilo	25.0 máx	100-60.85	28.3
Metanol	Trazas	-	2.35
n-Propanol	-	-	59.08
Isobutanol	-	-	104.75
Isoamílico	-	-	212.35
Alcoholes Superiores	9.0 máx	150-155	376.18

POSIBILIDADES TÉCNICO - ECONÓMICA DE PRODUCIR BIOETANOL DE CAÑA CONSIDERANDO EL USO DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS.

TECHNICAL AND ECONOMICAL POSSIBILITIES OF PRODUCING BIO ETHANOL CANE CONSIDERING THE USE OF LIGNOCELLULOSES RESIDUALS

Autores: Ing. Yaser Oliva Conyedo[1], Dra. Mary Lopetry[2]; Dr. Sc. Erenio González Suárez[3], Dr. Julio Pedraza Garciga[1]

1. Centro de Análisis de Procesos. Facultad Química-Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. yaseroc@qf.uclv.edu.cu ; juliop@qf.uclv.edu.cu
2. Universidad de la República de Uruguay
3. Centro de Innovación Tecnológica. . Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. erenio@rectorado.uclv.edu.cu

Resumen.

En el trabajo se presenta un estudio de factibilidad técnico económico de una planta de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos de la biomasa de la agroindustria de la caña de azúcar, a través de la integración material y energética a una fábrica de azúcar de caña. En el mismo se incluye un estudio previo de diseño del equipamiento necesario para llevar a cabo una inversión de este tipo y se compara con los resultados con las posibilidades que brinda para la misma empresa solamente utilizar los sustratos azucarados disponibles para las tecnologías tradicionales. Se incluyen en el análisis los balances de integración material y energética. Al final se realizó una evaluación económica y los indicadores dinámicos.

Palabras claves: Residuos Lignocelulósicos, Bioetanol, caña de azucar.

Summary

In the work an economic and technical study of feasibility of a bioethanol plant is presented from lignocelluloses residuals of the biomass sugar cane agroindustry through the material and energetic integration to a sugar cane factory.
A previous study of design of the necessary equipment is included to carry out an investment of this type. Also it is compared the results of the possibilities of using in the same company the available substrate sugary for the traditional technologies.
The analysis includes the balances of material and energetic integration, and at the end was carried out an economic evaluation through dynamic indicators.

Key words: Lignocelulosics wastes, Bioethanol, sugar cane

Introducción:

La mayoría de los países latinoamericanos, entre ellos los productores de azúcar, están en la búsqueda de una estrategia para la reconversión de sus economías productivas y dar respuesta con ello a la apertura de nuevos mercados y a la integración regional.

El aumento de la producción de alcohol en el mundo ha estado aparejado con el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten obtener etanol a partir de residuos de madera, de desechos sólidos y de todos los materiales que contengan celulosa y hemicelulosa permitiendo entonces revalorizar los desechos de varias industrias convirtiéndolos en materia prima para la obtención de alcohol

El interés por el uso de materiales lignocelulósicos como materia prima en procesos de transformación por microorganismos es importante desde hace ya varias décadas. Entre las razones fundamentales por tal interés se tienen:

- La materia lignocelulósica es el subproducto agroindustrial de mayor abundancia.
- Es una fuente de materia prima renovable, por constituir una parte estructural en el reino vegetal.
- Sus tres mayores constituyentes (celulosa, hemicelulosa y lignina) encuentran aplicaciones prácticas apreciables. La celulosa se utiliza por ejemplo para la obtención de etanol y biomasa, la hemicelulosa como fuente de etanol y/o biomasa y la lignina como fuente de combustible, adhesivo o inmunoadyuvante.

Materiales y Métodos

Tratamiento del material lignocelulósico para obtener azúcares fermentables

Los materiales lignocelulósicos son en general de muy baja susceptibilidad a los ataques enzimáticos y microbianos lo que se debe a los siguientes factores derivados de su composición y de su estructura físico-química:

a) Estrecha relación que existe entre celulosa, hemicelulosa y lignina formando una estructura que no es accesible a las enzimas y a otros agentes químicos.
b) Cristalinidad de la celulosa

Para poder liberar los azúcares presentes en los materiales lignocelulósicos hay que someter al material a determinadas etapas, estas son:

1. Pretratamiento, cuya función es hacer al material más susceptible y accesible para la etapa posterior.
2. Prehidrólisis, cuya función es liberar las hemicelulosas que contiene ele material.
3. Hidrólisis, cuya función es liberar la glucosa presente en los materiales lignocelulósicos

Métodos de pretratamiento del material. (1, 2, 4)

El objetivo de los pretratamientos es aumentar la susceptibilidad del material (para obtener un sustrato lignocelulósico reactivo que sea altamente accesible) al ataque de carácter microbiológico y enzimático en el contexto de la utilización o procesamiento bioquímico de los mismos.
Los métodos de pretratamiento se clasifican en:

1. Físicos.
2. Químicos.
3. Físicos- químicos.
4. Biológicos.

Procesos de hidrólisis o sacarificación (1, 2)

Después que el material lignocelulósico ha recibido determinado pretratamiento se realiza el proceso de la hidrólisis de la celulosa y las hemicelulosas.
Este proceso puede ser de dos tipos:

- Procesos de hidrólisis ácida.
- Procesos de hidrólisis enzimática

La base de este proceso es la actividad de las celulasas. Estas son enzimas celulíticas que conforman conjuntos multicomponentes de acción sinergística en los cuales suelen distinguirse los siguientes tipos de celulasas independientemente de los microorganismos de los cuales provengan:
1)-Endogluconasas 1,4 ß-D glucan glucanohidrolasas EC 3.2.1.4, que atacan inicialmente las uniones químicas internas del polímero lignocelulósico, resultando en la primera etapa de depolimerización.
2)-Exogluconasas 1,4 ß-D glucan celobiohidrolasas EC 3.2.1.91, que actúan separando unidades de celobiosa a partir de los extremos de las cadenas celulósicas previamente acortadas.

3)-ß-glucosidasas, EC 3.2.1.21, (o celobiasas cuando actúan sobre la celobiosa) que hidrolizan la celobiosa y otros organismos de cadenas cortas a glucosa.

De esta manera la reacción enzimática se lleva a cabo en diferentes etapas, cuya velocidad es dependiente del tamaño de partículas de la materia prima, la calidad y composición del complejo enzimático, los grados de polimerización y cristalinidad originales del sustrato lignocelulósico, las cadenas de la reacción y la inactivación enzimática, entre otras.
Durante el proceso la enzima puede perderse de tres maneras: por fuerte absorción sobre fracciones no hidrolizadas de celulosa, por solubilización en la corriente azucarada de salida y por inactivación (calor, esfuerzos de corte en reactores agitados, etc.)
Las técnicas de recuperación, por lo tanto, deben enfocarse ya sea sobre sistemas viables de absorción mediante manipulación de las condiciones operativas o bien por recirculación de la solución de salida para permitir la reabsorción de las enzimas remanentes por parte del sustrato mantenido, por ejemplo, en un reactor de columna hasta conseguir la máxima conversión del mismo, u otras alternativas que resulten técnicamente factibles.

Fermentación alcohólica (1, 2)
Luego de completada la hidrólisis enzimática de la celulosa y la hemicelulosa, la tecnología subsiguiente requerida para la fermentación a etanol, no difiere básicamente de la aplicable a otras soluciones de azúcares, excepto en algún detalle cuando la etapa hidrolítica ha generado agentes inhibidores.

Conversión de la Glucosa a Etanol

(1) Glucosa $\longrightarrow$ (2)Etanol + (2) Dióxido de Carbono

Conversión de la Xilosa a Etanol

Xilosa $\longrightarrow$ Etanol + Dióxido de Carbono + Agua

Realmente se han reportado tres posibles rutas por las que ocurre la fermentación, obteniéndose concentraciones de etanol que varían desde 30 a 50 % en peso de la materia prima de partida.(peso etanol/peso de xilosa)

Resultados y Discusión

Como se expresó anteriormente que la fermentación ocurra por un camino o por otro dependerá de los microorganismos empleados y de las condiciones bajo las que ocurra este proceso.

Disponibilidad de la Materia Prima

Se tomó como base una destilería de 800 Hl. /día en un Complejo Agroindustrial

CAI	Bagazo Sobrante Tn/día	Paja Disponible Tn/día	Bagazo sobrante por extracción de Jugos Tn/día	**Total**
1	33,8	67,61	57,55	158,96
2	12,56	62,78	53,44	128,78
3	16,02	64,28	54,72	135,02
4	8,45	28,17	23,98	60,6
5	13,73	109,84	93,5	217,07

Evaluación Económica

Costo del Equipamiento

ICA: Índice de costo actual (2001) **364,8**
ICR: Índice de costos de referencia (1967) **101.9**

Equipos	*Costo de Adquisición*	*Cantidad*	*ICA/ICR*	*Costo actual de Adquisición*
Reactor de Hidrólisis Enzimática	16500	2	3,58	118140,00
Columna Dest incluido Eq. Auxiliares	60000	1	3,58	214702,11
Fermentadores	14300	5	3,58	255853,35
Total				***588695,5***

Costos Total de Inversión	*Porcientos*	*Valor ($)*
Adquisición del Equipamiento	100	588.695,45
Instalación del Equipamiento	39	229.591,23
Instrumentación y Control	13	76.530,41
Instalación de Tuberías	31	182.495,59
Instalaciones Eléctricas	10	58.869,55
Edificaciones	29	170.721,68
Mejoramiento de Patios	10	58.869,55
Facilidad de Servicios	55	323.782,50
Costos Directos Total		***1.689.555,95***
Ingeniería y Supervisión	32	188.382,55
Gastos de Construcción	34	200.156,45
Costos Indirectos Total		***388.539,00***
Contingencias	36	211.930,36
Honorarios al Contador	18	105.965,18
Capital Fijo Invertido		***2.395.990,5***
Capital de Trabajo	74	***435.634,64***
CAPITAL TOTAL INVERTIDO		***2.831.625,13***

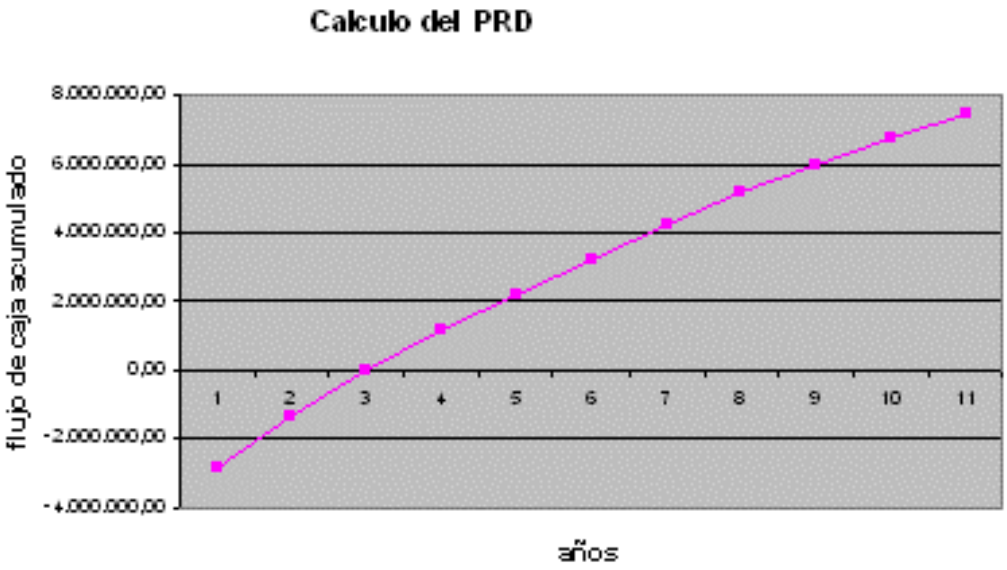
I GASTOS DE FABRICACION (A+B)	**4.421.894,48**
A Costos directos	**3.879.987,42**
Materia Prima	**1.516.587,64**
Bagazo	1.380.441,16
Microorganismos productores (Celulasa)	42.857,14
Fosfato de Amonio	7.316,40
Sulfato de amonio	3.416,40
Urea	22.082,40
Antiespumante	10.582,34
Formol	167,93
Hipoclorito de Sodio	1,76
Líquido antialga ST 2100	26.855,86
Líquido antincrustante ST 2000	16.062,24
SC-1100 (caldera)	6.804,00
Mano de Obra % CTP	**502.488,01**
Utilidades y servicios	**1.642.432,32**
Agua	360.000,00
Combustible (Fuel oil)	1.270.192,32
Electricidad red nacional	12.240,00
Mantenimiento	**15.894,78**
Suministros % M y R	**1.589,48**
Supervisión Directa % MO	**50.248,80**
Patentes % CTP	**100.497,60**
Cargos de laboratorio % MO	**50.248,80**
B CARGOS FIJOS	**541.907,06**
Depreciación	31.789,55
Tasa Locales	6.357,91
Impuestos	1.271,58
Costos exteriores 5-15% CTP	502.488,01
II GASTOS GENERALES (C+D+E)	**602.985,61**
C. Distribución y ventas % CTP	251.244,00
D. Administración % CTP	100.497,60
E. Investigación y Desarrollo % CTP	251.244,00
Costo Total (I+II)	***5.024.880,09***

TABLA DE FLUJOS DE CAJA

CONCEPTO / Años	***0***	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***
INGRESOS		7.068.000,00	7.068.000,00	7.068.000,00	7.068.000,00	7.068.000,00	7.068.000,00
COSTOS OPERACIONALES		4.991.818,96	4.991.818,96	4.991.818,96	4.991.818,96	4.991.818,96	4.991.818,96
BENEFICIOS OPERACIONALES		2.076.181,04	2.076.181,04	2.076.181,04	2.076.181,04	2.076.181,04	2.076.181,04
DEPRECIACION		31.789,55	31.789,55	31.789,55	31.789,55	31.789,55	31.789,55
BENEFICIOS ANTES DE IMPUESTOS		2.044.391,49	2.044.391,49	2.044.391,49	2.044.391,49	2.044.391,49	2.044.391,49
IMPUESTOS		1.271,58	1.271,58	1.271,58	1.271,58	1.271,58	1.271,58
BENEFICIOS DESPUES DE IMPUESTOS		2.043.119,91	2.043.119,91	2.043.119,91	2.043.119,91	2.043.119,91	2.043.119,91
INVERSIONES	-2.831.625,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PAGO DE LA DEUDA		411.165,90	411.165,90	411.165,90	411.165,90	411.165,90	0,00
FLUJO DE CAJA	-2.831.625,13	1.663.743,56	1.663.743,56	1.663.743,56	1.663.743,56	1.663.743,56	2.074.909,46
FLUJO DE CAJA AL DESCONTADO	-2.831.625,13	1.485.485,32	1.326.326,18	1.184.219,81	1.057.339,11	944.052,78	1.051.213,71
FLUJO DE CAJA AL DESCONTADO ACUMULADO	-2.831.625,13	-1346139,81	-19813,63	1164406,18	2221745,29	3165798,07	4217011,78

CONCEPTO / Años	***7***	***8***	***9***	***10***
INGRESOS	7.068.000,00	7.068.000,00	7.068.000,00	7.068.000,00
COSTOS OPERACIONALES	4.991.818,96	4.991.818,96	4.991.818,96	4.991.818,96
BENEFICIOS OPERACIONALES	2.076.181,04	2.076.181,04	2.076.181,04	2.076.181,04
DEPRECIACION	31.789,55	31.789,55	31.789,55	31.789,55
BENEFICIOS ANTES DE IMPUESTOS	2.044.391,49	2.044.391,49	2.044.391,49	2.044.391,49
IMPUESTOS	1.271,58	1.271,58	1.271,58	1.271,58
BENEFICIOS DESPUES DE IMPUESTOS	2.043.119,91	2.043.119,91	2.043.119,91	2.043.119,91
INVERSIONES	0,00	0,00	0,00	0,00
PAGO DE LA DEUDA	0,00	0,00	0,00	0,00
FLUJO DE CAJA	2.074.909,46	2.074.909,46	2.074.909,46	2.074.909,46
FLUJO DE CAJA AL DESCONTADO	938.583,67	838.021,13	748.233,15	668.065,32
FLUJO DE CAJA AL DESCONTADO ACUMULADO	5155595,44	5993616,58	6741849,73	7409915,04

VAN	*6.615.995,58 USD*
TIR	*59%*
PRD	*2,5*



Colusiones

1. Se hace necesario la utilización de un área de pretratamiento de los residuos lignocelulosicos para hacer más susceptible este material a los procesos que le prosiguen.
2. Con los residuos lignocelulósicos (bagazo) de 4 de los complejos agroindustriales cercanos al Complejo agroindustrial de referencia se puede obtener suficiente materia prima para la producción de 800 Hl./día de Bioetanol y para la producción de polioles y fenoles.
3. Es factible la inversión de una planta de bioetanol de 800 Hl./día a partir de residuos lignocelulósicos, obteniéndose los siguientes indicadores económicos Capital Total Invertido **2.831.625,13 $,** Costo Total de Producción **5.024.880,09 $/año**, VAN **6.615.995,58 USD** TIR **59%** y PRD **2,5 años**.

Bibliografía

1. Cunningham, R. E y López, G. D (1994). Etanol de Lignocelulósicos. Tecnologías y Perspectivas Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Universidad de Compostela, p (15-95)
2. Muñoz, J.O Environmental Engineering in Agriculture 2nd -11th December 2002. pp 183-203.
3. Peters, M. S, Timmerhaus, K.D (1967) Plant Design and economics for Chemical Engineers 7th Edition. P(1-250)
4. Gong CS, Chen CS and Chen LF (1993) Pre-treatment of Sugarcane Bagasse Hemicelluloses Hydrolyzate for Ethanol Production by Yeast, Applied Biochem. Biotech., vol 39/40, pp.83-88 (SCI)
5. Ander, P., Eriksson, K.E.(1978) "Lignin degradation and utilization by microorganisms", Prog. Indust. Microbiol, 14, p.p. 1-58.
6. Klyosov, A.A., (1984)"Enzimatic conversion of cellulosic material to sugars and alcohol: the technology and its implications", UNIDO/IS. 476,
7. Enari, T.M. and Niku-Paavola 1987. CRC Crit. Rev. Biotechnol. 5, 67.

8. Klyosov, A. A. 1990. Biochemestry 29, 10577.
9. Rivers, D.B., Emert, G.H., (1988)"Factors affecting the enzimatic hydrolysis of municipal solid waste components", Biotech. and Bioeng, Vol. 31. p.p. 278-281,.
10. Rivers, D.B., Emert, G.H.,(1988.) "Factors affecting the enzimatic hydrolysis of bagasse and rice straw", Biological Wastes, Vol. 26, p.p. 85-95,

POTENCIALIDADES DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA PRODUCCIÓN DE LÍQUIDOS HIDROCARBURANTES A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULOSICOS.

POTENTIALITIES OF THE AGROINDUSTRY OF THE SUGAR CANE IN THE PRODUCTION OF HYDRODARBURANT LIQUIDS FROM LIGNOCELLULOSES RESIDUALS.

Autores: Ing. Yenlys Catá Salgado[1], Dr. Sc. Erenio González Suárez[2]; Dr. Julio Pedraza Garciga[1]; Dra. Hilda Oquendo Ferrer[3]

1)Departamento de Ingeniería Química, Facultad Química-Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Email: yenlys@qf.uclv.edu.cu ; juliop@qf.uclv.edu.cu
2)Centro de Innovación Tecnológica. . Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Email:erenio@rectorado.uclv.edu.cu
3) Facultad de Química, Universidad de Camaguey. hilda@qui.reduc.edu.cu

Resumen
La presencia de residuos lignocelulósicos en la agricultura y la agroindustria representa un potencial energético interesante que es posible aprovechar mediante su conversión a líquidos hidrocarburantes utilizando procesos termoquímicos. En este trabajo se aborda la necesidad y posibilidad de obtener biocombustibles a partir de los residuos lignocelulósicos de la biomasa cañera, presentando una tecnología económicamente sustentable y medio ambientalmente sostenible, en su vínculo con la producción de azúcar de caña lo que brinda una alternativa de diversificación. Se describen las condiciones de operación a las que ocurre el proceso de liquefacción hidrotérmica, siendo este el tipo de tratamiento termoquímico que se propone para esta tecnología. Se destacan las ventajas energéticas, medioambientales y económicas que brinda el uso del biocombustible obtenido por esta vía.
Palabras claves: hidrocarburantes; biomasa, diversificación, residuos lignocelulósicos

Summary
The presence of lignocelluloses residuals in the agriculture and the agroindustry represents an interesting energy potential that is possible to take advantage by means of its conversion to hydrocarburant liquids using thermo chemical processes.
In this work it is approached the necessity and possibility of obtaining biofuels from the lignocelluloses residuals of the sugar cane biomass, presenting an economically and environmentally sustainable technology. This technology is related to with the production of sugar cane what offers a diversification alternative.
The operation conditions of the process of hydrothermal liquefaction are described. This kind of treatment is proposal for this technology.
The energetic, environmental and economical advantages that offers the use of the biofuels obtained by this way are shown in this research work.
Keywords : hydrocarburant, biomass, diversification, lignocelluloses residuals.

Introducción.

Uno de los problemas más apremiantes del mercado actual de la energía es que es sustentado a partir de la utilización de combustible fósil. Es tendencia de la investigación buscar alternativas dado el agotamiento de este recurso que se estima que sea dentro de 40 a 50 años. Además de la incidencia negativa sobre el medio ambiente que tiene la combustión de los derivados del petróleo. Es por ello que se han desarrollado tecnologías para la producción de líquidos hidrocarburantes a partir de biomasa.
Por término medio, 1 kg de biomasa permite conseguir entre 3000-3500 Kcal., ya que el contenido energético final depende de factores como la cantidad de humedad de la materia orgánica o de los residuos no orgánicos presente. Así misma esta cantidad de energía puede llegar 10000 Kcal/kg para los combustibles líquidos que provienen de cultivos energéticos, es decir prácticamente el mismo rendimiento que un litro de gasolina.
Para la obtención de biocombustible existen diferentes tipos de biomasa las cuales pueden ser: aceite vegetales, grasa animal, residuos agrícolas y residuos lignocelulosicos, plantado por *Larrosa (2001),* siendo esta última la que tomaremos en este proyecto utilizando procesos termoquímicos para su conversión.

Materiales y Métodos.

El proceso de liquefacción hidrotérmica más conocido como HTU, es un proceso termoquímico el cual tiene grandes ventajas comparado con el proceso de Pirolisis siendo utilizado este con el mismo objetivo, ellas son: se requiere de menores velocidades de gases en el proceso, se obtiene menor cantidad de productos insaturados, se tiene menor polimerización, en los productos finales no hay una presencia considerable de oxigeno.
La biomasa usualmente incluye hidrógeno, carbón, y de un 50 a un 60 % peso de Oxigeno, puede contener otros elementos como son: azufre, nitrógeno y fósforo lo cual depende del origen que tenga la misma. *Naber (2000 a)*.
Una amplia variedad de biomasa puede ser utilizada como alimentación de este proceso, siempre que tenga presente lignocelulosa, en nuestro caso se propone utilizar el bagazo sobrante de la fábrica de azúcar como materia prima principal, pero además se tomará la paja y los residuos lignocelulosicos que estén en el entorno para aumentar el rendimiento de la reacción. La experiencia que se tiene, utilizando el proceso de HTU con este objetivo, es empleando como materia prima la madera.
La materia prima debe pasar por un proceso de trituración y con un posterior tamizado donde el tamaño de las partículas no debe exceder de 50 mm, para así evitar que se vea limitado la transferencia de calor dentro de las partículas, especialmente si es usado un reactor continuo.
Las partículas de madera son sometidas a un proceso de mezclado con una corriente de agua, que es reciclada del proceso para aprovechar su poder calórico a una temperatura aproximada de 200ºC y a una presión de 19 atm, por un tiempo de 5 minutos *Naber (2000 a).* Antes de pasar a la etapa de reacción se requiere seguir aumentando la temperatura del fluido por lo que es calentado con una corriente de vapor indirecto .
Se ha demostrado que el oxigeno puede ser separado sin adicionar hidrogeno, y un alto rendimiento de líquido hidrocarburantes puede ser obtenido, cuando se alimenta la biomasa en la etapa de reacción a una temperatura de al menos 300ºC en presencia de agua a una presión mayor que la presión parcial de vapor de agua a la temperatura prevaleciente, es decir 170atm. *Naber (2000).Naber (2000 a*). *López (2002).*
La etapa de reacción es la más compleja dentro del proceso donde ocurre dos mecanismos fundamentales para la remoción de oxigeno los cuales son:

- Deshidratación (oxigeno que proviene del agua).

- Descarboxilación (oxigeno que proviene del dióxido de carbono). Esta reacción representa la ventaja del proceso HTU.

La reacción global que ocurre en este proceso es la siguiente:

$$\text{100kgs de madera} \longrightarrow \begin{array}{l} 0.65 \text{ mol } CO_2 \text{ (por descomposición)} \\ + 0.5 \text{ mol CO} + 0.5 \text{ mol de } CO_2 \text{ (por reducción)} \\ + 53\text{-}55 \text{ kgs de oil + cenizas + solubles en agua} \end{array}$$

La biomasa debe permanecer en esta etapa preferiblemente por un tiempo de 3-10 minutos y la relación peso de agua /biomasa es de2:1, mientras que el pH debe mantenerse por debajo de 7. Debido a la formación de ácido por unidad de productos, en la mayoría de los casos no es necesario introducir un compuesto ácido adicional. Naber (2000 a).
La corriente producto de la reacción pasa a un proceso de separación donde primero se separan los sólidos del líquido al menos con un ciclón o una serie de ciclones, existe una segunda etapa donde son separados los gases de los líquidos, la fase gaseosa contiene 7-10%v CO, 90-93%v CO_2 y trazas de metano e hidrógeno. Esta fase es despresurizada y además enfriada, principalmente para ser utilizada nuevamente en el recobrado del biodiesel.
Luego son separados los líquidos acuosos de los líquidos no acuosos. Donde una parte de los líquidos acuosos pueden ser reciclados al proceso para ser mezclados con la biomasa antes de introducirse al reactor, como se describió al inicio, aumentando la eficiencia térmica y reduciendo la energía necesaria que se necesita para calentar la biomasa alimentada con el objetivo que prevalezca la temperatura deseada en la zona de reacción, además reduce el consumo de agua y la descarga de agua residual.
La otra parte de los líquidos acuosos que no son reciclados se le puede realizar una purificación biológica, que puede ser una digestión aeróbica o anaeróbica; si se realiza una digestión anaeróbica se obtiene biogás, el cual puede ser combustionado en otros procesos. *Naber (2000). López (2002).*

Resultados y Discusión.

En la tabla I se muestran las características de la materia prima que se utiliza en la tecnología actual y la propuesta, la cual se encuentra dentro de los parámetros establecidos para este proceso.

Tabla I: Caracterización de las materias primas.

elementos	% peso **madera**	% peso **Bagazo** *(materia prima propuesta)*
C	48	47
H	6	6.5
O	45.5	44
N	0.5	2.5

.

Tabla II: Liquefacción de la madera.

Agua (ml)	Tipo de catálisis Na_2CO_3 (g)	Presión (atm)	Rendimiento de oil (%)	Conversión (%)
100	1	100.37	60	99.6
100	2.5	98.4	55	99.8
100	5	97.5	55	99
50	2.5	97.5	41	90

En la tabla II se muestran los resultados de un diseño de experimento realizado en el Institut für technische Chemie CPV Germany utilizando la madera como materia prima obteniendo resultados satisfactorios en el rendimiento de combustible y la conversión de la reacción.
Como se puede observar el por ciento de conversión en todos los casos es elevado y el rendimiento de oil se encuentra por encima de 50 % cuando se utiliza la relación de agua/biomasa mayor .Se espera que al utilizar el bagazo este produzca un efecto similar ya que las características de la alimentación son semejantes. Un factor importante para el rendimiento del proceso es el contenido de oxigeno que tenga presente la biomasa, mientras más elevado sea este, podrá descarboxilarse con eficiencia sin necesidad de adicionar hidrogeno.

Tabla III: Resumen de las propiedades de oil crudo en Albany.

	Diseño básico	Producto final
Gravedad especifica	1.1	1.11
Viscosidad	515 cp a 140ºC	135 cp a 210ºC
Valor calórico	13.390 BTU/lb (calculado)	14.84 BTU/lb (medido)
C	72.62	78.9
H	7.05	8.51
N	0.13	0.5
S	0.14	0.08
O	20.05	12.03

En la tabla III se muestra los resultados obtenidos en Albany donde son comparados con los predichos dando valores favorables en la calidad del producto final.
El biodiesel quema perfectamente, no requiriendo ningún tipo de modificación en motores existentes pudiendo alimentarse alternativamente con este o combustible diesel o la mezcla de ambos. Esta es una diferencia importante respecto de otras experiencias de sustitución de combustibles como la brasileña con el etanol, donde era necesario efectuar en los motores modificaciones irreversibles.
El empleo de este producto aumenta la vida de los motores debido a que posee un poder lubricante mayor mientras el consumo de combustible además la auto ignición, la potencia y el torque del motor permanecen inalterados.
Hoy en Europa varios centenares de miles de toneladas del mismo se producen y vuelcan en el mercado consumidor. La especificación del producto fue acordada, emitida y aprobada por todos los gobiernos de la Comunidad Económica Europea. Los principales países productores son: Alemania, Francia, Italia, Bélgica y Austria. Hoy en día este combustible no es una alternativa experimental es una realidad en el mercado europeo. *Larrosa (2001).*

Impacto ambiental del biocombustible

El biodiesel, obtenido a partir de materias primas renovables, es un combustible líquido no contaminante y biodegradable, que se puede utilizar en el sector del transporte urbano, minero, agrícola y marino, así como en calderas de calefacción, incorporándolo directamente o mezclado con gasóleo. Desde el punto de vista de la inflamabilidad y toxicidad, es más seguro que el gas-oil proveniente del petróleo, no es peligroso para el ambiente y es biodegradable.
El biocombustible líquido, presenta ventajas energéticas, medioambientales y económicas las cuales son mencionadas a continuación:

- Desarrollo sostenible tanto en agricultura como en energía.
  Menor impacto ambiental: Reducción de las emisiones contaminantes:

[1] el Dióxido de azufre (SO2) en este caso no se produce emisión de dióxido de azufre por cuanto el biodiesel no contiene azufre. El dióxido de azufre es nocivo para la salud humana así como para la vegetación.

[2] la emisión del material particulado se reduce del 65% respecto del combustible diesel. Las partículas finas son nocivas para la salud., también reduce el humos visibles.

[3] Reduce hidrocarburos y no contiene productos aromáticos (benceno y derivados) siendo conocida la elevada toxicidad de los mismos para la salud.

[4] Se plantea que la emisión del Monóxido de carbono (CO) durante la combustión del biodiesel en motores diesel es del orden del 50% inferior (comparada con aquella que produce el mismo motor con combustible diesel) .siendo conocida la toxicidad del monóxido de carbono sobre todo en las ciudades. Además para la salud trae consigo efectos positivos, ya que reduce compuestos cancerígenos como PAH y PADH.

- Reduce el calentamiento global: del balance de dióxido de carbono (CO2): se tiene que el dióxido de carbono emitido durante la combustión del biodiesel es totalmente reabsorbido por los vegetales. Por lo tanto el biodiesel puede ser considerado un combustible renovable. Además de las emisiones de este al ambiente cumplen con el protocolo de Kyoto, teniendo un balance energético positivo (3,24:1). El ciclo de vida en CO2 decrece en 80%
- Se obtiene un producto biodegradable: Se degrada el 85 % en 28 días.
- Desarrollo local y regional: Mejora la cohesión económica y social y posibilita la creación de puestos de trabajo.
- Industrial: Puede sustituir a los gasóleos convencionales en motores, quemadores y turbinas y es utilizable en flotas de autobuses, taxis y maquinaria agrícola.
- Favorece el mercado doméstico.
- Reducción de la importación de combustibles.

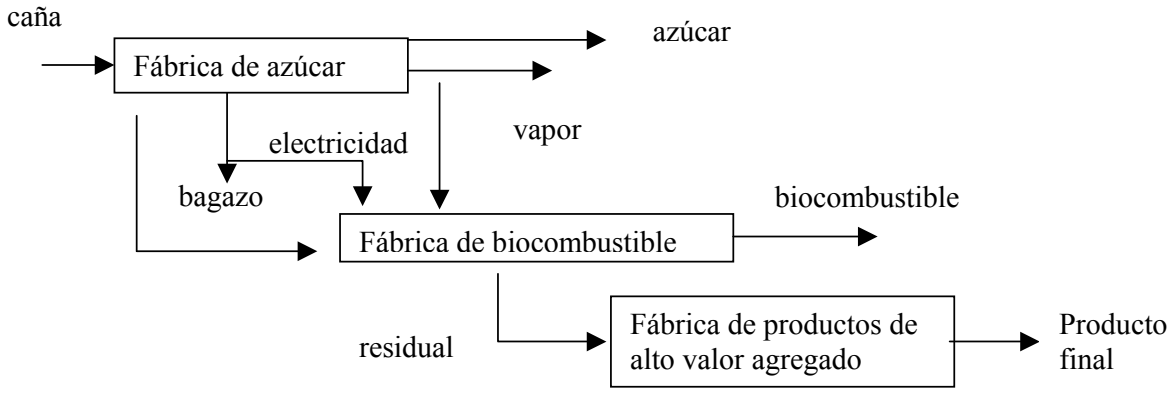
Seguridad energética, cumpliendo las Actas de la Unión Europea. EPACT (1992). ECRA (1998).

Proyección para su aplicación en Cuba:

El desarrollo potencial de la industrial a partir de la caña de azúcar, se fundamenta en las posibilidades la biomasa como fuente de energía y de productos químicos, y será económicamente factible solo mediante una sólida integración agroindustrial, pues en la evolución del uso de los subproductos nos encontramos ahora en el momento en que las producciones derivadas comienzan a integrarse estrechamente con las azucareras, de modo que pueden aprovecharse las ventajas de una y otra producción desde el punto de vista tecnológico, energético y de situaciones coyunturales del mercado azucarero donde los residuos agrícolas y efluentes industriales correctamente utilizados puedan pasar a jugar un papel importante en la competitividad de la industria de la caña de azúcar.

Es por ello que se plantea que la nueva planta de producción de biodiesel puede ser anexada a una fábrica de azúcar, donde se aprovecharía la energía eléctrica y el vapor que proviene de la misma, además el bagazo que es un residuo, se convertirá en la materia prima principal de la nueva fábrica y de las nuevas corrientes residuales se pueden obtener productos de alto valor agregado lo que contribuye a tecnologías más limpias .El esquema se muestra mediante la figura I .

Figura I. Integración de la fábrica de azúcar con una planta de obtención de biodiesel.



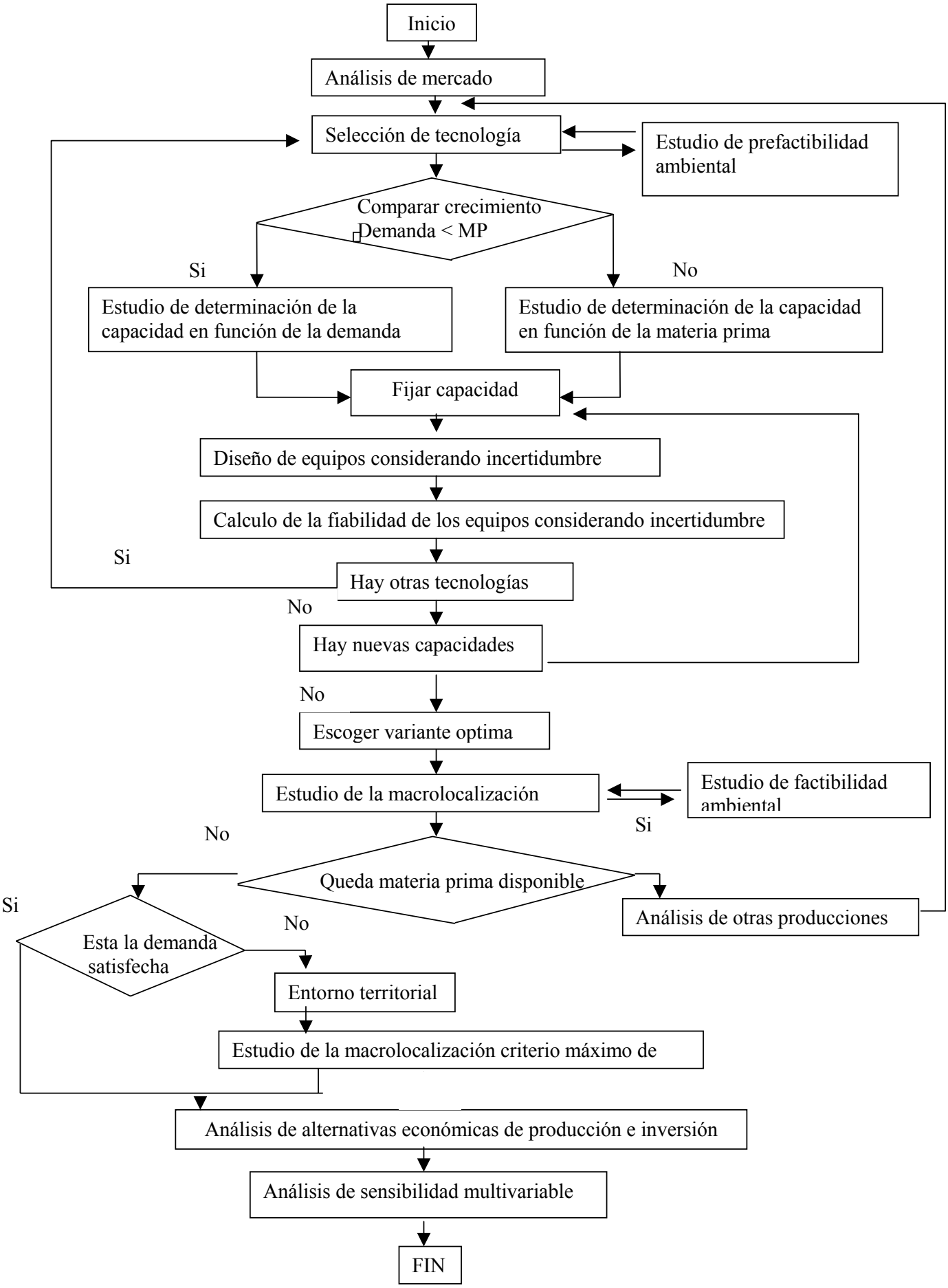
Cuando se desarrollan nuevos procesos industriales partiendo de procedimientos de laboratorio, se acrecientan las dudas en el diseño de la instalación industrial, toda vez que operaciones de manipulación de fluidos, calentamiento o separación- por citar ejemplos- se ejecutan en muchas ocasiones en el laboratorio por procedimientos impracticables industrialmente, por lo que deben proyectarse soluciones de ingeniería en el escalo industrial de estos procesos tecnológicos que necesariamente tendrán una gran incidencia en la factibilidad y viabilidad técnica, económica del proceso estudiado.
El desarrollo tecnológico de la industria química, está vinculado también a la incertidumbre y este proceso no esta exento de esto por lo que se propone la aplicación la metodología planteada por *González E. (2003)* donde se abordan las cuatros direcciones planteadas por *Rudd (1980)* las cuales son:

- Los cambios en la relación capacidad de producción instalada y demanda de productos.
- El entorno, tanto económico como ambiental.
- Los parámetros tecnológicos.
- La disponibilidad de los equipos.

Y de acuerdo con las experiencias de los últimos lustros la incertidumbre financiera.
La metodología se presenta en el esquema de la figura II .
En el caso que nos ocupa tenemos que estudiar la macrolocalización de la nueva industria considerando incertidumbre en los cambios futuros, por lo que es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La demanda del mercado y sus cambios en el futuro.
- La incertidumbre en las disponibilidades y características de las materias primas.
- Los costos de transportación de las materias primas y de productos terminados.
- Incertidumbre en los datos de diseño.
- Disponibilidades de tecnologías para este proceso.
- Incertidumbre en los niveles de las capacidades iniciales de acuerdo a las demandas del mercado, de su evolución y las incertidumbres de los parámetros financieros.
- Incertidumbre en la fiabilidad y disponibilidad de los equipos.
- Incertidumbre en el impacto ambiental.

Figura II: Metodología para disminuir la incertidumbre en el proceso


Inicio
Análisis de mercado
Selección de tecnología
Estudio de prefactibilidad ambiental
Comparar crecimiento
Demanda < MP
Si
No
Estudio de determinación de la capacidad en función de la demanda
Estudio de determinación de la capacidad en función de la materia prima
Fijar capacidad
Diseño de equipos considerando incertidumbre
Calculo de la fiabilidad de los equipos considerando incertidumbre
Si
Hay otras tecnologías
No
Hay nuevas capacidades
No
Escoger variante optima
Estudio de la macrolocalización
Estudio de factibilidad ambiental
Si
No
Queda materia prima disponible
Si
Esta la demanda satisfecha
No
Análisis de otras producciones
Entorno territorial
Estudio de la macrolocalización criterio máximo de
Análisis de alternativas económicas de producción e inversión
Análisis de sensibilidad multivariable
FIN

Conclusiones:

1) Mediante el proceso de HTU se obtiene menor cantidad de productos insaturados, se tiene menor polimerización y en los productos finales no hay una presencia considerable de oxigeno.
2) En cuanto a la tecnología se puede concluir que el proceso de HTU presenta amplias posibilidades por el carácter omnívoro de su alimentación y además la tecnología es bastante simple.
3) La principal ventaja del uso de los biocombustibles son los beneficios medioambientales que reportan, debido fundamentalmente a la disminución de los gases nocivos como el CO_2, NO y el SO_2 que son los responsables del calentamiento global y de las lluvias ácidas respectivamente
4) Debe analizarse en profundidad las posibles ventajas que brinda esta producción en la diversificación de la fábrica de azúcar ayudando a la competitividad de esta industria mediante su integración material y energética.

Fuentes de información consultadas

1) Cunninghan, R. Energía –Biomasa-Iberoamérica. Colección Energía. Subprograma IV CYTED. Buenos Aires, 2000.
2) Freel, B.and Graham R. Commercial bio-oil production via rapid thermal processing.1st World Conference on Biomass for industry. Sevilla. Spain.2000.
3) Knezevic, D. Kinetics and reactor technology for hydrothermal liquefaction.2002.www.ospt.ct.utwente.nl.
4) Larrosa, R. Breve caracterización del biodiesel así como sus principales ventajas.2001.
5) López, G.: Biodiesel: una perspectiva iberoamericana, Jornadas Iberoamericanas sobre Biocombustibles, 2002.
6) Naber et al. The process for biomass liquefaction, R & d Strategy and potential business development.2000 a.
7) Naber, J.E.; Goudriaan, F: Promising results from the on-going development of the HTU process, The Netherlands, 2000.
8) Ruyter et al. Process for producing hydrocarbon containing liquids from biomass. United states patent.1987.
9) Rudd, D.F,C.C. Watson. Strategy of Process Engineering. Ediciones revolucionarias, La Habana 1980.

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES Y AGRÍCOLAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE

CHARACTERIZATION OF INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL RESIDUES OF SUGAR CANE FOR OBTAINING BIOOIL

Juan Fernández Rodríguez[1]; José A. Pérez Hernández[1]; Osmany Pérez Sánchez[1]; Walfrido Alonso Pippo[2].

(1) UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba-9. Apartado 8. 33500. Quivicán. La Habana. Cuba.
Email: ivestig c9@enet.cu, direcc9@enet.cu
(2) Instituto de materiales y Reactivos . Calle Zapata s/n, esquina G, Municipio Plaza de la Revolución, Ciudad Habana.
Palabras claves (bagazo, residuos agrícolas de la caña, pirólisis, biocombustible)
Key words (bagasse, agricultural residues of sugar cane, pyrolysis, biooil)

RESUMEN

En Cuba-9 recientemente se ha montado una planta experimental para la realización de investigaciones relacionadas con la obtención de biocombustible a partir de biomasa vegetal. Esta planta con una capacidad de 10 kg/h se fundamenta en la pirólisis rápida de la biomasa a través de un reactor de lecho fluidizado y la condensación de los vapores en un intercambiador de calor enfriado por agua.

El biocombustible se puede producir en esta planta a partir de distintos tipos de biomasa como los recursos forestales, especialmente árboles de rápido crecimiento y altos rendimientos de biomasa por hectárea sembrada (fuente primaria) o el aserrín, las hojas de los árboles y los residuos agrícolas, industriales y urbanos de origen orgánico (fuente secundaria).

Existen una serie de residuos derivados de las producciones con biomasa cañera que por sus propiedades químicas y físicas pueden ser empleados como materia prima para la obtención de biocombustible. Dichos materiales como el bagazo, la paja, la médula, el polvo de tableros y la celolignina van a estar caracterizados por presentar bajas densidades de bulto en su forma molida y por ser empleados directamente como combustibles sólidos, como componente del alimento animal o en otras producciones de derivados que van a competir en cuanto a su disponibilidad y consumo para la producción de biocombustible.

La paja de los centros de limpieza y el bagazo, especialmente el obtenido de caña energética, son los residuos de origen cañero que mayores potencialidades tienen para ser usados como materia prima en la producción de biocombustible.

ABSTRACT

In Cuba-9, recently, an experimental pilot plant has been erected for conducting researches related with the production of biooil from vegetable biomass. This pilot plant with a capacity of 10 kg/h is based on the quick pyrolysis of the biomass through a reactor of bubling fluidized bed and the condensation of the vapors in a heat exchanger cooled by water.

The biooil can be produced in this pilot plant from different types of biomass like the forest resources, especially trees of quick growth and high yields of biomass per sowed hectare (primary source) or the sawdust, the leaves of the trees and the agricultural, industrial and urban residuals of organic origin (secondary source).

Several residues coming from the productions of cane sugar or other by-products have appropriate chemical and physical properties for being used as raw materials in the production of biooil. These materials, like the bagasse, the straw, the pith, the powder of boards and the solid lignocellulosic wastes from the production of furfural, are characterized for presenting low bundle densities in their milled forms and to be directly used as solid fuels, as component of the animal food or in other productions of sugarcane derivatives that may compete with biooil production by taking into account their readiness and consumption.

The residual of the cleaning centers and the bagasse, especially that one obtained from energetic cane, are the sugarcane residuals that have bigger potentialities of being used as raw material in biocombustible production.

Introducción.

La biomasa se ha identificado por mucho tiempo como una fuente sustentable alternativa de energía renovable (Yan, 1997). Los combustibles biológicos, también llamados biocombustibles, son muy complejos y se producen a partir de distintos tipos de biomasa como los recursos forestales, especialmente árboles de rápido crecimiento y altos rendimientos de biomasa por hectárea sembrada (fuente primaria) o el aserrín, las hojas de los árboles y los residuos agrícolas, industriales y urbanos de origen orgánico (fuente secundaria).

Dentro de las ventajas de los combustibles de biomasa se encuentran la utilización de materias primas renovables, su bajo impacto al cambio climático ya que la energía a partir de biomasa es la única fuente neutra en dióxido de carbono, su versatilidad en cuanto a su comercialización y uso, por cuanto se puede producir un sólido como el carbón, un gas que se puede quemar o un líquido que se puede almacenar (PNUD, 2002); sin embargo la rápida difusión e implementación de esta tecnología ha chocado con importantes obstáculos como son las limitaciones técnicas del propio proceso de obtención del biocombustible, la falta de grandes disponibilidades de tierra para la producción de biomasa, evitando la competencia con la destinada a la producción de alimentos y los relativos altos costos de los biocombustibles y combustibles sintéticos.

En Cuba, en los últimos años, se han venido desarrollando investigaciones en esta temática, para lo cual se ha montado una planta experimental demostrativa en Cuba-9, diseñada por especialistas del IMRE, que tiene como objeto de estudio, principalmente, la conversión de la biomasa cañera en biocombustible y combustible sintético, por medio de procesos termolíticos, a través de un reactor de lecho fluidizado (Del Rey, 2002).

La caña de azúcar, produce mayores rendimientos que otras gramíneas, en términos de materia seca (biomasa) y se estima que un cañaveral de bajo rendimiento (43 t/ha/a) es capaz de generar 15.5 t/ha/a de materia seca (ICIDCA, 1986), mientras que por otra parte, se cuenta en el país con variedades de caña energética que constituyen verdaderos bosques capaces de producir entre 80 y 150 t/a de biomasa, cuyo contenido de fibra máximo oscila entre 20 y 25 % (Pérez, 2002).

El objetivo de este trabajo es caracterizar las materias primas derivadas de la caña de azúcar, que pueden ser empleadas para la producción de biocombustible en la planta experimental Cuba-9. Dicha caracterización se basa en la determinación de los principales análisis químicos y físicos y en un estudio preliminar de disponibilidades de estos materiales.

Materiales y métodos.

Se analizan como materias primas los desechos primarios de la caña (los residuos agrícolas, el bagazo y el meollo), la celolignina como residuo sólido de la producción de furfural a partir del bagazo, el polvo de la producción de tableros de bagazo y otros materiales de origen no cañero como el aserrín y el polvo de celulosa.

Se emplearon residuos agrícolas de la caña (RAC) proveniente del centro de acopio del CAI Pablo Noriega, tomándose una muestra representativa, la cual se secó en estufa a 105 ºC hasta contenido de humedad por debajo del 5 %, y luego se desfibró en un molino de cuchillas y seguidamente se molió en un molino de dientes de planta piloto hasta obtener un material con estructura en forma de polvo.

Se utilizó bagazo desmedulado almacenado a granel durante 8 meses, proveniente del CAI Pablo Noriega, de la zafra 2001-2002, en la que fundamentalmente se procesó caña verde de las variedades Ja 60-5, B 77-418, CP 5243, C 120-85. Se tomaron 200 kg de este bagazo y se extendieron sobre un polietileno negro en un área de 20 m^2 formando un colchón el cual se impregnó con una solución de HCl diluida al 3 % por medio de una regadera y se dejó escurrir y secar al sol durante 72 h para evitar la presencia de líquido sobrenadante, luego se trasladó a bandejas y se secó en un secador de bandejas a la temperatura de 140 ºC, ocurriendo una reacción hidrolítica parcial del ácido con las hemicelulosas y las cadenas de celulosa. Después de alcanzar una humedad por debajo de 5 %, el bagazo se pulverizó en un molino de discos de planta piloto y después se dejó reposar en el ambiente hasta alcanzar su humedad de equilibrio.

Se utilizó la médula obtenida a partir del desmedulado del bagazo en los desmeduladores "CARIBE" del CAI Pablo Noriega. Este material con un 40 % de humedad se colocó en una bandeja de acero inoxidable y se dejó secar a temperatura ambiente hasta alcanzar la humedad de equilibrio, posteriormente se pasó por un tamiz No. 12 para eliminar la fracción fibrosa de mayor tamaño.

La celolignina es el residuo fibroso que se obtiene en la producción de furfural a partir de bagazo en la planta de Amancio Rodríguez en Las Tunas. Este residuo representa el 70-80 % de la materia prima que se alimenta al proceso y por sus características se puede emplear como combustible directo o en la obtención de productos que todavía no se han desarrollado comercialmente en nuestro país. Este material se clasificó a través de un tamiz No. 12, después de secarse en estufa a 105 ºC.

El polvo de tableros es el residuo que queda como remanente de las operaciones de corte y lijado de los productos aglomerados en las plantas de producción de tableros y el mismo está constituido fundamentalmente por material lignocelulósico y por pequeñas cantidades de resinas aglutinantes como la urea-formaldehido y el fenol- formaldehido adherida a las fibras. Ocasionalmente este residuo se ha venido utilizando en la industria de electrodos de soldadura eléctrica en Cuba. Este material se trajo de la fábrica de tableros "Primadera" de Cienfuegos en el 2000 y se utilizó tal cual vino.

El aserrín es un subproducto que se obtiene en forma granular al cortar los bolos de madera en los aserríos. En Cuba, debido a que las reservas maderables no son tan altas como en otros países productores de madera, no se dispone de grandes volúmenes de este residuo y por otra parte, los aserríos están dispersos por toda la Isla. Este residuo se usa fundamentalmente para quemarlo directamente en fogones rústicos de empresas y entidades rurales cercanas a la fuente de suministro de aserrín, así como para sanear suelos húmedos y como absorbente de la humedad en la depuración de los gases. Se utilizó aserrín del aserrío de Viñales en Pinar del Río, colectado en el 2002. Para mejorar su granulometría se clasificó a través de un tamiz No. 12.

El polvo de celulosa se obtuvo mediante la desintegración en húmedo de papeles de desecho en presencia de un agente surfactante y luego de secado, se pulverizó en molino de bolas comercial.

Ensayos y normas aplicadas.

En la determinación de las propiedades químicas y físicas se aplicaron las normas TAPPI (TAPPI, 1982), reconocidas internacionalmente y las normas ISO (ISO, 1999). En un equipo de análisis químico elemental (Eager 200), por el método ESTRUCTU, se determinaron los contenidos de cada elemento, mientras que en la determinación del pH se utilizó el método potenciométrico, realizando las mediciones del mismo al extracto filtrado después de dispersar 2 gramos de la muestra en 100 ml de agua destilada. Los análisis termogravimétricos se realizaron en una termobalanza METTLER TG50 que mide de forma continua el peso del material carbonizado, en presencia de nitrógeno (5 L/h), dentro de un horno. Estas mediciones se hicieron en el rango de temperatura comprendido entre 27 y 500 ºC, con una velocidad de calentamiento de 10 ºC/min.

En la determinación del poder calórico (VCB) se empleó el método analítico. Para el caso de los (RAC) y el bagazo se usó la expresión siguiente:

VCB= 4250 – 4850 (H) en kcal/kg (ICIDCA, 1986)
Donde H representa la fracción de humedad del material.

Para el caso de la médula se empleó la expresión:

VCB= 4076 46.8 H en kcal/kg. (ICIDCA, 1986)
Donde H representa el porcentaje (tanto por ciento) del material.

En el caso del polvo de celulosa se empleó una expresión para combustibles sólidos y líquidos que contempla el análisis elemental del material (Comisión Nacional de Energía, 1982):

VCB= 8100 C + 34200 (H – O/8) – 2500 S – 5400 H en kcal/kg.
Donde: C= Carbon; O= Oxígeno; H= Hidrógeno; S= Azufre.

En el caso del polvo de tablero y del aserrín se determinaron sus valores calóricos por medio de tablas (Comisión Nacional de Energía, 1982)

Resultados y discusión.

Durante la cosecha de la caña para el proceso tecnológico de producción de azúcar, tal como se muestra en la tabla I, se obtiene una serie de desechos o residuos, los cuales tienen distintas aplicaciones que van a competir con su utilización para la producción de biocombustible.

Tabla I. Desechos obtenidos por cada 100 t de caña molida (ICIDCA, 1986).

Desecho	Cantidad (t)	Usos
Cogollo	18.4	Energía, alimento animal, furfural, proteína unicelular y alcohol
Hojas y paja	42.9	
Cachaza 77 % de humedad	3.4	Fertilizante orgánico
Bagazo 50 % de humedad	27.5	Energía, Papel, tableros, furfural

Como puede apreciarse en la tabla II los materiales de origen vegetal están constituidos mayoritariamente por tres polímeros naturales (ligninina, celulosa y hemicelulosas) y en grado mucho menor por materias extrañas orgánicas como ceras, gomas, mucílagos, etc., representadas por los extractivos en alcohol benceno, así como por materias inorgánicas que se corresponden con las cenizas. En el aserrín y el polvo de celulosa las hemicelulosas fundamentales son las hexosanas y por lo tanto no se reportan las pentosanas en dicha tabla. Puede observarse que todos los materiales a partir de biomasa cañera presentan menor contenido de lignina y de celulosa que el aserrín, pero éstos a su vez tienen un mayor contenido de cenizas. Los mayores valores de cenizas aparecen en el polvo de tablero debido a que durante el proceso de acabado superficial del tablero se desprende sílice de los granos de lija. Debe notarse que tanto en la celolignina como en el bagazo hidrolizado, debido al tratamiento con ácido, se produce una reducción del contenido inicial de pentosanas, lo cual trae como consecuencia que se produzca un incremento relativo del contenido de lignina de dichos materiales, incrementándose también los extractivos y la solubilidad en sosa de los mismos.

Tabla II. Análisis químico de las materias primas.

Materia prima	Lignina (%)	Celulosa (%)	Pentosanas (%)	Extractivos (%)	Sol. Sosa 1 % (%)	Cenizas (%)
(RAC) molido	20.33	42.19	21.8	6.24	48.0	5.65
Bagazo hidrolizado	26.87	48.28	12.1	10.14	40.0	4.71
Médula	22.83	41.59	24.4	4.97	36.5	6.03
Celolignina	51.87	41.04	-	21.22	49.6	8.68
Polvo tablero	21.30	44.00	24.1	5.20	40.3	9.67
Aserrín	27.30	52.69	-	6.96	15.1	0.14
Polvo de celulosa	0.64	97.0	-	0.55	-	0.83

El análisis elemental de las muestras revela que los materiales de origen maderable, como el aserrín y el polvo de celulosa, presentan menor contenido de carbono que la biomasa de origen cañero, pero ocurre lo contrario con relación a los contenidos de oxígeno, según se observa en la tabla III. Igualmente se aprecia que la relación entre el carbono y el hidrógeno es ligeramente menor en los materiales maderables.

Tabla III. Análisis químico elemental de las materias primas.

Materia prima	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Oxígeno (%)	Nitrógeno (%)	Azufre (%)	Relación C/H
Bagazo hidrolizado	47.4	7.2	40.69	0	0	6.58
(RAC) molido	46.0	6.6	41.7	0	0	6.96
Aserrín	38.6	7.3	53.9	0.1	0	5.28
Polvo de celulosa	42.46	6.73	50	0	0	6.31

En la tabla IV se reportan las propiedades físicas de la biomasa. En el caso del pH, deberá tenerse en cuenta su control para evitar posibles problemas de corrosión durante la manipulación de la biomasa. Una característica importante de estos materiales lignocelulósicos es que presentan baja densidad de bulto, por lo que resultan muy voluminosos, lo cual debe ser considerado en su transportación y en el diseño de los equipos de manipulación. Si tenemos en cuenta la cantidad de energía que se desprende durante la combustión, expresada en términos del valor calórico bajo (VCB) reportado, se puede apreciar que el polvo de tablero y la médula presentan el mayor poder calórico. En general todos estos materiales tienen una alta potencialidad de utilizarse directamente como combustibles sólidos y de hecho, el bagazo y la médula, tradicionalmente, se vienen empleando como sustituto del petróleo en la generación de vapor en la industria azucarera, de manera que esta es una situación que no puede soslayarse a la hora de disponer de esta biomasa para la obtención de biocombustible, sin embargo cuando se tienen en cuenta las ventajas de esta nueva tecnología mediante la cual, en atmósfera inerte, se logra convertir más del 60 % de la biomasa en combustible líquido, resulta evidente la necesidad de buscarle soluciones concretas a la disponibilidad, accesibilidad y costo de la biomasa cañera para cumplimentar este objetivo. Los mayores contenidos de cenizas, por orden, se presentan en el polvo de tablero, la celolignina y la médula, lo cual constituye una desventaja, ya que una parte importante de las mismas serán arrastradas por la corriente de gases y se incorporarán al biocombustible.

Tabla IV. Análisis físicos de las materias primas.

Propiedades Materia prima	Densidad aparente (Kg/m^3)	Cenizas (%)	pH	Humedad (%)	VCB Kcal/kg
(RAC) molido	180	5.65	7.1	9.85	3772
Bagazo hidrolizado	204	4.71	4.82	9.08	3810
Médula	121	6.03	6.91	10.63	4071
Celolignina	165	8.68	5.68	7.7	-
Polvo tablero	442	9.67	9.75	7.9	4200
Aserrín	226	0.14	6.86	11.01	3500
Polvo de celulosa	190	0.83	7.9	6.7	3240

La granulometría de la biomasa utilizada en la planta experimental de Cuba-9 para la obtención de biocombustible y combustible sintético debe tener una estructura de forma granular o de polvo, con el fin de garantizar una adecuada fluidez del material en el interior de la tolva y del sistema de alimentación de biomasa, sin embargo no se requiere una finura extrema del material como la del polvo de celulosa y la del polvo de tableros, los cuales, debido a fuerzas de cohesión, tienden a empaquetarse en la parte cónica de la tolva de suministro de biomasa, ocasionando intermitencia en el flujo de alimentación y problemas de operación de la planta. Como se observa en la tabla V, los materiales de biomasa cañera presentan una granulometría muy parecida en su fracción gruesa (retenidos en los tamices 0.160 y 0.100 mm), pero presentan diferencias en su contenido de finos

(retenido en el tamiz 0.040 mm y en el fondo), siendo el bagazo hidrolizado y la celolignina los de mayores contenidos de finos, lo cual puede ocasionar pérdidas de biomasa por fugas al medio ambiente durante su manipulación. Por otra parte el aserrín presenta una estructura granular muy grosera y homogénea, prácticamente sin finos y muy cómoda de manipular. Desde el punto de vista de su conversión a biocombustible la biomasa de menor tamaño de partícula tiene una pirólisis más instantánea y homogénea, pero también resulta más costosa su pulverización debido a los gastos energéticos durante la molida.

Tabla V. Granulometría de las materias primas (porcentajes retenidos en los tamices)

Tamices Materia prima	0.160 mm (%)	0.100 mm (%)	0.080 mm (%)	0.063 mm (%)	0.040 mm (%)	Fondo (%)
(RAC)	78.0	12.6	3.6	0.4	0.2	5.0
Bagazo	73.9	12.2	3.5	0.63	2.52	7.14
Médula	66.52	20.0	6.3	1.1	3.0	3.0
Celolignina	74.3	11.6	3.7	1.65	1.65	7.0
Polvo tablero	1.4	4.0	17.0	19.4	36.0	22.2
Aserrín	88.6	5.0	1.8	0.4	1.6	0.6
Polvo de celulosa	1.1	12.7	27.2	42.5	57.5	15.36

Está claro que el costo de la materia prima para una planta de este tipo, está en función de los gastos en que se incurran en su manipulación, transportación y preparación, por lo tanto la fuente de estas materias primas debe ser desechos o residuos baratos de procesos industriales, o en su defecto, materiales obtenidos a partir de desechos aplicando tecnologías muy sencillas y económicas. En este sentido, los materiales que han sido objeto de este estudio cumplen esta primera premisa, sin embargo existen otras limitantes cuando se analizan con más detalles.

En el caso de los RAC que quedan esparcidos en el campo, cuya cuantía se estima en 134 t por cada 100 t de azúcar que llegan al central (ICIDCA, 2000), aun no se le han dado soluciones técnico-económicas definitivas que puedan avalar su empleo masivo para distintos fines, debido a problema relacionados con su recolección, transportación, almacenamiento y procesamiento tecnológico.

La utilización de los residuos de los centros de limpieza de la caña es más factible, ya que estas estaciones están diseñadas para que los mismos sean expulsados por la boca de los ventiladores de limpieza, pudiendo ser acopiados en un lugar determinado, sin embargo estos residuos presentan un carácter heterogéneo al estar constituidos por componentes muy variados como la paja, las hojas secas, el cogollo, pequeños trozos de caña y otros elementos extraños, lo cual dificulta su molida.

Al considerar que en estos centros de limpieza se procesa, fundamentalmente, la caña procedente del corte mecanizado y que el mismo en el país se puede estimar en el orden del 80 % de toda la caña cortada, entonces para una zafra de 3000000 t de azúcar que requiere 24000000 t de caña a moler, pasarán por las estaciones de limpieza de todo el país 19200000 t de caña. En estas instalaciones, el índice de generación de RAC es de 51 kg por cada tonelada de caña procesada (ICIDCA, 2000), por lo que la disponibilidad general de RAC será de 979200 t (a una sequedad del 65 %), lo que significa 636480 t (base seca)

Hasta hace unos pocos años, en Cuba existían más de 900 estaciones de limpieza. Considerando a estos centros de acopio como instalaciones tipos nominales de 680 t/d de caña procesada, en ellas se pueden generar 34.68 t/d de RAC (ICIDCA, 2000), lo que demuestra que a pesar de existir una

cantidad apreciable de este material el mismo se encuentra disperso y la intención de acopiarlo para concentrarlo conllevaría a gastos de transportación. Por otra parte, la tecnología de trituración y molida de esta materia prima no se ha optimizado en cuanto a productividad, granulometría del producto y consumos energéticos, aunque ya se cuenta en el país con un procedimiento apropiado para la utilización de estos desechos con fines energéticos.

La industria de productos aglomerados del país está actualmente deprimida, comparada con sus potencialidades instaladas hace más de 10 años. Están en servicio tres plantas de tableros, una de 75000 m^3 de capacidad y las otras dos de 45000 m^3 cada una. La generación de polvo de tablero en estas plantas es de alrededor del 1 % del volumen de tableros producidos, pudiéndose recuperar solamente el 90 % de la cantidad generada, lo cual, teniendo en cuenta que el polvo de tablero tiene una densidad de 442 kg/m^3 y una humedad de 7.9 %, representa una disponibilidad potencial de 604 t/a. En los momentos actuales el volumen de producción de tableros en el país no rebasa los 20000 m^3 debido a diversos problemas, por lo que la disponibilidad real de este desecho industrial es solamente de 73.2 t/a.

Con relación al bagazo, se estima que teóricamente se generan 3300000 t (base seca) de este residuo en una zafra de 3000000 t de azúcar. En la actual coyuntura económica del país la política que se viene siguiendo es la de sustituir todo el petróleo posible mediante la combustión del bagazo en los hornos de las calderas de los centrales azucareros para la producción de energía, sin embargo en los centrales que están asociados al desarrollo del programa de diversificación de la industria de los derivados de la caña de azúcar debe considerarse la entrega de esta materia prima a cada planta consumidora de la misma, bajo el concepto de bagazo sobrante, el cual puede obtenerse introduciendo esquemas energéticos de alta eficiencia en las fábricas de azúcar, con lo cual se lograría disponibilidades mínimas de un 30 % de bagazo sobrante (990000 t base seca). En las condiciones actuales se estima que se está produciendo 5 % de bagazo sobrante (Molina, R, 2002), lo cual representa disponibilidades de 165000 t (base seca).

En Cuba existen alrededor de 24 centrales, que producen en total 1203303 t de bagazo (base seca) por zafra, tributando a la producción de diferentes tipos de derivados de la caña de azúcar un 5 % de esta cifra, lo que representa 60165.15 t (base seca). Estas plantas de derivados utilizan bagazo desmedulado generando un 35 % de médula del bagazo procesado, lo cual representa una disponibilidad de 21058 t (base seca) de este desecho utilizado básicamente para la producción de diferentes tipos de alimento animal.

Para la producción de furfural el país cuenta con una planta en el Complejo Azucarero Amancio Rodríguez que posee tres digestores discontinuos de 5 t de bagazo (50 % humedad). Esta planta no tiene un programa de trabajo definido y sus producciones son muy esporádicas. Considerando que una planta tipo produce unas 5000 t/a de furfural, entonces para el índice de consumo que tiene la planta de Amancio que es de 30 t de bagazo (50 % humedad)/ t de furfural se requerirán 75000 t de bagazo (base seca)/a y se podría generar el 75 % de celoligna, la cual representa 56250 t (base seca) de este desecho, que ajustado a una efectividad operacional del 70 % de la fábrica quedaría en 39375 t/a. En realidad este tipo de producción es muy inestable, por lo que las disponibilidades de este desecho, en las condiciones actuales, serían muy inseguras.

Con relación al aserrín y al polvo de celulosa no se cuenta con información sobre sus disponibilidades. Como puede apreciarse en la tabla 7 las mayores disponibilidades de materia prima corresponden a los residuos agrícolas y al bagazo, siendo este último el que más seguridad ofrece por su disponibilidad y accesibilidad para ser empleado en la producción de biocombustible.

TablaVI. Disponibilidades de la materia prima.

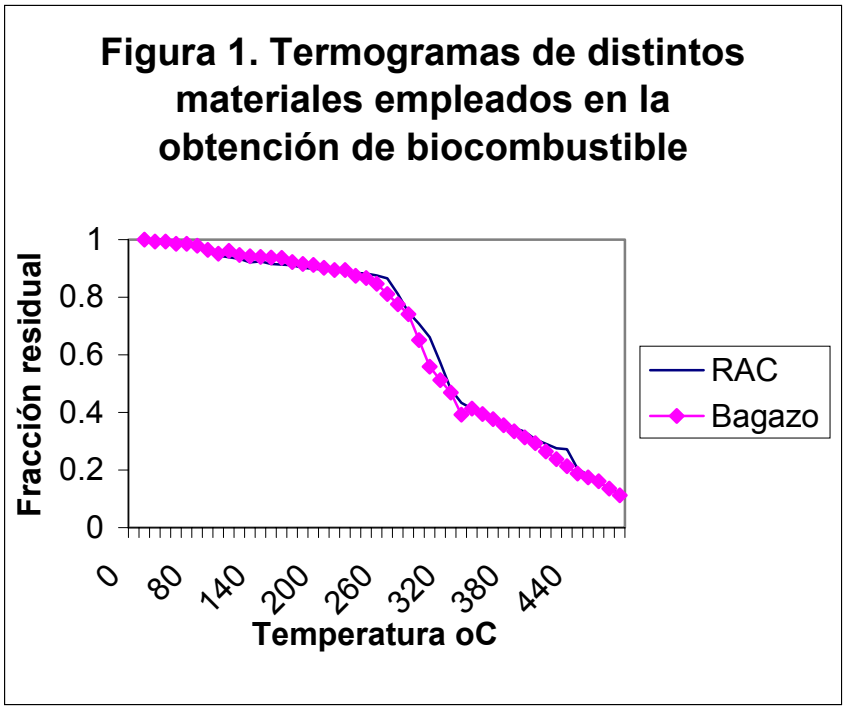
Materia prima	Disponibilidad (t/a) base seca
(RAC) centros de acopio	636480
Bagazo	165000
Médula	21058
Celolignina	39375
Polvo tablero	73.2
Aserrín	-
Polvo de celulosa	-

La propuesta de plantas industriales para la producción de biocombustible a partir de biomasa cañera es que las mismas deben ser modulares y cada módulo debe tener una capacidad de procesamiento igual al volumen disponible de materia prima en centrales de menor capacidad. La menor disponibilidad de biomasa total, entre los centrales seleccionados es de 68000 t/a (Base húmeda), que representan 38000 t/a (Base seca) de bagazo y de RAC, por lo que cada módulo deberá tener una capacidad de consumo diario de unas 112 toneladas de biomasa seca para un plan de 330 días laborables al año y una conversión a biocombustible bruto del 60 % (Del Rey, y Alonso, 2002a). Como se observa en la tabla VI las disponibilidades actuales de biomasa cañera son muy escasas como para instalar en el país varias plantas de biocombustible, por lo que se requiere que el organismo competente propicie la modernización de las instalaciones para hacer más eficiente la combustión del bagazo en los Centrales, con el fin de obtener mayor cantidad de bagazo sobrante y decida en su política energética que parte del mismo será destinado a la producción de biocombustible.

En la figura 1 se representan los termogramas de los dos residuos de biomasa cañera de mayores disponibilidades. Estos termogramas son útiles para estudiar el comportamiento de cualquier proceso termolítico en el cual está involucrado un cambio en el peso del material y son frecuentemente usados en investigaciones de la pirólisis de distintos polímeros. En el caso particular de estos materiales que tienen como origen la biomasa vegetal, su comportamiento ante la descomposición termolítica va a estar regido, fundamentalmente, por sus características químicas, teniendo en cuenta que en su composición se incluyen polímeros naturales como la lignina, la celulosa y las hemicelulosas.

Como se aprecia en la figura 1, la degradación térmica ocurre por pasos o escalones, apareciendo en las curvas típicas de estos gráficos deflexiones que se corresponden con el inicio de la temperatura de descomposición. En el rango de temperatura ambiente (27 ºC) a 200 ºC ocurre la deshidratación y la separación de componentes volátiles, mientras que a partir de los 200 ºC comienza un proceso de degradación térmica de la cadena polimérica, dado por un decremento más acentuado de la masa residual, donde las hemicelulosas y la celulosa se degradan a mayor velocidad que la lignina (Alonso, 2002). Se puede observar que los termogramas de los RAC y del bagazo son parecidos, existiendo una ligera diferencia en el rango de temperatura comprendido entre los 260 ºC y los 320 ºC donde la curva correspondiente al bagazo presenta cantidades menores de la fracción sólida residual, probablemente asociada a un menor tamaño de partículas. La máxima variación de masa por incremento de temperatura se logra a los 290 ºC para el caso del bagazo y a los 310 ºC para los RAC. En el rango de temperatura entre 450 y 500 ºC la degradación termolítica de estos materiales se va acercando a su completamiento y de hecho este es el rango de temperatura de operación que debe alcanzarse en el lecho fluidizado de la planta de biocombustible

de Cuba-9 para llevar a cabo la pirólisis rápida de la biomasa, resultando equivalente a la temperatura utilizada en otras instalaciones similares (Johnson, 2002).



Conclusiones.

Existen una serie de residuos o desechos derivados de las producciones con biomasa cañera que por sus propiedades químicas y físicas pueden ser empleados como materia prima para la obtención de biocombustible. Dichos materiales van a estar caracterizados por presentar bajas densidades de bulto en su forma granular o de polvo y por ser empleados directamente como combustibles sólidos, como componente del alimento animal o en otras producciones de derivados que van a competir en cuanto a su consumo.

Las mejores opciones en cuanto a disponibilidades de materia prima le corresponden a los residuos agrícolas de estaciones de limpieza y al bagazo, siendo este último el que más seguridad ofrece por su disponibilidad y accesibilidad para ser empleado en la producción de biocombustible, aunque ya se cuenta en el país con la tecnología para densificar y moler los residuos de los centros de limpieza.

El comportamiento intrínsico de los RAC y del bagazo es parecido durante el proceso de pirólisis, existiendo pequeñas diferencias en el rango de temperatura comprendido entre los 260 ºC y los 320 ºC donde la curva correspondiente al bagazo presenta cantidades menores de la fracción sólida residual, atribuidas fundamentalmente a un menor tamaño de partículas.

La máxima variación de masa por incremento de temperatura se logra a los 290 ºC para el caso del bagazo y a los 310 ºC para los RAC, resultando el rango de temperatura entre 450 y 500 ºC como la temperatura de operación para la obtención de biocombustible a partir de estos materiales.

Referencias.

Alonso, w., Del Rey, J. (2002).Pirólisis de la biomasa cañera: Oportunidad y reto tecnológico. Tomo II. Memorias Diversificación 2002. pp 118-120.

Comisión Nacional de Energía.(1982) Sistemas de generación y distribución de vapor.96 Pág.

Del Rey, J.; Alonso, W. (2002). Obtención de combustibles líquidos a partir de biomasa cañera**.** II Taller Internacional de Energía Solar. La Habana.2002.

Del Rey, J.; Alonso, W. (2002). Estudio de prefactibilidad del empleo de la tecnología de biocombustible a nivel industrial. Informe al CITMA. Contrato 06.30.60/.

ICIDCA. (1986). La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar. Editorial Científico Técnica. La Habana.

ICIDCA. (2000). La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar. 3ra Edición. Editorial Científico Técnica. La Habana. p 60.

ISO. (1999) Paper, board and pulps. ISO Standards Handbook. Second Edition. Printed in France. 740 pag.

Johnson, W.L.(2002). Bio-oil from bagasse. 3rd Annual World Sugar Co-products Conference. Bangkok, October 7-8. 2002.

Molina, R. (2002) Programa estratégico de desarrollo de los derivados del bagazo hasta el 2010.Informe interno. UIP Cuba-9.2002.

Pérez, M., Abril, A., Pérez, D. (2002). Empleo de Variedades de Caña de Azúcar con Alto Contenido de Fibra para la Producción de Derivados y la Generación de Energía. Tomo I. Memorias Diversificación 2002. pp 118-120.

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (2002). Los combustibles de biomasa y el futuro. http:// www. undp.org/ gef/new/ccinfo.htlm. Disponible en Internet (febrero 2002).

TAPPI. (1982). LOOSE LEAF DATA. TAPPI PRESS.

Yan J., Alvorls P., Eidensten L and Svedberg G. (1997). “A future for biomass”, Mechanical Engineering, Vol. 119/No.10, Oct.1997, pp 94-96.

DETERMINACIÓN CONDUCTIMÉTRICA DE HUMEDAD EN ETANOL

CONDUCTIMETRIC DETERMINATION OF MOISTURE IN ETHANOL

Rafael Cañete Aguilera, Mabel Viñals Verde, Ivis Morales Pérez y Mabel Pons Sotolongo.

ICIDCA, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
Via Blanca 804 , Ciudad de la Habana. Cuba.
Fax : (537) 33 82 36. E-Mail : canete@icidca.edu.cu

RESUMEN

Se presenta un método rápido para determinar humedad en Alcohol Etílico. La pureza de este reactivo es determinada normalmente por el test de Karl Fisher, lo cual requiere equipamiento especial y materias primas analíticas. Nuestro método está basado en la medida de la conductividad de una muestra saturada con KCl. Se puede recuperar el 90 % de la sal añadida. Un técnico calificado puede realizar ventiseis análisis en medio turno de trabajo con buena exactitud-

Palabras claves: etanol, humedad, análisis.

SUMARY

A rapid method for determine moisture in Ethyl Alcohol is presented. The purity of these chemical are normally determined by Karl Fischer test. It requieres speciallity equipment and analytical products. Our method is based in the conductance value of the sample satured with KCl. Recovery of added salt could be 90 per cent. Twenty six analysis can be done in ½ shift by one technician with good accurracy.

Keywords: ethanol, moisture, analysis.

Introducción

La norma cubana..NC 83-26:/87 establece el método de ensayo para determinar el grado alcohólico en el Etanol fundamentado en el empleo de un alcoholímetro de Gay Lussac que brinda el resultado como lectura directa.
En el trabajo que hemos realizado para la absolutización de Etanol con empleo de una zeolita cubana natural como tamiz molecular para la adsorción selectiva del agua el citado método ha sido empleado, Cañete y Otros (1995a) Sin embargo, especificamente en el estudio de la cinética del proceso, presenta deficiencias cuando se trabaja en una instalación experimental de pequeña escala por el volumen de muestra requerido para la determinación pues no permite construir fielmente la curva de rompimiento..
Para la determinación de agua uno de los métodos mas utilizados es el test del Dr. Karl Fischer por su precisión, rango de medición y rapidez, aunque requiere de equipamiento y reactivos especiales. Schmid(2004).
La literatura recomienda la conductimetría de alta frecuencia para la determinación exacta de la humedad en solventes orgánicos que permite valorar volumen de muestra de hasta un mililitro; y por otra parte, la

conductimetría directa de baja frecuencia que da mejores resultados si se satura la muestra con un electrolito fuerte Alpizar (1980), Decidimos trabajar con este último proceder.

Materiales y Métodos

Se dispuso de alcohol materia prima con 92.2 % en peso lo cual fue verificado en el laboratorio por la medida de la densidad.. El agua destilada empleada fue obtenida en el propio ICIDCA.
Se siguió la recomendación de la literatura de emplear KCl para saturar la mezcla alcohol-agua en lugar de NaCl ; en la tabla I se presentan datos de solubilidad, Weisberger (1978),

Tabla I

Solubilidad del KCl

Temperatura ^{O}C	Agua [pfg/1000g H_2O]	Etanol [mol %]
25	4.81	0.0135
30	5.01	-

Por mezcla de los volúmenes correspondientes, se prepararon las muestras que se presentan en la tabla II.El alcohol fue medido con pipeta que aprecia 0.l mililitro y el agua con una jeringuilla de cromatografía.

Tabla II

MUESTRAS PREPARADAS PARA EL TRABAJO

Tubo	KCl [g]	Agua [ml]	Alcohol [ml]	Alcohol [% peso]
1	3.7	10	0	0
2	0.2	0	10	99.2
3	0.2	0.050	10	98.6
4	0.2	0.100	10	98.0
5	0.2	0.150	10	97.4
6	0.2	0.200	10	96.8
7	0.2	0.250	10	96.2
8	0.2	0.300	10	95.6
9	0.2	0.350	10	95.0
10	0.2	0.400	10	94.4
11	0.2	0.450	10	93.9
12	0.2	0.500	10	93.3
13	0.2	0.550	10	92.8

Un conductímetro E-5-27 de manufactura Suiza fue empleado para realizar las determinaciones a las muestras,

Resultados y discusion

El grado alcohólico se expresa generalmente en ^{0}GL referidos a la temperatura de 15 ^{0}C, razón por la cual sobre la base de la información de las tablas 3-112 y 3-114 del Chemical Engineer´s Handbook se buscó una relación entre las concentraciones dadas en ^{0}GL vs % en peso de alcohol en la mezcla,Perry (1985)
Empleamos el modelo:

$$Y = a + b X \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde: Y..... volumen de alcohol en la mezcla, [^{0}GL/15 ^{0}C]
X.....masa de alcohol en la mezcla, [% en peso]
El análisis mediante regresión simple dio los parámetros:
a = 29.9 y b= 0.703
con los estadígrafos siguientes:
coeficiente de correlación = 0.999
error standard del estimado = 0.126
relación F = 5647
En la tabla III se reportan las determinaciones de conductividad realizadas a las muestras.

TABLA III

DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD DE LAS MUESTRAS

T soln. [^{0}C] 22.5 21.5 23.4 22.2 25.4 22.0 20.9 22.6

Tubo Conductividad [m S]]

	1	2	3	4	5	6	7	Promedio
1	41	40.5	35.5	36.5	40.5	37.5	41	38.9
2	.180	.178	.176	.179	.174	.170	167	.175
3	.196	.195	.197	.193	.190	.185	.181	.191
4	.208	.206	.207	.203	.204	.204	.193	.204
5	.229	.228	.228	.232	221	.226	.208	.224
6	.251	.247	.256	.254	.238	.248	.228	.246
7	.275	.272	.282	.283	.270	.259	.247	.270
8	.296	.296	.310	.307	.286	.290	.269	.293
9	.320	.317	.320	.323	.304	.307	.284.	.311
10	.350	.340	.355	.330	.339	.326	.305	.335
11	.378	.368	.376	.350	.373	.346	.323	.360
12	.415	.410	.412	.390	.409	.390	.361	.400
13	.465	.465	.487	.465	.454	.434	.405	.458

Los datos de la tabla 3 se emplearon para la búsqueda de un modelo que relacionara la concentración alcohólica en a mezclas [% en peso] y la conductividad medida en microSiemens [mmS]. Decidimos no incluir la temperatura y en consecuencia realizar las determinaciones futuras en el, rango de 22 a 25 ^{0}C; aunque posteriormente encontramos que las desviaciones fuera de ese rango son del orden de 3%/ ^{0}C.
Seleccionamos el modelo ;

$$X = a Z^b \qquad \text{Ecuación 2}$$

donde; Z.....conductividad de la solución. [mmS]
el análisis de regresión encontró que los parámetros son
a = 14 4.6 y b = -0.073
cuyos estadígrados son :
coeficiente de correlación =0.998
error standard del estimado = 6.29E-4
relación F 0 2536
Las ecuaciones 1 y 2 se emplearon para construir el nomograma que se presenta en la figura 1 , donde el valor de la conductividad de la muestra y el punto de pivote fijan la recta que determina la concentración

alcohólica de la solución en la escala correspondiente de ^{0}GL y % en peso según se desee.y por diferencia la humedad..

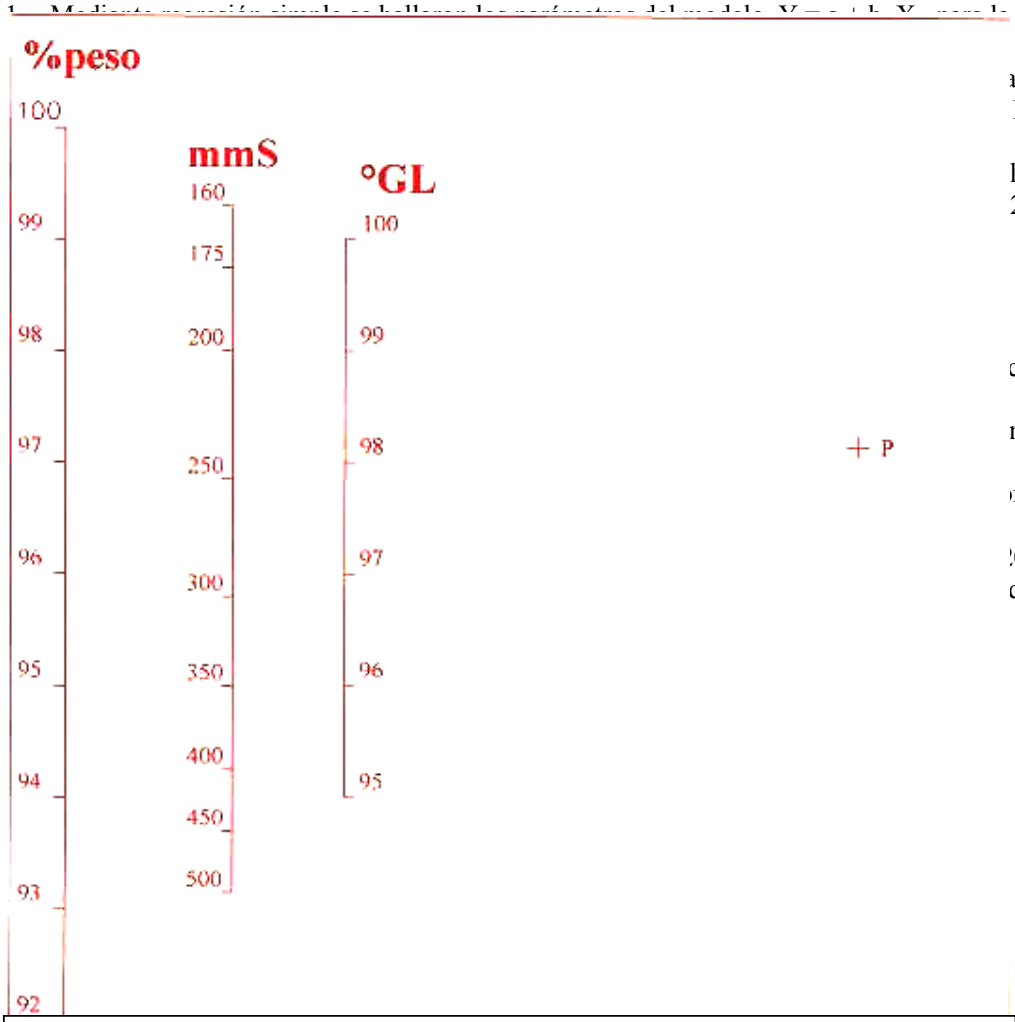
Para estimar el error del método se tomó como error de la variable Z , el duplo de la mayor de las desviaciones standard calculadas con las medidas de las conductividades de las soluciones que aparece en la tabla 3; y se aplicó el procedimiento general de la teoría de errores : ($e_y = b * e_z$). El resultado obtenido fue de 7.28E-3 [^{0}GL]; lo cual refleja la exactitud del método propuesto, Ekschlager .(1978)

En consecuencia, el procedimiento para la determinación en mezclas Etanol -Agua dentro del rango 92 a 100 % en peso a temperatura de 22 a 25 ^{0}C será:

1. A 10 mililitros de la mezcla problema se añade 0.2 g de KCL, se agita y deja en reposo.
2. El dato de la conductividad medido en el rango de temperaturas aconsejado se emplea para el calculo de la concentración de alcohol como % en peso en la mezcla, analíticamente según la ecuación 2..
3. Si se desea expresar el resultado anterior como ^{0}GL se emplea la ecuación 1.
4. Una forma más rápida de obtener ambos valores es el empleo del nomograma de la figura 1 como se explicó anteriormente.

Conclusiones

1. Mediante regresión simple se hallaron los parámetros del modelo $Y = a + b \cdot X$ para la relación de



Nomograma para la mezcla Etanol - Agua

a en la muestra
KCl , se han

lcohólica en la
2 a 25 ^{0}C.

cnica C. de la

nacional de

mbinada. 2do

2003
ductimetría y

ESTRATEGIA PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DE ALCOHOL, CONSIDERANDO LOS GASTOS EN TRANSPORTACIÓN DE MIEL Y TIPOS DE MIEL A EMPLEAR.

STRATEGY TO MINIMIZE THE COSTS OF ALCOHOL PRODUCTION, CONSIDERING DIFERENT TYPES OF MOLASSES AND ITS COST TRANSPORTATION.

Autores: *Marlen Ramil Mesa, Manuel Díaz de los Ríos , Odalys Capote, Rafael Franco Rico

* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
P. O. Box 4026, Habana 10400, Cuba. Fax: 53-7-988243. e-mail: ramil@icidca.edu.cu.

RESUMEN

En el presente trabajo se persigue definir una estrategia para minimizar los costos de producción de alcohol, teniendo en cuenta la transportación de las mieles y los tipos de mieles a emplear.
Para esto se realiza un análisis del proceso de producción de alcohol siguiendo una estrategia organizacional, donde se utiliza el diagrama causa – efecto como técnica para organizar las ideas. Se describen las causas que influyen en los costos de producción del alcohol y se originan las alternativas posibles para minimizar estos costos.
Se utiliza la herramienta Excel para optimizar los costos de producción de alcohol; los cuales están influenciados por los gastos en transportación de miel y por el tipo de miel a utilizar. Se realiza los balances de masa en los ingenios y destilería para poder seleccionar la alternativa más económica.
Se obtiene la alternativa más económica para producir alcohol, mostrándose las cantidades de miel a tributar, tipo de miel, tipo de transportación a utilizar y los ingenios encargados de tributar miel a la destilería.

ABSTRACT

Presently work settles down a strategy to minimize the alcohol production costs, keeping in mind the transportation and the types of molasses to use.
For this goal is carried out a process analysis of alcohol following an organizational strategy, where the cause-effect diagram is used as technique to organize the ideas. The causes that influence in the costs of production of alcohol are described and they originate the possible alternative to minimize these costs.

The software Excel is used to optimize the alcohol production costs, which are influenced by the molasses costs transportation and for the type of molasses to use. A mass balance in the sugar factory and distillery is carried out in order to select the more feasible alternative. The best choice is calculated and the amount and quality of molasses to share, transportation and sugar mills to supply molasses to the distillery are shown.

PALABRAS CLAVES: Alcohol, Mieles, Costos de producción, Azúcar, Análisis de procesos

KEYWORDS: Alcohol , Molasses, Costs production, Sugar, Process analysis

INTRODUCCION

El nuevo siglo constituye de por sí un escenario de expectativas y nuevos retos para toda la sociedad, entre los cuales, el incremento de un mercado globalizado conlleva a la necesidad de optimizar no solo la producción, sino también las estrategias de comercialización de los productos, fundamentalmente los de comercialización internacional como el azúcar.

Para el azúcar este escenario se torna más completo, si se considera que su valor de cambio se ha ido deteriorando constantemente y su precio relativo al valor de la demanda es inferior al de algunas décadas atrás.

Frente a esta situación y a las indiscutibles ventajas del azúcar como alimento hay que añadir las potencialidades de la caña como materia prima para obtener diversos derivados de diferentes generaciones comprobados en escala comercial, que abren posibilidades de ampliar el espectro productivo de la economía azucarera y permiten que no depende de un solo producto y un solo mercado Gálvez (2000).

Los jugos y las mieles de caña son considerados derivados de la caña de azúcar de primera generación, son ampliamente usados en las destilerías para producir alcohol, derivado de gran importancia que ha tomado auge por su uso como sustituto de la gasolina pues sus mezclas aumentan el octanaje y permite eliminar el empleo de plomo tetraetilo, que es altamente nocivo al ambiente y a la salud humana Herryman (2000)

Por todo lo anterior el Ministerio del Azúcar se ha trazado como estrategia una diversificación azucarera flexible junto a la utilización de esquemas alternativos de producción que garanticen el óptimo procesamiento de la caña para obtener junto al azúcar, mayores cantidades de bagazo, mieles y jugos para fermentar, en dependencia de la demanda y las opciones productivas que resulten más convenientes.

En la actualidad, las destilerías en Cuba trabajan con mieles provenientes de los diferentes Ingenios existentes en el país. Hoy en día, el tributo de mieles a las destilerías se realiza de forma tal que cada destilería recibe miel de los Ingenios que sean capaces de satisfacer sus necesidades, sin tener en cuenta todas las variantes que pueden incidir en la reducción del costo del producto final.

Tomando como base de estudio la provincia Habana y dentro de esta, la destilería Héctor Molina, se plantea como objetivo definir una estrategia para minimizar los costos de producción de alcohol, teniendo en cuenta la transportación de las mieles y los tipos de mieles a emplear. Para esto se conoce que en la Provincia existen 5 centrales: Abraham Lincoln, Comandante Manuel Fajardo, Héctor Molina, Gregorio Arlee Mañalich y Boris Luis Santa Coloma y la destilería Héctor Molina

DESARROLLO

Una vez analizado los procesos de fabricación de miel y de producción de alcohol e identificado el problema, utilizamos una de las técnicas para organizar las ideas, diagrama causa-efecto (espina de pescado) según Ishikawa (1988).

En el diagrama causa efecto existen diferentes factores que intervienen en el costo de producción de alcohol. En este trabajo no se tendrá en cuenta los aspectos tecnológicos de la destilería en cuestión, sino los otros aspectos en los que se puede incidir más rápidamente y obtener resultados favorables. Entre estos factores se encuentra la materia prima que se utiliza para producir alcohol, el medio de transportación y la distancia que se encuentra la destilería de los Ingenios.

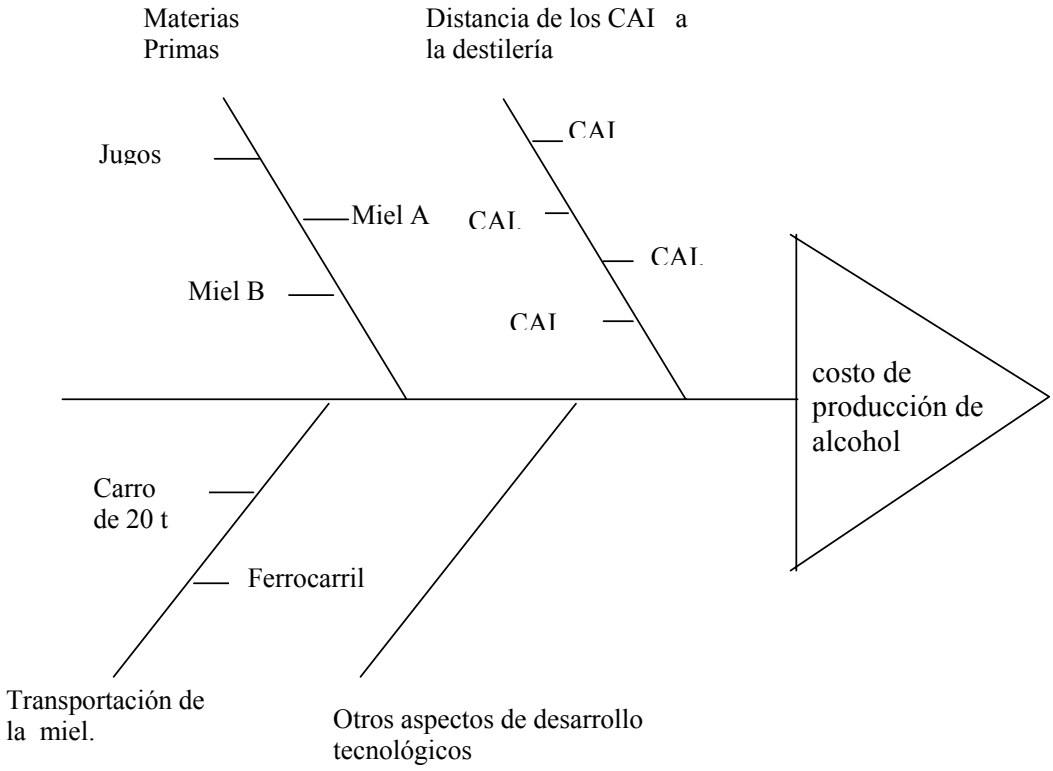


Figura 1. Diagrama causa-efecto

Descripción de las causas:

- Materias primas: están presentes en los costos variables y estos a su vez influyen grandemente sobre los costos totales. En este caso se puede trabajar con jugo proveniente del central adjunto a la destilería, con miel final o con miel B.
- Distancia de los CAI (Ingenios) a la destilería: la distancia es una de las causas que más puede afectar en los gastos en transportación de miel y por ende en los costos variables de la producción de alcohol. Para esto se tiene en cuenta a que distancia se encuentra cada CAI con respecto a la destilería y de cuales sería más económico tributar la miel.
- Transportación de la miel: esta puede realizarse por carro cisterna de 20 toneladas o por ferrocarril dependiendo de la distancia que se encuentra los ingenios de la destilería. La utilización de una u otra vía depende de la distancia y de las facilidades existentes en el momento de la transportación.

Una vez identificado el problema y descritas las causas, se determinaron las alternativas para ser evaluadas.

Alternativas:

1. Analizar los costos de producción de alcohol que actualmente posee la destilería, trabajando con su esquema de operación actual, así como el esquema de operación actual de los centrales tributarios y los gastos en transportación.

2. Utilizando el mismo esquema de operación de los centrales, minimizar los costos en transportación de miel.
3. Minimizar los costos de producción del alcohol, optimizando los esquema de operación de los ingenios.

Para realizar los balances correspondiente se tuvo en cuenta que la capacidad real de la destilería es de 450 hl/d, operando a 250 días, con un aprovechamiento de la norma potencial de 80% y otros datos necesarios que se muestran a continuación:

Tabla I. Distancia de los ingenios a la destilería

Ingenios	**Distancia a la destilería (km)**
Abraham Lincolm	107 Por Ferrocarril
Comandante Manuel Fajardo	101 Por Ferrocarril
Gregorio Arlee Mañalich	45 Por Carretera
Boris Luis Santa Coloma	30 Por Carretera

Los índices de costos para transporte por ferrocarril es de 0,30 $/t.Km. y para transporte por carro cisterna es de 0,61 $/t.Km.

Tabla II. Datos generales de las mieles

Mieles	**Brix**	**Pureza**	**Azúcar presente (t/t)**	**Reductores totales (t/t)**	**Costo ($/t)**
Miel A	80%	60%	0,480	0,728	27.00
Miel B	85%	50%	0,425	0,644	21.42
Miel Final	88%	39%	0,343	0,520	17.45
Miel Rica	85%	25%	0,213	0,740	40.00
Guarapo Clarificado	14%	70%	0,098	0,140	4.14

Tabla III. Datos de indicadores de rendimiento

Azúcar 3Masa%caña	11,50%
Azúcar 2Masa%caña	10,60%
Azúcar 1Masa%caña	8,90%
Miel Rica%caña	17,12%
Miel final%caña	3,62%
Miel B%caña	4,32%
Miel A%caña	7,40%
Guarapo clarificado%caña	93,65%
Bagazo%caña	28,00%
Bagacillo%caña	1,00%

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez estudiado el diagrama causa-efecto, herramienta fundamental para organizar las ideas y teniendo en cuenta las alternativas posibles a evaluar, junto a los balances de masa en los CAI y la destilería; se trabajó con la herramienta EXCEL para analizar todo el proceso y optimizar el costo de producción de alcohol teniendo en cuenta las materias primas, la transportación de estas materias primas y la distancia de los ingenios a la destilería.

Alternativa 1.

Actualmente la destilería Héctor Molina trabaja con miel proveniente del central adjunto a esta destilería que trabaja con un esquema de operación de 3 masas cocida de forma tal que lo que produce es miel final, además esta destilería solo recibe miel final de los centrales cercanos. Sus gastos en transportación están dados fundamentalmente por la cantidad de miel que recibe de cada central, por la distancia a la que se encuentran estos centrales de la destilería y por la vía de transportación que utilizan.
Para el esquema de operación que posee actualmente estos centrales que tributan miel a la destilería, se obtiene que los gastos en transportación son del orden de $1 064 534.68 las 26 997 toneladas de miel final que son necesarias tributar durante 150 días.

En la siguiente tabla se observa la cantidad de miel final que es necesaria tributar hacia la destilería Héctor Molina.

Tabla IV. Total de miel tributada a la destilería Héctor Molina

Ingenios	**Miel F a tributar a la destilería (t)**
Abraham Lincolm	3792
Comandante Manuel Fajardo	4822
Gregorio Arlee Mañalich	9946
Boris Luis Santa Coloma	8438
Total	26997

En la tabla anterior se puede observar que de un total de miel final necesaria (45 000 t) para producir alcohol durante los 250 días que trabaja la destilería, es necesario tributar 26 997 t, lo que significa que el 69% de la miel es tributada.

Esta miel a tributar seria en días de no zafra, ya que en días de zafra la destilería trabaja con la miel proveniente del central adjunto (18003 t).
El gasto unitario de transportación de la miel es de $35,43 la tonelada, teniendo en cuenta que la transportación actual se realiza por carro cisterna.
Los costos variables de producción del alcohol representan el 94% y de estos el 69% son gastos en transportación.
El costo total para producir alcohol por esta variante es de $ 53.7 el hectolitro.

Alternativa 2.

Teniendo en cuenta la alternativa 1, se varía en esta alternativa el medio de transportación. En este caso se utiliza carro cisterna y ferrocarril para transportar la miel.

Como la cantidad de miel final a tributar, es la misma que en la alternativa 1, podemos decir que los gastos en transportación son de $ 740 756,38 lo que significa que el gasto unitario de transportación de la miel es de $27,44 la tonelada.

En este caso los costos variables de producción del alcohol representan el 92% y de estos el 61% son gastos en transportación.
El costo total para producir alcohol por esta variante es de $48.18 el hectolitro.

Alternativa 3.

Optimizando el esquema de operación de la destilería, se obtiene que se debe trabajar con jugo proveniente del central adjunto y la cantidad de miel a transportar se muestra en la siguiente tabla.

Tabla V. Cantidad de miel a transportar trabajando la destilería con jugo

Ingenios	**Miel B a tributar a la destilería (t)**
Abraham Lincolm	0
Comandante Manuel Fajardo	0
Gregorio Arlee Mañalich	9078
Boris Luis Santa Coloma	8438
Total	17516

En la tabla anterior se puede observar que la miel a tributar es miel B (17 516 t), lo que significa que los gastos en transportación son del orden de $ 403 597,37. Esta miel es tributada durante 90 días esto quiere decir que los 160 días restante la destilería trabaja con jugo y con miel F proveniente del central adjunto y el gasto unitario de transportación de la miel es de $ 21,04 la tonelada.

Los costos variables de producción del alcohol representan el 90% y de estos el 55% son gastos en transportación.
El costo total para producir alcohol por esta variante es de $ 43,7 el hectolitro.

CONCLUSIONES

1. De las alternativas estudiadas, la número 3 es la de mejor resultados, obteniéndose a $ 43,7 el hectolitro de alcohol y donde el 90% de los costos totales están representados por los costos variables y de estos el 55% son gastos en transportación. La miel a tributar en miel B.

2. La transportación de la miel juega un papel fundamental en la determinación de los costos de producción de alcohol, así como el tipo de miel a emplear.

3. Existe un compromiso entre los gastos en transportación y el tipo de miel a utilizar, que solo mediante la optimización es posible resolver este problema.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gálvez, T. Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. Tercera Edición. Habana, 2000, 458p.
2. Herryman, M. Blanco, G. Cordovez, M. Etanol Carburante. Consideraciones ambientales, problemática internacional y posibilidades económicas en Cuba. Monografía. Habana, 2001.
3. Ishikawa, K. ¿Que es el control de calidad? Editorial Ciencias Sociales. Habana, 1988.

OBTENCIÓN DE CO_2 COMO SUBPRODUCTO DE LA INDUSTRIA ALCOHOLERA

Tania García Martínez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca 804, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba, Apartado postal 4026.
Email: taniag@icidca.edu.cu

Resumen

Una gran cantidad de CO_2 se genera cada año en diversos procesos industriales, su recuperación es una alternativa para mitigar su efecto y aprovechar, además, un producto de amplia utilización en diversas ramas de la industria.
Este trabajo se refiere a la obtención de CO_2 en las destilerías de alcohol, donde se genera una cantidad del mismo similar a la de alcohol. Su recuperación brinda un beneficio económico adicional a las plantas. Esta es una de las vías que se utiliza en Cuba para la obtención del producto.

Palabras claves: CO_2, destilería, etanol

CO_2 RECOVERY AS A BY-PRODUCT OF ALCOHOL INDUSTRY

Abstract

Every year a lot of CO_2 from industrial processes is generated. An alternative for mitigation of CO_2 pollution and obtaining a useful product is its recovery as a by-product from these processes.
This paper deals about alcohol distilleries as a source of CO_2 recovery. A quantity of CO_2 similar to alcohol produced is generated, its recovery produces additional revenue for the plant. In Cuba this is a way to obtain the product.

Key words: CO_2, distillery, ethanol

Introducción

El dióxido de carbono (CO_2) es uno de los compuestos químicos más versátiles conocidos por el hombre. Se encuentra en la naturaleza en la litósfera, hidrósfera y la atmósfera, en esta última en una concentración de 0.03 %, existe un incremento anual en el orden de 1 mg/kg (Topham, 2002). Se conoce que el CO_2 es uno de los llamados gases de efecto invernadero, contribuyendo en un 52 % al incremento de la temperatura del planeta.
Puede existir en tres estados de agregación, gas, líquido o sólido. A temperatura y presión normal, es un gas incoloro, inodoro, con un sabor ligeramente ácido. A altas concentraciones tiene un ligero olor picante. Es más denso que el aire y se disuelve rápidamente en la mayoría de los líquidos. Disuelto en agua forma el ácido carbónico (H_2C0_3), que es débil e inestable, tendiendo a volver a CO_2 y H_2O. No es inflamable. Las reacciones entre el CO_2 y otras sustancias se efectúan generalmente a altas temperaturas o con el uso de catalizadores (Topham, 2002).
Puede obtenerse a partir de la combustión directa de un hidrocarburo combustible (gas natural o petróleos ligeros). Otra de las alternativas es su recuperación a partir de los gases de combustión y de diversos procesos industriales donde el mismo se obtiene como un subproducto, por ejemplo: plantas de producción de amoníaco, plantas geotérmicas, fábricas de acero, plantas de carbonato de calcio ($CaCO_3$), fermentación de alcohol y cerveza, proceso del carbonato de potasio. En algunas partes del mundo, el CO_2 gaseoso se obtiene a partir de pozos naturales de dióxido de carbono (Topham, 2002; Wittemann, 2002). En muchos casos la recuperación de CO_2 tiene un doble beneficio al reducir las emisiones a la atmósfera y producir un ingreso adicional a la planta (Aresta, 1999).
Durante la producción de alcohol por vía fermentativa se genera una gran cantidad de CO_2, aproximadamente igual a la cantidad de alcohol producido. La recuperación de este subproducto beneficia la economía del proceso (Horowitz, 1987/1988; Cañete. R, 2002). El CO_2 recuperado puede ser utilizado en diversas aplicaciones (Aresta,, 1999).
En el presente trabajo se hace referencia a los usos del CO_2 y a su obtención a partir de la fermentación alcohólica.

Desarrollo

Usos del CO_2
La versatilidad en cada uno de sus tres estados ha estimulado su aplicación en muchas áreas industriales, entre ellas las industrias químicas, farmacéutica metalúrgica, del plástico, alimentaria, agricultura, etc. En la Tabla I se relacionan los usos en diferentes sectores industriales (Aresta, 1999; Topham, 2002; Wittemann, 2002).

Tabla I. Usos del CO_2

Usos del CO_2	
Industria Alimenticia	• Carbonatación de bebidas • Transporte de alimentos, como refrigerante • Atmósfera protectora en el empacado y almacenamiento de alimentos
Industria farmacéutica	• Fabricación de carbonato y bicarbonato de sodio • Fabricación de aspirina • Fabricación y empacado de píldoras, cápsulas, polvos, pastas, ámpulas, tabletas
Industria química	• Síntesis de urea • Síntesis de metanol • Síntesis de carbonatos inorgánicos e hidrogenocarbonatos (potasio, amonio)
Industria del plástico	• Hilado de fibras sintéticas • Fabricación de policarbonatos • Enfriante en moldes de inyección
Agricultura	• Invernadero de atmósfera controlada
Extintores	Fuegos clase B
Extracción supercrítica	Recuperación de productos naturales
Sistemas de limpieza	• Industria automotriz • Mantenimiento general • Plástico • Fabricación de gomas • semiconductores

CO_2 a partir de la fermentación alcohólica

En el proceso de producción de etanol a partir de las mieles finales de caña de azúcar, por vía fermentativa, se genera gran cantidad de CO_2, Según la ecuación:

$$C_6H_{12}O_6 \qquad 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$$

por cada 180 g de glucosa se obtienen 92 g de etanol y 88 g de CO_2. El CO_2 producido es aproximadamente el 46.6 % en peso del azúcar fermentado, teniendo en cuenta que en la fermentación se producen otros compuestos. El CO_2 se produce en una relación de aproximadamente 160 kg/t de miel (Paturau, J.M., 1982). Teóricamente se obtienen 0.76 kg de CO_2 por litro de alcohol. Según otras fuentes de referencia, por cada 100 Kg de azúcares fermentados se obtienen, aproximadamente, 46 Kg de alcohol y 44 Kg de CO_2, (Suárez, M, 1980). A partir de 4.4 t de miel se obtienen 1t de alcohol y 0.87 t de CO_2, (Suárez, M, 2000). Estos valores dependen de la materia prima y de la eficiencia del proceso.

El CO_2 desprendido en el proceso de fermentación alcohólica contiene impurezas tales como: sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre y varios compuestos orgánicos (aldehídos, ácidos, etanol, alcoholes de alto peso molecular y dioles) (Topham, S. 2002). Una vez recuperado y purificado el CO_2 líquido puede alcanzar una pureza entre 99.97% a 99.998% .

Para recuperar el CO_2 es necesario que los fermentadores sean cerrados El proceso de recuperación de CO_2 incluye etapas de lavado, deodorización, secado, compresión y condensación. Se plantea que puede recuperarse hasta el 80 % del mismo (Topham, S. 2002; Paturau, J.M., 1982; Suárez, M).

La etapa de lavado se realiza en una torre lavadora con agua, donde se eliminan las impurezas solubles en agua como etanol, aldehídos, cetonas. La etapa de deodorización se realiza en torres purificadoras con carbón activado donde se eliminan sustancias que imparten olores. Algunas tecnologías utilizan torres con solución de permanganato de potasio para oxidar compuestos que tiene el CO_2, eliminándose posteriormente los compuestos oxidados y trazas de reactivos. El secado se realiza en torres deshidratadoras que contienen alúmina activa o silica gel, también se usan tamices moleculares. Durante la purificación el gas pasa por varias etapas de compresión. Una vez purificado se condensa (Topham, S. 2002; Paturau, J.M., 1982; Suárez, M).

El CO_2 recuperado a partir de la fermentación alcohólica es muy utilizado en la industria de alimentos (Topham, S. 2002; Aresta, M., 1999).

El CO_2 está disponible en grandes cantidades como un subproducto de la industria de fermentación de alcohol, su recuperación en las destilerías es un factor importante que beneficia la economía del proceso (Horowitz, A., 1987/1988; Cañete, R, 2002; Suárez, M, 2000).

En tres de las doce destilerías que pertenecen al Ministerio del Azúcar (MINAZ) se recupera el CO_2 obtenido en la fermentación alcohólica de las mieles finales de la producción de azúcar. Estas son las que se encuentran en las siguientes Empresas azucareras:

- Urbano Noris (Holguín)
- Melanio Hernández (Sancti-Spíritus)
- Antonio Guiteras (Las Tunas)

Los usos principales que tiene el CO_2 en Cuba son:

- Bebidas gaseadas: cervezas, refrescos, aguas minerales
- Industria Sideromecánica
- Extintores
- Hielo seco

Conclusiones

- El CO_2 es un compuesto químico que, por sus propiedades físicas y químicas, tiene una amplia aplicación industrial.
- La recuperación del CO_2 en las destilerías de alcohol brinda un beneficio económico adicional a las mismas.
- El CO_2 se obtiene por diferentes vías, entre ellas, la fermentación alcohólica genera una gran cantidad del mismo, constituyendo una fuente de obtención atractiva.

Referencias

- Aresta, M. (1999), Química Nova (Brasil). Vol. 22 (2).
- Cañete, R., Diversificación 2002. LA Habana, junio 17 – 21, pág. 782-784, tomo IV.
- Horowitz, A. (1987/1988), Alcool y acúcar (Brasil). No. 39, pág. 24-27.
- Paturau, J.M. By-products of the cane sugar industry. An introduction to their industrial utilization. Netherlands: Elsevier Scientific Publishing Company, 1982. 2da ed. Chapter 11: Distilling industries.
- Topham, S. Carbon Dioxide. (en línea). En: Ullmann´s Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH. Verlag GmbH and Co. KGaA, 2002. <http://www.interscience.wiley.com/ullmanns>. (consulta 2002).
- Wittemann. Carbon Dioxide. (en línea) < http://www.wittemann.com> (consulta: Septiembre 2002).

- Suárez, M.; García, J.L; Domenech,,F.; Blanco, G.; Santiesteban, C.M. Manual de los Derivados de la caña de azúcar, 2000, 3ra ed. La Habana, pp. 191-198.
- Suárez, M; Estévez, R. Los Derivados de la Caña de azúcar, 1980. Editorial Científico técnica, Ciudad de La Habana, pp. 329-330.

AMPLIFICACIÓN Y SECUENCIACIÓN DE ADNRIB DE LEVADURAS ALCOHOLERAS AISLADAS EN LA DESTILERÍA "A. GUITERAS"

*Norka Fundora, Roxana García, Irma Valdés, Esmérida Torres

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
gipsy@icidca.edu.cu

Resumen

Con el objetivo de obtener cepas de levaduras alcoholeras autóctonas potencialmente más adaptadas a las condiciones ambientales en la industria, se aislaron 9 cepas de levaduras a partir de muestras tomadas en la destilería "AntonioGuiteras" en Las Tunas. Mediante el empleo de la técnica de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) y la posterior secuenciación de determinadas regiones del ADN ribosomal, fueron identificadas dos cepas de *Saccharomyces cerevisiae* aisladas de prefermentadores y una de *Schyzosaccharomyces pombe* aislada de solución de sales para el medio de propagación en la fábrica. Los estudios posteriores de la capacidad fermentativa, de dichas cepas, a escala de laboratorio arrojaron producciones de alcohol en un rango entre 5.0 y 5.5 mL/100mL de mosto con rendimientos calculados, en base a azúcares consumidos, en el entorno del 55 % en los tres casos analizados.
Palabras claves: PCR, identificación, levaduras

Amplification and sequencing of alcoholic yeast DNArib isolated in distillery "A. Guiteras"

Abstract

To obtain autochthonous alcoholic strains, potentially more adapted to industry conditions, were isolated 9 yeast strains from samples collected at distillery "A. Guiteras". Polimerase chain reaction (PCR) and sequencing techniques of certain ribosomal DNA regions allowed identifying two strains of *Saccharomyces cerevisiae*, isolated from propagation reactor, and a *Schyzosaccharomyces pombe* strain, from salts solution. Fermentation capacity of each strain was study at lab scale, detecting alcohols concentrations of 5,0 and 5,5 % (v/v) and yields of 55%., based on sugars consumption
Key words: PCR, identification, yeast.,

Introducción:

La selección de una cepa de levadura adecuada es una de las herramientas más eficientes para el control y optimización de la fermentación alcohólica, ya que ello permite: maximizar el etanol a producir, minimizar los costos de producción y en fermentaciones destinadas a producción de bebidas alcohólicas, desarrollar las características organolépticas deseadas en el producto (Liberman, 1999).

El conocimiento de las características de las cepas apropiadas, conducirá a un mejor control de las contaminaciones o degeneración de las mismas, lográndose mejores rendimientos.

Entre los métodos empleados con éxito para la identificación de cepas de levadura se encuentra la amplificación y estudio de la región del ADN que codifica para el ARNrib 5.8S y regiones especie-específicas (ITS_1 e ITS_2). Esta región se encuentra ubicada en un cromosoma que contiene aproximadamente 100 copias del gen lo que resulta útil para incrementar el rendimiento del amplicón y la sensibilidad de la prueba. (García y cols., 2002)

Con el objetivo de identificar y caracterizar, por su capacidad fermentativa, las cepas con mejor capacidad de adaptación a las condiciones de trabajo en la fábrica, se estudiaron 9 aislamientos con características levaduriformes obtenidos en diferentes puntos del área de fermentación de la destilería Antonio Guiteras, en las Tunas.

Materiales y Métodos

Aislamientos de cepas: Las cepas se aislaron previamente del medio de fermentación. Luego se conservaron a en medio YPG-agar (glucosa 2%, peptona 2%, extracto de levadura 1%, agar 1,5% (p/v), pH= 5.5)) a 4ºC.

Microorganismos empleados:

Saccharomyces cerevisiae A_3: Cepa Industrial, conservada en la Colección de Cultivos Microbianos del ICIDCA, en medio YPG-agar, a 4ºC.

Cepas NO_2, NO_3: Aisladas del fermentador.

Cepa NO_{10}: Aislada del medio de fermentación.

Extracción del ADN genómico: Se realizó mediante .el ***DNA Purification Kit Promega*** siguiendo el protocolo indicados por el fabricante para cultivos de levaduras.

Amplificación por PCR con primers ITS1/ITS4: Se realizó en termocicladores ***Eppendorff Mastercycler Personal***, empleando como reactivos: primer directo ITS_1 (50mM) 0,5µL, primer reverso ITS_4 (50mM) 0,5µL, *Taq* DNA Polimerasa (5U/µL) Promega 0,3µL y 1µL DNA genómico de cada cepa para completar un volumen final de 50µL en agua

Purificación de fragmento: Se realizó una Electroforesis en Gel de Agarosa (agarosa 0.8%) teñido con Bromuro de etidio.

<u>Transformación en *E. coli* del fragmento amplificado:</u>

Amplificación por PCR sobre colonias transformadas: La reacción se llevó a cabo en termocicladores Eppendorff Mastercycler Personal. Verificación de clonajes con inserto por Electroforesis en Gel de Agarosa.

Extracción DNA plasmídico: Se realizó mediante el Wizard® Plus SV Minipreps DNA Purification System Promega siguiendo el protocolo de extracción por centrifugación.

Secuenciación del inserto e identificación de las cepas: La secuenciación del ADN amplificado en cada cepa fue obtenida mediante la técnica de Sanger (genome Express, Grenoble, Francia), las secuencias fueron alineadas y comparadas en la base de datos NCBI (www.ncbi.nlm.nih.gov/blast/Blast.cgi) para la identificación de las cepas según los porcientos de identidad y el número de pares de bases nucleotídicas comparadas.

Evaluación fermentativa

Medio de propagación del cultivo: Caldo YPG (glucosa 2%, peptona 2%, extracto de levadura 1% (p/v), pH= 5.5).

Medio de fermentación: 15± 1% (p/v) de azúcares reductoras totales (ART) miel diluida 1:1 y desfangada, 1.8 g $(NH_4)_2SO_4$, 0.8 g $(NH_4)_2HPO_4$, agua c.s.p. 1L, pH= 5.0.

Resultados y Discusión:

El análisis de genes del DNAr para la identificación de especies fúngicas se basa en la detección de secuencias conservadas en DNAr 5.8S y DNAr 28S que permite la amplificación de la región ITS_2 ubicada entre estos dos genes.

En el presente trabajo la amplificación por PCR de la región ITS_1-5.8 ADNr -ITS_2 produjo un espectro de tamaños de banda entre 700 y 900 pb, en tres cepas de levaduras aisladas durante el proceso industrial (Fig.1 **a** y **b**).

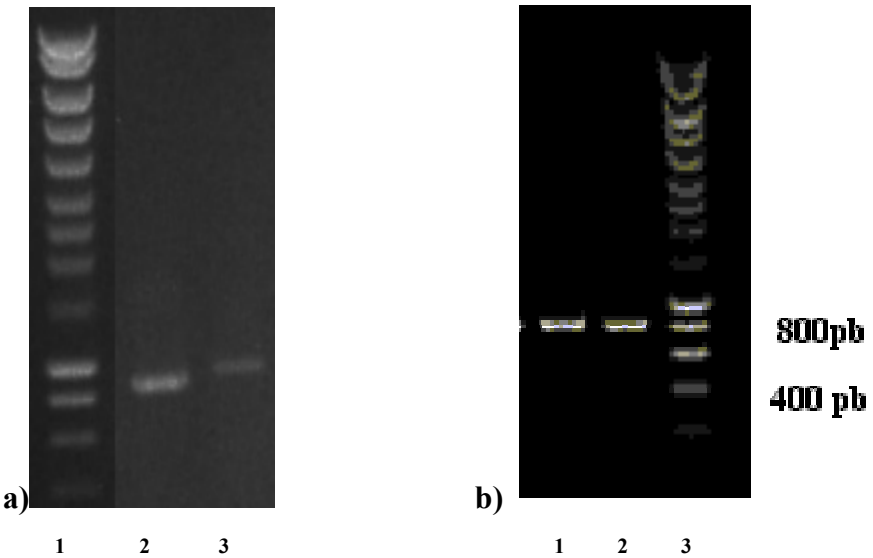


Fig.1 Productos PCR generados por los primers ITS1/ITS4.

a). 1:MM, 2: NO_2, 3:NO_3 b). 1:NO_2, 2:NO_{10}, 3:MM

En la Tabla I se reporta la identificación de las cepas que mostraron porcientos de identidad superiores al 98% al comparar sus secuencias nucleotídicas.

La cepa NO_3 mostró un 93% de identidad para un número de pares de bases comparadas significativamente no representativo por lo cual continúa en estudio su identificación. No obstante las pruebas morfo-fisiológicas la ubican como perteneciente a la especie *Schizosaccharomyces pombe*.

Tabla I: Tamaño de los fragmentos amplificados con ITS1/ITS4 e identificación de las cepas por comparación de secuencias

Cepas	Identificación por secuenciación	Tamaño aprox. Fragmento PCR (primers ITS1-ITS4)
NO_2	*Saccharomyces cerevisiae*	700-900 pb
NO_{10}	*Saccharomyces cerevisiae*	900 pb

Producción de etanol

Los valores de etanol producido, azúcares consumidos y rendimiento producto /sustrato aparecen reflejados en la Figura 2.

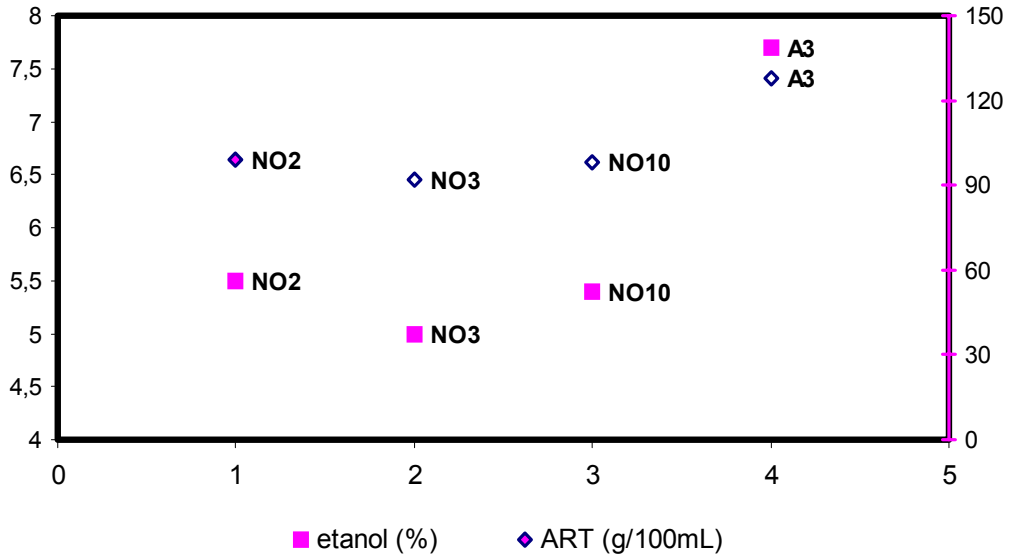


Fig.2 Azúcares Consumidos y etanol producido por las cepas aisladas y la A3.

Las diferencias apreciadas entre los resultados para las cepas en estudio y la A_3, con relación a la formación de producto, resultaron no significativas para un α=0,01. Esta cepa A_3 se utilizó durante algún tiempo en la Industria y resultó apropiada por su gran adaptabilidad a las condiciones de operación a ese nivel, así como por las características del producto final. En los últimos 4 años ha sido utilizada como referencia para nuestros trabajos a escala de banco.

Los valores de rendimiento producto /substrato y eficiencia a partir de los azúcares consumidos fueron calculados (Tabla II) y se observaron pequeñas variaciones para las cepas NO_3 y No_{10} con respecto a la A_3 por lo cual es posible afirmar que el grado de conversión de sustrato en producto no varió significativamente en ninguno de los casos analizados.

Tabla II. Rendimiento y eficiencia respecto a los azúcares consumidos, alcanzados por las cepas bajo las condiciones ensayadas.

Cepa	$Y_{P/S}$ (%)	Efic. Ac (%)
***Saccharomyces cerevisiae* NO_2**	55,5	86,18
***Schizosaccharomyces cerevisiae* NO_3**	54,3	84.31
***Saccharomyces cerevisiae* NO_{10}**	55,1	85.56
***Saccharomyces cerevisiae* A_3**	55,7	86,79

Leyenda: Efic. Ac: Eficiencia en base a los Azúcares consumidos

Conclusiones:

- De las cepas de levaduras analizadas 2 correspondieron a la especie *Saccharomyces cerevisiae* con un más de un 98% de identidad al comparar sus secuencias nucleotídicas.
- La cepa identificada como *Schizosaccharomyces pombe* mostró un porciento de identidad de un 93% para el número de pb comparadas, por tal motivo se recomienda continuar su estudio.
- El método de identificación probado mostró ser eficaz para el trabajo con especies diversas en comparación con otras técnicas convencionales basadas en caracteres morfo-fisiológicos, en cuanto a su sensibilidad, rapidez y especificidad.
- El comportamiento en cuanto al consumo de sustrato y a la producción de etanol, bajo nuestras condiciones de trabajo, no evidenció diferencias significativas entre las cepas en estudio y la cepa patrón utilizada. Por tal motivo consideramos que las cepas aisladas pueden tener aplicación industrial

Recomendaciones

A partir de las aproximaciones taxonómicas obtenidas mediante la amplificación del DNA genómico que codifica para las regiones estudiadas, es necesario realizar estudios con el empleo de otras técnicas que permitan concluir el trabajo de identificación de la cepa NO_3.

Agradecimientos:

Este trabajo se realizó gracias al empeño de sus autores en especial al financiamiento brindado por el Instituto de Investigación y Desarrollo - Laboratorio de Microbiologia de la Universidad de Provenza.

Bibliografía:

- Liberman, B. 1999. The use of selected yeast strains for ethanol production. Libro Resúmen 2do Taller Internacional de Producción de Alcoholes (TIPAL'99), Matanzas, Cuba:3
- Ingledew, W. m. 1993. Yeasts for production of fuel ethanol. En: The Yeasts,, 2da Edición, Vol. 5. Yeast Technology. Edit. Rose A.H. y Harrison J. S., Academic Press, Nueva York:245-291.
- Turenne, Ch. Y; Sanche, S.E.; Hoban, D.J.; Karlowsky, J. A. y Kabani, A.M. 1999. Rapid identificaction of fungi by using the ITS2 Genetic region and an automated fluorescent capillary electrophoresis System. Journal Clinical Microbiology. 37(6):1846-1851.

EVALUACIÓN DE UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUARDIENTE DURANTE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

EVALUATION OF ALCOHOLIC FERMENTATION ALTERNATIVE TO IMPROVE RAW SPIRIT QUALITY

Autores: Rosete, A*; García, R*; Valdés, I*

* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, Ciudad Habana, Cuba.
Teléfono: (537) 986501/986502 Fax: (537) 338236
e-mail: armando@icidca.edu.cu

Resumen

Con vistas a elevar la calidad del aguardiente fue estudiado un cultivo mixto entre las cepas *Lactobacillus fermentum* 11-2 y *Saccharomyces cerevisiae* S.A; conservadas ambas en la Colección de Cultivos Microbianos del ICIDCA. Para ello, se llevó a cabo un diseño experimental donde evaluamos dos factores: Relación levadura/lactobacilo y Tiempo de inoculación de la bacteria en el co-cultivo; concluyendo que ambos influyen significativamente sobre el rendimiento alcohólico (etanol), formación de ácido láctico, acetato de etilo y alcoholes superiores en mosto.
A través del análisis del modelo matemático de respuesta para cada variable, se obtuvo una variante de cultivo mixto (para una relación 4:1 y un tiempo de inoculación del lactobacilo aproximadamente a las 26 horas de fermentación), que posee mayores potencialidades para la producción de aguardiente; puesto que mejora las características organolépticas del mosto. Esta variante, sin influir significativamente en el rendimiento alcohólico, aumenta la producción de ácido láctico (incrementa acidez), acetato de etilo y por otro lado disminuye la formación de alcoholes superiores (propílico e isoamílico) en la batición fermentada; al comparar con un cultivo puro de *Saccharomyces cerevisiae* S.A.

Palabras claves: aguardiente, cultivo mixto, lactobacilo.

Abstract

Mixed culture of Saccharomyces cerevisiae S.A and Lactobacillus fermentum 11-2 was studied in order to increase raw spirit quality. Yeast and bacteria proceed from Microbial Culture Collection of ICIDCA. This study was carried out through an experimental design, evaluating two factors: the influence of yeast / lactobacilli rate and lactobacilli inoculation time in must. Based on the results obtained in this work, both factors influenced significantly over ethanol yield, lactic acid, ethyl acetate and higher alcohols production in fermented mash.
By using a mathematical response model to each variable, a mixed culture alternative (rate 4:1 and lactobacilli inoculation in must near to 26 hours) was better than yeast pure culture as to the presence of some substance that take part in must organoleptic properties. This variant, without significantly influencing over ethanol yield, improve lactic acid production (increasing acidity) and ethyl acetate; by the other hand, diminish formation of higher alcohols (propylic and isoamyl) in must.

Keywords: raw spirit; mixed culture; lactobacilli

INTRODUCCIÓN

En nuestro país se ha estado desarrollando una estrategia de diversificación industrial como objetivo esencial para el avance económico de la nación; de ahí la importancia de crear nuevos productos que puedan satisfacer la demanda de la población y logren competitividad en el mercado internacional. La industria de bebidas cubana no está exenta de esta política; siendo el desarrollo de nuevas tecnologías de producción uno de los mecanismos fundamentales para alcanzar una adecuada diversificación de nuestros productos nacionales.

En el proceso de elaboración del ron se emplea como base el aguardiente. Este es un producto similar al ron crudo, siendo una bebida alcohólica producida por destilación del mosto fermentado a partir del jugo de la caña de azúcar o melazas. En su composición además de etanol, contiene cierta cantidad de compuestos secundarios que por sus características peculiares brindan aroma y sabor a la bebida, según Lyons y otros(1995).

Entre los microorganismos más utilizados en los procesos de fabricación de etanol, rones y aguardientes se destaca la levadura *Saccharomyces cerevisiae,* considerando lo planteado por Pham (1999). A pesar de que esta constituye el principal agente de la fermentación, se conoce que aporta sólo ligeras diferencias organolépticas en mostos. Es por ello que muchos productores han recurrido al empleo de cultivos mixtos con cepas diferentes a esta especie, creciendo simultánea o secuencialmente, según señalan Rosini y otros (1988); Fahrasmane y Ganou-Parfait (1997); Mateo y otros (1998).

El empleo de fermentaciones mixtas con lactobacilos heterofermentativos ha cobrado especial atención en la producción de determinadas bebidas alcohólicas. Fahrasmane y otros (1997); Wick y Lebeault, (2001) plantearon que estas bacterias son capaces de desarrollarse en mostos basados en melazas, que bajo una tecnología controlada desde el punto de vista del crecimiento bacteriano, realizan aportes significativos en las propiedades organolépticas de los productos de la destilería; al producir además de ácido láctico, otros como el acético y fórmico, que pueden ser posteriormente esterificados y en cierta medida contribuir positivamente al desarrollo del aroma en rones.

Con la adición de bacterias lácticas al medio de fermentación (inoculado previamente con la cepa de levadura alcoholera) en diferentes estadios de la fermentación, así como en diferentes proporciones; tendrán lugar cambios en la fracción volátil resultante, los cuales pueden afectar el rendimiento alcohólico y las propiedades aromáticas del producto final.

Con vistas a demostrar lo anteriormente expuesto, nos proponemos en este estudio determinar la influencia de la relación levadura/lactobacilo y el tiempo de inoculación de este último, en cultivo mixto, sobre el rendimiento alcohólico (etanol) y perfil aromático obtenidos en la batición fermentada; así como evaluar una variante de cultivo mixto que en condiciones específicas posea potencialidades para la producción de aguardiente de calidad.

MATERIALES Y METODOS

Microorganismos empleados y conservación

Bacteria: *Lactobacillus fermentum* 11-2 conservadas en caldo MRS, según de Man y cols.(1960) a 8°C. La misma procede de la Colección de Cultivos Microbianos ICIDCA.

Levadura: *Saccharomyces cerevisiae* S.A, aislada a partir de una muestra de levadura panadera seca activa, procedente de la Central de Productos Alimenticios Universal, S.A. Guatemala, utilizada como cultivo iniciador en destilerías del país. La misma es conservada en cuñas de YPG-Agar a 8ºC.

Medios de cultivo

Caldo YPG: Glucosa 2%, peptona 2%, extracto de levadura 1% (p/v), pH 5.5

Caldo MRS: Peptona 1%, extracto de carne 1%, extracto de levadura 0.5%, glucosa 2%, fosfato de potasio dibásico 0.5%, citrato de triamonio 0.2%, acetato de sodio 0.5%, sulfato de magnesio heptahidratado 0.05%, sulfato de manganeso tetrahidratado 0.02%, tween 80 al 0.1% (p/v), agua destilada en c.s., pH 5.5.

MRS Agar: Formado por la misma composición del caldo MRS y adicionándole agar al 1,5% (p/v).
Medio de producción: Miel diluida a 13.5% de Azúcares Reductores Totales (ART), fosfato de amonio dibásico 0.08%, sulfato de amonio 0.18% (p/v), agua destilada en c.s., pH 4.5. La miel final se clarificó previamente a la preparación del medio por el método ácido en caliente, reportado por Klibansky y otros (1981).

Preparación de inóculo
La biomasa celular de la cepa de levadura, desarrollada en cuñas de YPG agar por 24-48 horas a 37°C, se pasó a matraces de 500 mL de capacidad, que contenían 100 mL de caldo YPG y se incubaron a la misma temperatura en zaranda orbital LAB-LINE a 160 rpm por un período de 16 horas.
En el caso bacteriano partimos de la cepa liofilizada de *L. fermentum* 11-2, crecida en 60 mL de caldo MRS, durante 72 horas, en condiciones estáticas a 37°C. Posteriormente se inoculó en una relación de 1:10 matraces con 600 mL del mismo caldo y se incubó durante 24 horas a igual temperatura y sin agitación.

Cinética de producción de alcohol para la cepa de levadura
Se desarrolló un inóculo de la levadura siguiendo la metodología descrita con anterioridad. Posteriormente se adicionó en el medio de producción, manteniendo una relación de inoculación 1:10. Una vez inoculado en este medio, el cultivo fue incubado a 37ºC, evaluando a diferentes intervalos de tiempos (0, 10, 24, 29, 34, 55 y 72 horas) la concentración de ART y formación de etanol.

Cultivo mixto levadura-lactobacilo.
Condiciones de fermentación
Para el desarrollo del cultivo mixto se ensayaron tres relaciones levadura/lactobacilo y tres tiempos de inoculación para la cepa bacteriana en el mosto, previamente inoculado con la levadura. En todas las variantes estudiadas, se inoculó esta última a una concentración inicial en el orden de 10^7 células.mL^{-1} y los lactobacilos de acuerdo a la proporción deseada con respecto a la levadura.
Al inocular la cepa *Lb. fermentum* 11-2 a las horas 20 y 40 de iniciada la fermentación, fue determinada la concentración celular de la cepa S.A con vistas a un ajuste del inóculo bacteriano.
Para el desarrollo de los experimentos fueron empleados frascos de 400 mL de capacidad, con 250 mL del medio de producción, incubándose a 37°C, durante 60 horas y en condiciones estáticas. Al momento de inocular el cultivo de levadura se midió el contenido de ART así como la concentración celular y a la inoculación del cultivo bacteriano se determinaron las concentraciones celulares de levaduras y bacterias para establecer las respectivas relaciones. Al finalizar la fermentación se evaluó el contenido de etanol, ART, ácido L-láctico y congéneres mayoritarios presentes en el mosto.

Análisis químicos y microbiológicos
- *Determinación de azúcares reductores totales*

Fueron determinados según la metodología descrita en el Manual de Técnicas Analíticas de la Subdirección de Fermentaciones, según Biart (1975).
- *Determinación de etanol*

Se estimó la concentración alcohólica por valoración, mediante el método del dicromato de potasio en presencia de ácido sulfúrico. A partir de los datos de azúcares reductores y etanol, se calculó el rendimiento alcohólico (Y) sobre la base de ART consumidos.
- *Determinación de ácido láctico*

Se ejecutó por HPLC en una columna Hipersil 50 DS, con un flujo de 0.6 $mL.min^{-1}$, empleando un detector UV 210 nm y como solvente de corrida agua a pH 2.5; según Redondo y Zayas (2001). Los caldos fermentados fueron centrifugados (13 000 rpm en centrífuga JOUAN, 20 min a 24°C) y filtrados (filtro bacteriológico con membranas Milipore 0.2μ), para posteriormente realizar esta determinación.
- *Determinación de congéneres*

Fue cuantificada la presencia de los compuestos minoritarios acetato de etilo y alcoholes: propílico, isobutílico e isoamílico en la batición mediante cromatografía gaseosa; empleando una columna SP 1000,

con gas portador Argón a un flujo de 30 $mL.min^{-1}$, utilizando un detector FID, siguiendo la técnica desarrollada por González y Porto (1997).

- *Determinación de la concentración celular*
  - La concentración de levaduras presentes en el medio de fermentación se determinó mediante el recuento total de células en cámara de conteo celular Neubauer.
  - Para estimar la concentración celular de la cepa de lactobacilo en caldo MRS se llevó a cabo el método turbidimétrico, efectuando lecturas de densidad óptica (DO) a una longitud de onda de 640 nm, en un espectrofotómetro OPTON PM2 A. Una vez evaluada la densidad óptica, a través de una curva patrón diseñada previamente se conoció la concentración de células bacterianas presentes en los inóculos, previo a su adición al medio de fermentación
- *Determinación de viabilidad*
  - En levadura se realizó mediante tinción con solución azul de metileno, determinando el porciento de células viables.
  - En bacterias se llevó a cabo a través del método de siembra de diluciones seriadas y conteo de UFC en placas con MRS-Agar.

Procesamiento estadístico de los resultados

Se empleó un arreglo factorial 3^2 bajo un diseño completamente aleatorizado, con tres observaciones por tratamiento. Se estudiaron los factores: Relación levadura/lactobacilo y Tiempo de inoculación del lactobacilo en el co-cultivo, los cuales se identificaron en la matriz con las letras A y B respectivamente, realizando su estudio a tres niveles cada uno, aplicando un total de 9 tratamientos (ver Tabla 1).

Tabla 1. Factores y niveles analizados para un cultivo mixto *Lb. fermentum* 11-2 / *Sacch. cerevisiae* S.A.

Factor	Nivel	Codificación
A (*Relación levadura/lactobacilo*)	4:1	-1
	2:1	0
	1:1	1
B (*Tiempo de inoculación*)	Hora 0	-1
	Hora 20	0
	Hora 40	1

Se analizó el efecto conjunto de las combinaciones de niveles de los factores en las siguientes variables respuestas: rendimiento alcohólico, ácido láctico, acetato de etilo, alcoholes: propílico, isobutílico, isoamílico.

Todas las muestras se evaluaron por triplicado. Los datos fueron procesados a partir de un ANOVA bifactorial; aplicando el estadígrafo T de Student para la comparación de medias con un 95% de confianza, empleando para ello el paquete de programas STATGRAPHICS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinética de producción de alcohol para *Saccharomyces cerevisiae* S.A

El estudio del tiempo de inoculación de los lactobacilos en el cultivo mixto, está estrechamente relacionado con su tolerancia al etanol, debido a que durante el transcurso de la fermentación aumenta la concentración de este metabolito, lo cual puede incidir en la viabilidad de las células bacterianas.

Por tal motivo, se hace necesario cuantificar la producción de alcohol en el tiempo por la levadura, como una premisa para establecer una relación entre la concentración alcohólica que hay presente en el medio

de fermentación en un tiempo dado, con la tolerancia de la cepa bacteriana a dicha concentración, siendo esto último resultado de estudios anteriores.

La Figura 1 muestra el contenido de ART y la formación de alcohol en el tiempo para la levadura S.A, se aprecia que una vez inoculada la misma en el medio de fermentación, esta es capaz de degradar los carbohidratos presentes para la formación de etanol, obteniéndose un máximo en la concentración de este metabolito alrededor de las 60 horas.

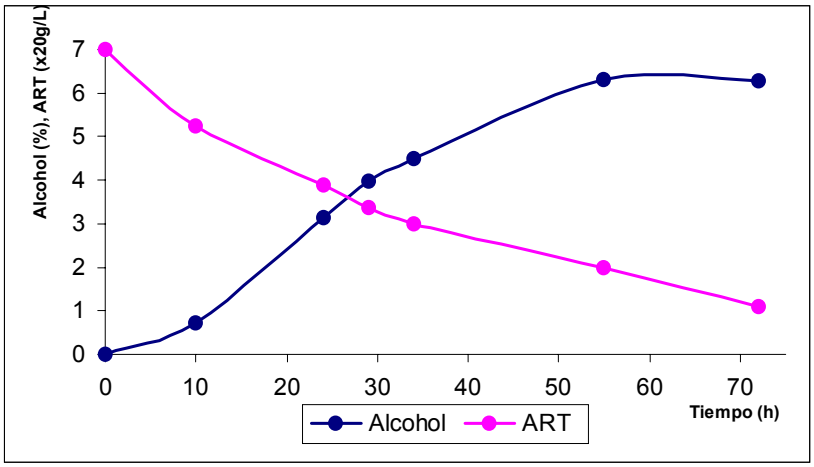


Figura 1. Producción de alcohol y consumo de ART por *Saccharomyces cerevisiae* S.A., cultivo estático, 37ºC, medio de producción.

Los valores de velocidad de formación de etanol en el tiempo mostraron una máxima velocidad de producción de este compuesto por la levadura a la hora 25 de iniciada la fermentación; indicando que las células a este tiempo alcanzan su máxima capacidad metabólica para convertir los azúcares consumidos en etanol.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de varias determinaciones realizadas al inicio y final de la fermentación para la cepa de levadura estudiada.

Tabla 2. Algunos parámetros fermentativos de *Saccharomyces cerevisiae* S.A.

Y (%)	**Conteo celular** ($x10^6$cel.mL^{-1})		**Viabilidad** (%)	
	inicial	**final**	**inicial**	**final**
58,2	80,0	150,0	100,0	51,0

El rendimiento alcohólico basado en los azúcares reductores consumidos nos dan una medida de la capacidad metabólica de la cepa de transformar estos compuestos en etanol. El mismo resultó adecuado, si tenemos en cuenta el rendimiento teórico a alcanzar para este tipo de fermentación; indicando la presencia en esta cepa, de un sistema enzimático capaz de generar de una forma eficiente altas concentraciones de etanol.

Referido a la viabilidad, hubo una disminución de la misma al final de la fermentación, lo cual guarda relación con lo apreciado en la Figura 1, donde el agotamiento de la fuente de Carbono y energía, unido al efecto tóxico provocado por la alta concentración de etanol acumulada en el medio traen consigo una

disminución de la viabilidad celular. El conteo celular se incrementó hacia el final de la fermentación, ocurriendo en forma moderada ya que las células se encuentran realizando mayormente un metabolismo fermentativo, dirigido hacia la obtención de etanol.

Cultivo mixto levadura-lactobacilo

A partir de un análisis realizado en estudios anteriores de tolerancia a etanol para la cepa *Lb. fermentum* 11-2, se decidió evaluar el tiempo de inoculación de la misma para un rango entre las 0 y 40 horas de iniciada la fermentación por la cepa de levadura; ya que después de las 40 horas la levadura produce niveles de etanol que resultan de una toxicidad significativa para esta cepa de lactobacilo.

En cuanto a la selección de las proporciones de levadura-lactobacilo a estudiar, se tomó como criterio los reportes que aparecen en la literatura referidos a la incidencia de lactobacilos en fermentaciones alcohólicas; donde se recomiendan las menores afectaciones en el rendimiento alcohólico al trabajar en igualdad de proporciones entre ambos grupos microbianos o al estar los lactobacilos en cantidades inferiores al número de células de levadura, según Fahrasmane y Ganou-Parfait (1997); Thomas y otros (2001).

Para analizar la influencia de los factores relación levadura/lactobacilo y el tiempo de inoculación sobre: rendimiento alcohólico, producción de ácido láctico, acetato de etilo y alcoholes superiores, fue realizado un diseño factorial 3^2; mostrando en la Tabla 3 los resultados obtenidos durante las corridas experimentales del mismo.

Después de procesar estadísticamente los resultados se obtuvo el modelo matemático que describe la superficie de respuesta para cada variable.

Tabla 3: Resultados del cultivo mixto al aplicar los tratamientos sobre el rendimiento alcohólico y congéneres evaluados.

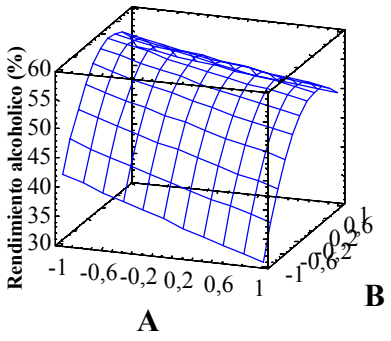
Tratamientos	**Y** (%)	**Etanol** (%)	**Ác.láctico** (mg x mL^{-1})	**Acetato de etilo** (g x 100 mL^{-1})	**Propílico** (g x 100 mL^{-1})	**Isobutílico** (g x 100 mL^{-1})	**Isoamílico** (g x 100 mL^{-1})
1	42.8	3.3	14.7	0.4	2.0	2.6	4.4
2	38.9	3.4	17.7	0.4	2.2	2.7	5.1
3	27.0	1.8	17.8	0.5	1.9	2.6	4.3
4	53.4	6.2	11.6	0.7	4.1	3.9	8.7
5	55.2	6.1	13.0	0.6	4.4	3.7	7.5
6	54.8	6.0	14.7	0.6	4.7	3.3	6.8
7	57.8	5.7	10.3	0.5	2.6	3.0	5.5
8	47.7	4.7	10.9	0.4	1.5	2.7	4.3
9	49.0	3.9	12.6	0.4	1.4	2.3	4.6

Rendimiento alcohólico

Las investigaciones encaminadas hacia el estudio de contaminantes bacterianos en fermentación alcohólica han sido interés de un gran número de investigadores a escala mundial; concluyendo que la presencia de bacterias en el medio ha de ser un parámetro a controlar, ya que pueden llegar a ocasionar pérdidas en el rendimiento alcohólico.

Thomas y cols. (2001) demostraron que *Lactobacillus fermentum* creciendo en mostos de destilería, reducía el rendimiento alcohólico durante la etapa fermentativa. Resultados similares fueron encontrados por Makanjuola y otros (1992), así como Narendranath y otros (1997), los que asociaron las pérdidas del rendimiento etílico con el nivel de contaminación bacteriana; planteando que al incrementarse el número de bacterias, provocaba progresivamente una disminución en la producción de alcohol.

En la Figura 2 se muestra la superficie de respuesta del rendimiento alcohólico para los rangos de los factores evaluados, donde el modelo obtenido describe la data experimental para el rendimiento alcohólico en un 83,5 %.



$$Y= 54.34-3.88\ A + 7.64\ B - 10.58\ B^2$$

Figura 2. Modelo de superficie de respuesta obtenido para el rendimiento alcohólico.

Puede observarse que existe una influencia significativa de los factores A y B (ver anexo 1). En el caso del factor A, a pesar de que no se alcanzó un valor óptimo, existe una tendencia a incrementar el valor del rendimiento cuando se trabaja a la menor relación levadura/lactobacilo (4:1). La influencia significativa de B provoca un rendimiento máximo (óptimo) cuando se trabaja a un valor de B=0,28 (25,6h), disminuyendo hacia los extremos del rango evaluado, en ambos casos. La combinación de los factores en los niveles propuestos provoca una maximización del rendimiento hasta un valor estimado de 59,6 %.

A pesar de que la fermentación alcohólica resulta menos eficiente energéticamente que la respiración, al no producirse una oxidación neta de los azúcares; constituye la vía por excelencia para que las células de levadura obtengan la energía necesaria para los procesos metabólicos en condiciones limitadas de oxígeno molecular. Por esto, la formación de etanol se encuentra directamente asociada al crecimiento bajo estas condiciones.

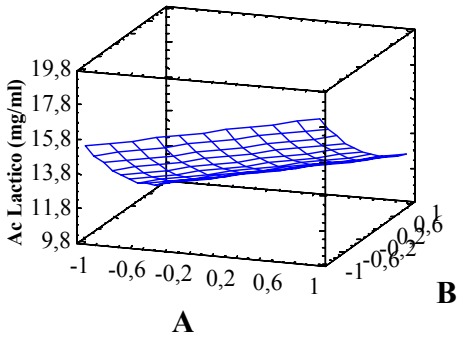
Según el valor estimado por el modelo, el rendimiento alcohólico alcanzó su máximo valor al inocular los lactobacilos a una menor concentración (relación 4:1) y en el entorno de tiempo de las 26 horas de fermentación; tiempo al cual la velocidad de producción de alcohol por la levadura en cultivo puro alcanza su valor máximo.

Estos resultados pudieran sugerir que durante este período se haya favorecido la competencia ecológica entre ambos grupos microbianos hacia la levadura, con una multiplicación celular máxima, por tanto, una asimilación más rápida de los nutrientes presentes en el medio. De tal modo es contenida la proliferación bacteriana, la cual afectaría sin lugar a dudas los índices fermentativos, tal como ha sido planteado por la literatura y hemos corroborado también en nuestro diseño experimental.

Debemos tener presente que los descensos en el rendimiento alcohólico no pueden ser atribuidos solamente al crecimiento bacteriano, sino además a la formación de compuestos derivados de la propia actividad metabólica bacteriana o por la influencia ejercida sobre el metabolismo de las levaduras; lo cual conlleva a un incremento en la producción de metabolitos tales como glicerol, ácidos láctico y acético, entre otros.

Ácido láctico

El comportamiento de los valores de ácido láctico alcanzados en el rango de los factores evaluados durante el cultivo mixto, puede ser apreciado en la Figura 3; en este caso el 90.3 % de los datos experimentales son descritos a partir del modelo obtenido para esta variable.
Existe una influencia significativa por parte de los factores A y B sobre la producción de este compuesto (ver anexo 2). El valor estimado de B para el cual la producción de ácido láctico es mínima (9.1 $mg.mL^{-1}$) coincidió cuando inoculamos el cultivo bacteriano a la hora 40 de transcurrida la fermentación; por lo que al disminuir los valores del tiempo de inoculación dentro del rango evaluado, existe una tendencia a aumentar el valor de la variable respuesta. Para el caso del factor relación levadura/lactobacilo (B) hay una disposición a incrementar los valores de ácido láctico cuando se inoculan las bacterias en proporciones mayores; por tanto, si deseamos obtener la mayor producción de este metabolito estimada por el modelo (18.3 $mg.mL^{-1}$), las condiciones serían para A=1(1:1) y B=-1(0h).



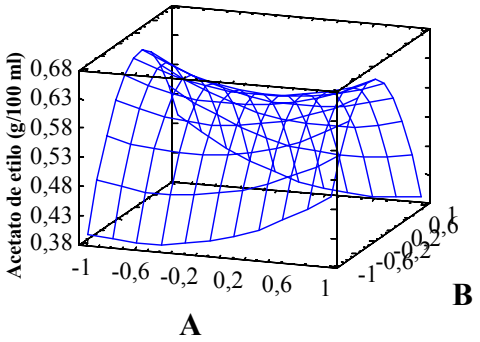
Ac. Láctico= $13.1+1.41A-2.72B+0.9B^2$

Figura 3. Modelo de superficie de respuesta obtenido para el ácido láctico.

La respuesta es de esperar, ya que la presencia de bacterias ácido-lácticas en el medio, es quién modula la producción de ácido láctico hacia valores significativamente diferentes; al inocular el cultivo bacteriano a la hora inicial de la fermentación se ve favorecido su crecimiento, ya que la disponibilidad de nutrientes es mayor y las células de levadura no han acumulado etanol en el medio, el cual resulta tóxico a los lactobacilos a determinado nivel; favoreciéndose de esta forma el desarrollo bacteriano y la producción de ácido láctico. Por otro lado, a la hora inicial de la fermentación el metabolismo de las levaduras se encuentra en una fase de adaptación a las nuevas condiciones de cultivo.
Si en nuestra experiencia estimamos el valor de producción de ácido láctico en las condiciones donde el rendimiento alcohólico es máximo (A=–1 y B=0.28) tendríamos un valor de 11$mg.mL^{-1}$, el cual dista significativamente de la máxima producción (18.3 $mg.mL^{-1}$) descrita por el modelo para el ácido láctico. Este resultado corrobora que bajo estas condiciones de inoculación, el crecimiento de bacterias lácticas y su influencia en la fermentación alcohólica tiende a minimizarse.
La producción de ácido láctico durante fermentaciones alcohólicas encaminadas hacia la elaboración de bebidas, resulta un parámetro fundamental a controlar, ya que puede llegar a incidir directamente en la acidez final del mosto fermentado.

Acetato de etilo

La superficie de respuesta para el acetato de etilo en el rango de los factores evaluados aparece en la Figura 4. En este caso, el comportamiento de los datos experimentales es descrito por el modelo prácticamente en un 90%.



Acet. de Etilo= $0.6+0.044A^2-0.05AB -0.2B^2$

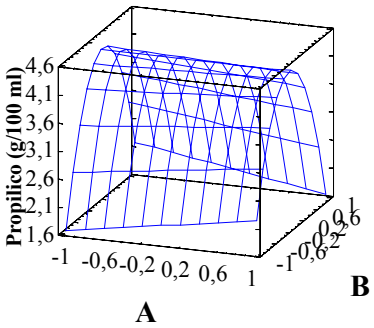
Figura 4. Modelo de superficie de respuesta obtenido para el Acetato de etilo.

Se obtuvo una influencia significativa para ambos factores (A y B) sobre la producción de este compuesto (ver anexo 3), produciendo una síntesis máxima ($0.65g.100mL^{-1}$) al inocular el lactobacilo a las 20 horas de iniciada la fermentación (valor codificado: 0.12) y a una relación 4:1 (valor codificado:-1). En el resto del intervalo evaluado para ambos factores disminuyó el valor de la variable respuesta.
Al comparar los resultados estimados por el modelo del rendimiento alcohólico y el acetato de etilo, desde el punto de vista de la influencia de los factores evaluados, observamos una estrecha similitud; para ambos casos la mayor producción de dichos metabolitos resulta al emplear la menor proporción de bacterias en el cultivo mixto (4:1), con entornos de valores de tiempo de inoculación (B) muy cercanos entre sí (25 y 20 horas, respectivamente).
Los ésteres se forman mediante la reacción de esterificación entre los alcoholes y los ácidos orgánicos presentes en la batición, según Jover (2000), por tanto mientras mayor sea la producción de etanol en el medio, se verá favorecida la formación de acetato de etilo de acuerdo a los niveles de ácido acético existentes. Reed y Peppler (1975) plantearon que el origen de los ésteres se debe a un proceso biosintético llevado a cabo por las levaduras, durante el cual se fragmenta la fracción ácida de los compuestos acil CoA mediante una alcohólisis con el etanol.
Por su parte Jay (1982) estudió la presencia de lactobacilos heterofermentativos en el medio de fermentación demostrando su capacidad para sintetizar diferentes ácidos, entre ellos el acético; sugiriendo además la posible formación de ésteres proveniente de los mismos.
Las bacterias lácticas al interactuar con las células de levadura en el cultivo mixto, pudieran modular la producción de ácido acético, ya sea producto de su propio metabolismo o por la acción ejercida sobre el metabolismo de las levaduras; variando la formación de ésteres derivados del ácido acético. Thomas y otros (2001) realizando estudios sobre la influencia de los lactobacilos en la fermentación alcohólica, encontraron que la inoculación de estas bacterias en diferentes estadios de la fermentación influía determinantemente en la producción de ácido acético por levaduras.

Alcoholes superiores
Las células de levadura durante el proceso fermentativo forman alcoholes superiores como compuestos minoritarios de su actividad metabólica, a partir de aminoácidos o ceto-ácidos.

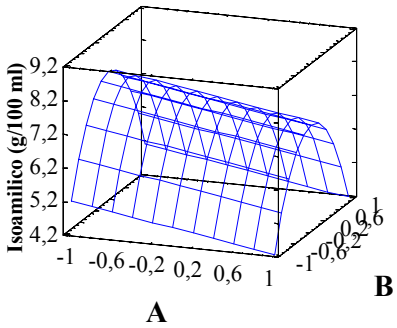
En las Figuras 5, 6 y 7 se muestran los modelos que describen las superficies de respuesta para la síntesis de alcoholes superiores. Entre el 87 y 91% de los datos experimentales se encuentran descritos por los modelos para cada variable.

La influencia de la relación levadura/lactobacilo (A) y el tiempo de inoculación del lactobacilo (B) sobre la síntesis de los alcoholes propílico, isoamílico e isobutílico fue evaluada para el rango de los factores estudiados (ver anexos 4, 5 y 6), destacándose valores significativamente diferentes del factor B, que provocan una síntesis máxima para cada uno de los alcoholes, tales como: B(propílico)=-0.055, B(isobutílico)=0.079 y B(isoamílico)=0, coincidiendo con los valores de 19, 21.6 y 20 horas respectivamente, para cada alcohol. La influencia significativa de A es similar para los alcoholes propílico, isobutílico e isoamílico, con una tendencia a la mayor síntesis de estos compuestos por las levaduras cuando se trabaja a la menor proporción de lactobacilos en el co-cultivo (4:1), para el rango estudiado.



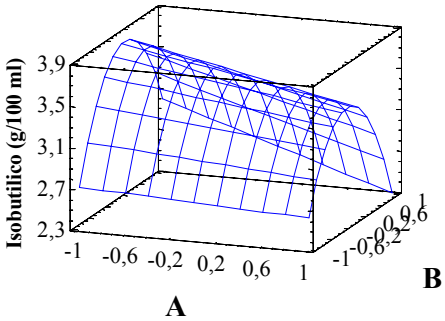
Propílico = $4.37-0.27AB-2.43B^2$

Figura 5. Modelo de superficie de respuesta para el alcohol propílico.



Isoamílico $=7.69-0.48A-2.99B^2$

Figura 6. Modelo de superficie de respuesta para el alcohol isoamílico.



Isobutílico $=3.62-0.2A-0.15AB-0.96B^2$

Figura 7. Modelo de superficie de respuesta para el alcohol isobutílico.

Como es posible apreciar, la mayor síntesis de alcoholes superiores en el cultivo mixto ocurrió de forma general, para valores de tiempo de inoculación dispuestos en el entorno de la hora 20, estando este muy próximo al valor obtenido de B para el cual tuvo lugar un máximo de rendimiento alcohólico (26 horas); lo cual corrobora lo planteado por Cachot y otros (1991) que la síntesis de alcoholes superiores está indisolublemente asociada a la producción de etanol por las levaduras .

La influencia significativa de B sobre los alcoholes propílico, isobutílico e isoamílico, conduce a la mayor síntesis de estos compuestos cuando se trabaja al nivel más bajo de este factor (-1), o sea, para una relación 4:1; donde los lactobacilos están en la menor proporción con respecto a la concentración existente de levadura. Bajo estas condiciones pudiera verse favorecida la competencia nutricional hacia satisfacer las demandas de la cepa de levadura S.A y por tanto conducir a una mayor actividad metabólica y producción de compuestos minoritarios como los alcoholes fusel.

En este sentido debemos destacar que de acuerdo a la composición del medio de fermentación, desde el punto de vista nutricional, el mayor antagonismo radica en la demanda de Nitrógeno amino libre pues por lo general, según Serrano y otros (1989), plantean que los lactobacilos no utilizan el ión amonio como fuente de Nitrógeno; asimilando preferencialmente los grupos amino aportados por los aminoácidos presentes en la miel. Estos también serán consumidos por la levadura, teniendo en cuenta que en presencia de los mismos, algunas enzimas requeridas para su síntesis son reprimidas a nivel transcripcional como principio de economía celular, así lo da a conocer Thevelein (1996).

Evaluación del cultivo mixto frente al cultivo puro de levadura

Una vez conocida la influencia que ejercen los factores (A y B) sobre las variables respuesta en el cultivo mixto, se realizó un análisis comparativo con un cultivo puro de levadura; de modo que podamos constatar el aporte organoléptico del cultivo bacteriano sobre la producción de congéneres y alcoholes superiores; considerando que nuestro trabajo va encaminado hacia la obtención de aguardiente de calidad y que una disminución en exceso del rendimiento alcohólico trae consigo graves afectaciones en la productividad del sistema.

Las normas cubanas exigen que para un destilado alcohólico sea aceptado como aguardiente, la acidez, ésteres y alcoholes superiores deben poseer la concentración adecuada según el rango establecido para estos parámetros. Los valores obtenidos de estos compuestos en mostos influirán directamente sobre la calidad del destilado, logrando aguardientes con calidad superior al incrementarse la concentración de ésteres y disminuir los alcoholes superiores.

Berry y Watson (1991) señalan que la contribución positiva de los ésteres radica en el olor y sabor típico que adquiere la bebida a causa de su presencia. Por su parte, Benvenisty y Eden (2000) plantean que la concentración de alcoholes superiores va a estar regulada por el tipo de bebida, considerado que a valores superiores de los establecidos, impactan negativamente en las propiedades organolépticas del destilado final.

Al no existir una directriz económica que indique hasta que punto puede comprometerse los rendimientos alcohólicos para incidir positivamente sobre la síntesis del resto de los metabolitos involucrados en el aroma y bouquet del aguardiente, se decidió evaluar al cultivo puro frente aquella variante de cultivo mixto donde la influencia de los factores provocaba un rendimiento alcohólico máximo (valores codificados: A=-1 y B=0.28).

A través de los modelos obtenidos para cada variable del diseño se estimaron los valores que alcanzarían las mismas, en las condiciones de trabajo antes seleccionadas. En la Tabla 4 se reflejan estos valores comparados con los resultados alcanzados experimentalmente para el cultivo de levadura.

Al comparar los resultados del cultivo puro con el mixto observamos que no hay diferencias significativas para el rendimiento alcohólico, no ocurriendo así para los valores de ácido láctico y acetato de etilo, donde la síntesis de estos metabolitos fue significativamente superior para el cultivo mixto. En el caso de los alcoholes superiores se observó una disminución significativa de propílico e isoamílico para el cultivo mixto, siendo no significativas las diferencias encontradas para el isobutanol, al comparar el mismo con el cultivo de levadura.

Tabla 4. Comparación entre la cepa *Saccharomyces cerevisiae* S.A y una variante de cultivo mixto

Variable	Levadura	Mixto	p	Significación Estadística
Rendimiento (%)	57.60	59.50	0.500	N.S
Ácido láctico ($mg.mL^{-1}$)	9.20	11.00	0.047	S
Acetato de etilo ($g.100mL^{-1}$)	0.36	0.60	0.036	S
Propílico ($g.100mL^{-1}$)	7.89	4.30	0.003	S
Isobutílico ($g.100mL^{-1}$)	4.90	3.80	0.101	N.S
Isoamílico ($g.100mL^{-1}$)	13.40	7.90	0.006	S

Leyenda:
S: Diferencias significativas
N.S: Diferencias no significativas
p: Probabilidad asociada con la prueba t de Student

Si enfocamos los resultados anteriormente analizados hacia la producción de aguardiente de calidad, tenemos de forma general, que el empleo del cultivo mixto levadura-lactobacilo en las condiciones seleccionadas (A=-1 y B=0.28), resulta más ventajoso que el uso del cultivo de levadura, ya que sin afectar los índices fermentativos se mejoró significativamente el perfil aromático de la batición fermentada.
Los resultados alcanzados son favorables, ya que no sólo comprobamos la importancia que tienen los factores relación de inóculo y tiempo de inoculación durante las experiencias llevadas a cabo; sino además, nos permiten concluir que no debemos perder de vista los niveles de contaminación microbiana durante la práctica industrial, donde el proceso fermentativo tiene lugar en condiciones no asépticas. Un excesivo desarrollo de la biota contaminante que acompaña a las levaduras trae consigo pérdidas significativas en el rendimiento alcohólico, las cuales en condiciones controladas pueden ser minimizadas a la vez que se favorecen las características de un mosto destinado a la producción de aguardiente de calidad.

CONCLUSIONES

- Durante el desarrollo del cultivo mixto se observó una influencia significativa de los factores relación levadura/lactobacilo y tiempo de inoculación del lactobacilo sobre el rendimiento alcohólico y perfil aromático de la batición fermentada.
- Al ensayar el cultivo mixto en condiciones específicas (relación levadura/lactobacilo: 4:1 y tiempo de inoculación del lactobacilo: 26 horas) se obtuvo un mosto con mayores potencialidades para la producción de aguardiente, con respecto a un cultivo puro de la cepa *Saccharomyces cerevisiae* S.A.

REFERENCIAS

- Benvenisty, N., Eden, A. (2000), The use of yeast strains to reduced the production of fusel oil (high alcohol) in alcohol beverages. http://www.yissum.co.il.
- Berry, D. R., Watson, D. C. (1991), Production of organoleptic compounds. En Yeast Biotechnology. (D.R. Berry, I. Russell, G. G. Stewart. ed).Allen and Unwind, Winchester, Mass.
- Biart, J. R. (1975), Determinación de azúcares. Método Eynon-Lane modificado. Manual de técnicas analíticas de la Subdirección de Fermentaciones. ICIDCA.
- Cachot, T.; Muller, M., Pons, M. (1991), Kinetics of volatile metabolites during alcoholic fermentation of cane molasses by *Saccharomyces cerevisiae*. Appl. Microbiol Biotechnol. 35, 450-454.
- de Man, J. C.; Rogosa, M., Sharpe, M. E. (1960), A medium for the cultivation of lactobacilli. J. Appl. Bacteriol. 23, 130-135.
- Fahrasmane, L.; Ganou-Parfait B., Bazile, F. (1997), Microbiologic research and rum industry in French West Indies. Libro Resúmenes 1er Taller Internacional de Productores de Alcohol (TIPAL'97), Matanzas, Cuba.
- Fahrasmane, L., Ganou-Parfait, B. (1997), De la canne au rhum. Technique et practiques (INRA, Paris. Ed).
- González, M. D., Porto, O. (1997), Manual de Técnicas Analíticas para la Industria Ronera. ICIDCA.
- Jay, J. M. (1982), Antimicrobial properties of diacetyl. Appl. Environ. Microbiol. 44, 525-532.
- Jover, J. A. (2000), Caracterización de la fermentación alcohólica de melazas en función de los componentes volátiles no etanol. Tesis de Doctorado. Universidad Central Marta Abreu. Villa Clara. Cuba.
- Klibansky, M.; Saez, A., Readigos, R. (1981), Estudio de la clarificación de las mieles para la producción de biomasa. Revista ICIDCA. 15(1), 29-39.
- Lyons, T. P.; Kelsall, D. R., Murtagh, J. E. (1995), The Alcohol Textbook (T.P. Lyons, D.R. Kelsall, J.E. Murtagh. ed). Nottingham University Press, Nottingham..
- Makanjuola, D. B.; Timón, A., Springham, D. G. (1992), Some effects of lactic acid bacteria on laboratory scale yeast fermentations. Enz. Microb. Technol. 14, 351-357.
- Mateo, J. J.; Jiménez, A. P., Huerta, T. (1998), Influence of inoculation time of high sugar content must on the formation of wine aroma. W. J. Microbiol. Biotech. 14, 357-363.
- Narendranath, N. V.; Inés, S. H.; Thomas, K. C., Ingledew, W. M. (1997), Effects of lactobacilli on yeast-catalyzed etanol fermentations. Appl. Environ. Microbiol. 63(11), 4158-4163.
- Pham, H. (1999), Modelling and control of microbial fed-batch and pH auxostat proceses. Tesis de Doctorado. Instituto Real de Tecnología, Estocolmo, Suecia.
- Redondo, D., Zayas, O. (2001), Montaje de una técnica por HPLC para la determinación de ácidos orgánicos en mieles y jugos de caña de azúcar. Revista ICIDCA 35, 2-3.
- Reed, G., Peppler, H. (1975), Yeast Technology (Reed, G. y Peppler, H. ed). The AVI Publishing Company Inc.
- Rosini, G.; Ciani, M., Vaughan, M. A. (1988), Vino Sagrantino DOC: correlazione tra la coltura di *Saccharomyces cerevisiae* isolate dai vini e quelle presente nei localli di vinificazione. Ann. Microbiol. 38, 171-179.
- Serrano, P.; Brizuela, M. A.; González, A., Cabello, A. (1989), Evaluación de fuentes de carbono y nitrógeno para el crecimiento de bacterias lácticas. Revista ICIDCA 23(2), 6-10.
- Thevelein, J. M. (1996), Adaptation of yeast to environmental changes. Libro Resúmenes 1erSimposio Europeo en Ciencia de Ingeniería Bioquímica, Dublín, Irlanda. 15.
- Thomas, K. C.; Hynes, S. H., Ingledew, W. M. (2001), Effect of lactobacilli on yeast growth, viability and batch and semicontinuous alcoholic fermentation of corn mash. J. Appl. Microbiol. 90(5), 819.
- Wick, M., Lebeault, J. M. (2001), Pressure measurement to evaluate ethanol or lactic acid production during glucose fermentation by yeast or heterofermentative bacteria in pure and mixed culture. Appl. Microbiol. Biotech. 56, 687-692.

ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de Varianza para el Rendimiento alcohólico

Factores	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	F	p
A: Relación lev./lactob.	272,222	1	272,222	12,87	0,0020
B: Tiempo de inoc.	1051,88	1	1051,88	49,75	0,0000
AA	0,18963	1	0,18963	0,01	0,9255
AB	36,75	1	36,75	1,74	0,2031
BB	672,747	1	672,747	31,82	0,0000
bloque	4,26741	2	2,1337	0,10	0,9045
Error total	401,746	19	21,1445		

ANEXO 2: Análisis de Varianza para el ácido láctico

Factores	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	F	p
A: Relación lev./lactob.	35,8422	1	35,8422	39,50	0,0000
B: Tiempo de inoc.	133,389	1	133,389	147,02	0,0000
BB	4,86	1	4,86	5,36	0,0309
bloques	3,57556	2	1,78778	1,97	0,1643
Error total	19,0533	21	0,907302		

Anexo 3: Análisis de Varianza para el acetato de etilo

Factores	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	F	p
AA	0,0118519	1	0,0118519	7,42	0,0127
AB	0,0310083	1	0,0310083	19,40	0,0002
BB	0,241335	1	0,241335	151,01	0,0000
bloques	0,0177852	2	0,00889259	5,56	0,0115
Error total	0,0335602	21	0,0015981		

Anexo 4: Análisis de Varianza para el alcohol propílico

Factores	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	F	p
AB + bloque	0,9075	1	0,9075	5,41	0,0296
BB	35,6078	1	35,6078	212,31	0,0000
bloques	0,813696	2	0,406848	2,43	0,1117
Error total	3,68968	22	0,167713		

Anexo 5: Análisis de Varianza para el alcohol isoamílico.

Factores	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	F	p
A: Relación lev./lactob+ b	4,17605	1	4,17605	10,14	0,0043
BB	53,7802	1	53,7802	130,58	0,0000
bloques	1,09239	2	0,546193	1,33	0,2859
Error total	9,06097	22	0,411862		

Anexo 6: Análisis de Varianza para el alcohol isobutílico.

Factores	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado medio	F	p
A: Relación lev./lactob.	0,728022	1	0,728022	25,58	0,0001
AB	0,276033	1	0,276033	9,70	0,0052
BB	5,51042	1	5,51042	193,63	0,0000
bloque	0,194756	2	0,0973778	3,42	0,0517
Error total	0,597639	21	0,028459		

PRODUCTION OF ETHANOL WITH FREE AND IMMOBILIZED CELLS ZYMOMONAS MOBILIS

Rebroš Martin[1], Rosenberg Michal[1], Krištofíková Ľudmila[1], Stloukal Radek[2], Forsthoffer Július[2]
[1]*Department of Biotechnology, FChPT-STU, Radlinského 9, Bratislava, Slovakia; e-mail: mrebros@hotmail.com*
[2]*MEGA a.s., Pod Vinicí 83, Stráž pod Ralskem, Czech republic,* www.mega.cz

Key words:*Zymomonas mobilis*, ethanol, immobilization

Abstract

Immobilized living cell systems offer several important advantages compared to conventional fermentation processes. These include the possibility of continuous operation at high dilution rates with no wash out danger, the reduction of non-productive growth phases, faster reaction rates at increased cell density and higher yields. These advantages are also significant from the comparison of batch fermentation of free and immobilized *Zymomonas mobilis.*
Microorganisms have been immobilized to LentiKats®. They are lens-shaped PVA (polyvinylalcohol) immobilizates, produced by new simple gelification technique at room temperature. LentiKats® were prepared on operating equipment in MEGA a.s. (Czech republic). Both types of fermentations have been made at the same conditions on semi-defined medium with 100 g/l of glucose, in 1 l vessel. The conversion of glucose was 100 % resulting in an ethanol concentration of 50,0 g/l for free and immobilized cells. The yield of ethanol was 98 % of theoretical. Main difference in process was in fermentation time. For free cells it was 12 hours whereas for immobilizates it was only 5,7 hours. It was due to high biomass concentration in immobilized system. From these results it is significant, that immobilized system in batch culture is more effective than for free one. The immobilized system was stable for 30 days without any changes. Batch fermentation of free cells on sucrose medium (100 g/l) has been also studied. Formation of side product levan was detected during the fermentation.

Introduction

With the depletion of the world's petroleum supply, there has been an increasing worldwide interest in alternative, non-petroleum-based sources of energy. It is an ethanol that has been trusted as an alternative fuel for the future. Approximately 93% of ethanol is obtained by fermentation (Zaldivar 2001).
Zymomonas mobilis is Gram-negative facultative bacterium, which has been considered as an alternative to yeast in the synthesis of industrial ethanol. These facultative anaerobic bacteria metabolise glucose and fructose via glycolitic Entner-Doudoroff pathway, which is usually present in aerobic microorganism (Gunasekaran 1999). In conjunction with the enzymes pyruvate decarboxylase and alcohol dehydrogenase sugars are fermented to ethanol and CO_2 (Albert 1999). Within this metabolic pathway each mole of glucose consumed produces one mole of ATP. This mechanism of glucose uptake minimizes the amount of glucose converted into biomass and increases the ethanol productivity. The molar conversion of glucose to ethanol and CO_2 may vary according to culture condition chosen. In the same way as glucose, *Zymomonas mobilis* is able to degrade fructose to ethanol, CO_2 and cell mass. Other than these two hexoses, only the disaccharide sucrose can be utilize as a carbon source. Sucrose can be hydrolyzed to glucose and fructose and further metabolized. Under anaerobic conditions sorbitol and gluconic acid are the by-products. Under aerobic conditions it is acetaldehyde (Silveira 2002). Formation of polysaccharide levan was detected in fermentation of sucrose (Silveira 2002).
During last three decades there is increased interest in the research of immobilized living cell systems which has several benefits compared to conventional fermentation processes. Very effective and useful matrices for microorganisms entrapment is polyvinyl alcohol (PVA). The gelation of the immobilizates

is based on partial drying at room temperature and therefore it is very gentle to microorganisms (Jekel et al. 1998). Immobilizates, lens-shaped hydrogels called LentiKats, offers several advantages in comparison with another gels: low cost for matrix and production, easy preparation, excellent mechanical stability, easy separation from reaction mixture (diameter: 3-4 mm), low diffusion limitation (thickness: 200-400 μm) and no degradation of the matrix (Czichocki et al. 2001). This type of immobilizate were successfully investigated in several biological processes such as cider fermentation (Durieux et al. 2000), nitrifiers immobilization (Jekel et al. 1998) amiloglucosidase entrapment (Czichocki et al. 2001) and bioconversion of glycerol into 1,3-propanediol (Wittlich et al. 1999). In this work we have studied the application of LentiKats for immobilization of Zymomonas mobilis.

Material and methods

Immobilizates have been prepared in MEGA a.s. (Czech republic, www.mega.cz). 600 ml of PVA – melted gel was mixed at 40ºC with 150 ml of homogenous biomass solution. Gel was dropped through LentiKats printer on hard surface and dried in laminar airflow cabinet at gradient of temperature. LentiKats were afterwards stabilized for two hours in stabilizing solution. The initial biomass concentration was 0,37 g of biomass in 1 l of immobilizates.
For all fermentation experiments, a pH of 5,0 (using automatic addition of 2M NaOH) and a temperature of 30°C were maintained in 1 l, nonaerated, gently agitated (200 rpm) fermenter LF3. The medium composition was: glucose 100 g/l (or sucrose 100g/l); yeast extract 5 g/l; $(NH_4)_2SO_4$ 1g/l; $MgSO_4.7H_2O$ 0,5g/l; KH_2PO_4 1g/l, for experiments with free and immobilized cells.
Glucose, sucrose and ethanol was analyzed by HPLC using a IEX H form column (Watrex, Czech republic). Analysis was done at 50ºC with 9 mM sulfuric acid as the eluent at a flow rate of 0,7 ml/min. Biomass concentration of free cells in medium was estimated using a correlation between optical density measurement at 620 nm and cell dry weight. Biomass concentration in immobilizates was determined as cell dry weight within melted LentiKats.

Results and discussion

In Fig. I the novel lens-shaped biocatalysts, LentiKats, with a diameter between 3-4 mm and height of 200 to 400 μm is illustrated schematically. Initial biomass concentration of *Zamomonas mobilis* within the immobilizates was 0,37 g of biomass per l of gel.

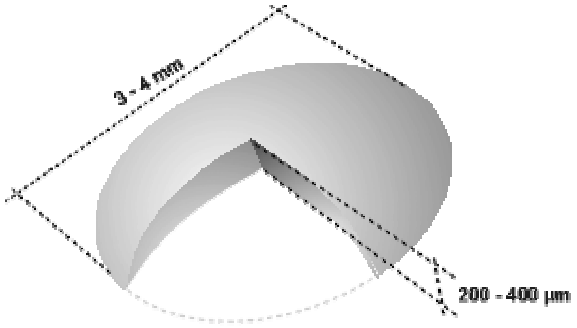


Fig. I Schematic view of a LentiKats® lens.

The fermentation with *Zymomonas mobilis* has been made for free and immobilized cells to show the difference between these two processes.

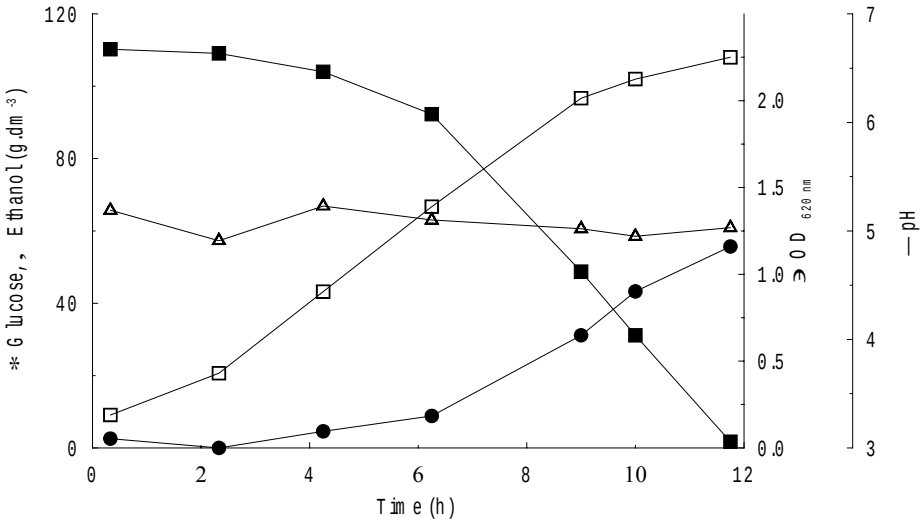


Fig. II Batch fermentation with free cells on glucose medium.

Results of batch fermentation with free cells, presented in Fig. II, shows quite short lag phase of fermentation (about 1 hour). The concentration of biomass rise up from 0,18 g/l to 3,1 g/l. The ethanol yield was 99 % of theoretical with final concentration of 55,7 g/l of ethanol in the medium. Glucose with initial concentration of about 110 g/l was completely utilized. This batch fermentation takes 12 hours.
One of advantage of immobilizate system is that the same cells can be used in repeated batch fermentations for many times. In our case, after each batch fermentation the medium was separated, LentiKats was washed with sterile distillate water and used for next batch fermentation. One of the conversions is shown on Fig. III.

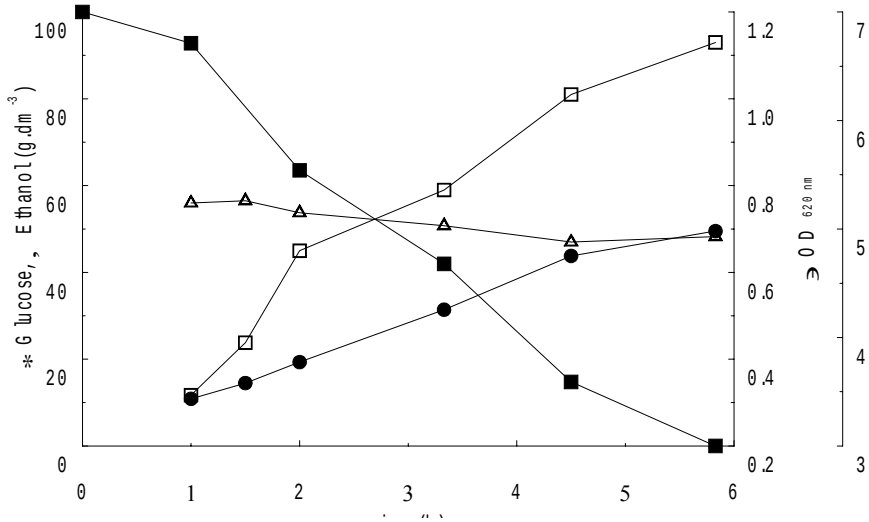


Fig. III Batch fermentation with cells immobilized in LentiKats® on glucose medium.

The fermentation with cells immobilized in LentiKats® has shown almost the same growth and fermentation pattern. The main advantage of immobilized *Z.mobilis* is the fermentation time, which is almost half of the free cell system. It is due to the high concentration of biomass within the immobilizates. Moreover the cells released from LentiKats® contributed to fermentation and reached the half concentration of those in free cell system. It provides higher overall biomass concentration in the fermenter. In our case, immobilizates have been used for 50 batch fermentation without any changes in production rates and yields. Particular advantage of LentiKats immobilizates is the shape and the material which minimizes and eliminates diffusion limitation inside the hydrogel (Jekel 1998).
The fermentation with free *Zymomonas mobilis* on sucrose medium has been also studied in this work. This type of fermentation is presented on Fig. IV.

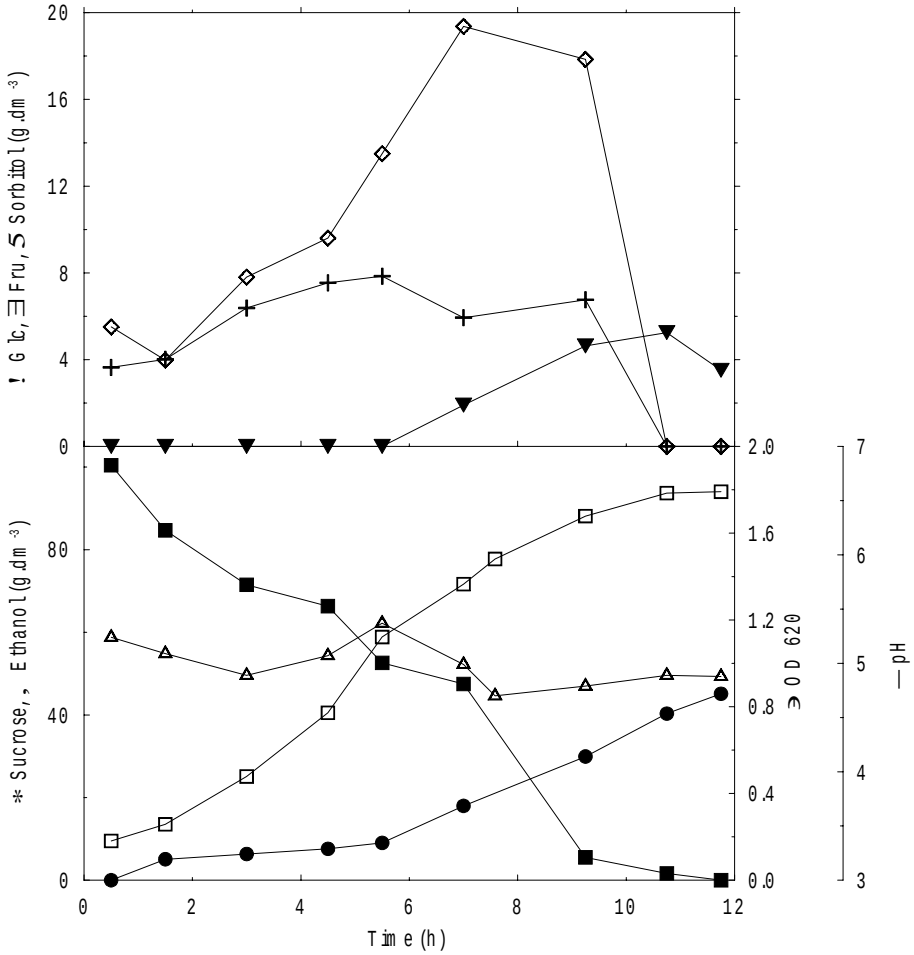


Fig. IV Batch fermentation with free cells on sucrose medium.

Compared with the glucose fermentation, both have the same pattern and take same time. The yield of ethanol was only 88% of theoretical. Major byproduct, made from fructose – sorbitol and levan, has been detected in this type of fermentation as described previously (Kannan et al. 1998). The production of these products decrease the efficiency of the process, results in lower ethanol yield compared to glucose fermentation. The use of immobilized microorganism in LentiKats® in the sucrose fermentation will be the aim of our research in near future.

Conclusions

This study has shown that LentiKats® are suitable carriers for *Zymomonas mobilis* and ethanol fermentation with them. During repeated batch fermentations immobilized cells retained high activity and stability for 50 conversions without any changes. Fermentation on sucrose medium was less effective and several by-products have been detected.

References

Albert A. De Graaf, et al. (1999), *Arch. Microbiol.*, 171, 371–385.
Czichocki G., Dautzenberg H., Capan E., Vorlop K.-D., *Biottech. Lett.*, 23, 1303-1307.
Durieux A., Nicolay X., Simon J.-P. (2000), *Biotech. Lett.*, 22, 1679-1684.
Gunasekaran P., Raj K.Ch. (1999), *Current science*, Vol. 77(1).
Jekel M, Buhr A, Willke T, Vorlop K-D (1998),. *Chem. Eng. Technol*., 21, 275-278.
Kannan T.R., Sangiliyandi G. and Gunasekaran P. (1998), *Enzyme and Microbial Technology*, 22, 179-184.
Silveira M.M., Jonas R. (2002), *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 59, 400-408
Wittlich P., Lutz P., Reimann C., Wilke T., Vorlop K.-D. (1999), In: *Proceeding of the 6th Symposium on Renewable Resources (Bonn),* 524-532. ISBN 3-7843-3019-3
Zaldivar J., et al. (2001), *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 56, 17-34.

EVOLUCION Y CARACTERISTICAS DE LA PRODUCCION DE BIOETANOL A NIVEL INTERNACIONAL

(Bioetanol - aditamento / componente para los combustibles - situación mundial)

DEVELOPMENT AND CHARACTERISTICS OF BIOETHANOL PRODUCTION ON INTERNATIONAL LEVEL

Forsthoffer Julius

Depto. de Equipos para la Industria Química y Alimenticia, Universidad Técnica Eslovaca,
Nám. Slobody 17, 81231 Bratislava, Eslovaquia, e-mail jufostar@stonline.sk

Resumen
Este trabajo trata sobre toda la información reciente que es necesario conocer para entender la evolución de la producción de bioetanol en dependencia directa de los conocimientos acumulados hasta ahora en la industria de fuentes fósiles naturales y sus explotaciones, considerando las fuentes renovables con sus problemas en la agricultura tanto nacional, como mundial.
Bioetanol (de fuentes reciclables), en su aplicación directa (como alcohol libre) o en forma de sus éteres (ETBE) o ésteres de ácidos grasos (biodiesel) producidos de aceites vegetales es una posibilidad alterna, de aumentar el contenido de oxigeno en los carburantes. Algo muy importante a considerar es el de evaluar el potencial general de agricultura, empleo, vida rural, tecnologías e impacto ambiental.
La segunda parte trata sobre las tendencias en la aplicación del bioetanol; las actividades que se realizan "voluntarias" y "organizadas" y que son realizadas por diferentes tipos de motivaciones y diferentes subsidios, igualmente las recomendaciones que establece la Unión Europea sobre el uso de bio-componentes en combustibles. Estos antecedentes facilitan el evaluar la situación particular en los países más importantes internacionalmente.
Palabras claves: bioetanol, carburantes, tendencias mundiales, producción agrícola, ambiente vital,

INFORMACIONES BASICAS Y CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA

FUENTES FOSILES

La parte de las fuentes naturales fósiles consiste en todas variedades de carbón, petróleo y gas natural, tanto como los productos de su refinación. Sus cantidades en la Tierra están limitadas. El progreso de la industria y el aumento de consumo de energía (especialmente acelerada durante el Siglo XX.) causan disminución de las reservas. Esta declinada tendencia continúa. Aquí no influye el existente incierto sondeo geológico con detección y exploración de nuevos yacimientos, tampoco las mejoras tecnológicas y técnicas que facilitan el uso de materias primas pobres con muchas impurezas, previamente consideradas como poco lucrativas, inutilizables.
Según los datos de la Agencia Internacional de Energía en el mundo sube el consumo de energía anualmente alrededor del 3%, de la energía total los únicos 3 países (EEUU, Rusia, China) producen 40% y consumen 42%. Usando la estadística más amplia: 5 países (EEUU, Rusia, China, Arabia Saudita y Canadá) producen la mitad de la energía en el mundo y 5 países (EEUU, China, Rusia, Alemania, y Japón) consumen la mitad de la energía en el mundo. Los países de América Latina tienen la tendencia mayor en la producción de energía anual (5 %), por lo contrario los países del Lejano Oriente tienen la tendencia a un mayor consumo de energía anual (5%).

FUENTES RECICLABLES

El grupo de fuentes reciclables consiste de todas las variedades de materia prima natural denominada como biomasa o fitomasa -todos los productos de reino vegetal y animal, azucares, almidones,

lignocelulosicos, aceites, grasas, etc. tanto como los productos de la refinación de los mismos o de sus residuos; Por ejemplo metanol producido por la carbonización de lignocelulosicos o biogás-metano producido por la descomposición metanogenea. La naturaleza produce toda la fitomasa por la fotosíntesis de agua y dióxido de carbono usando el proceso catalítico basado en el aprovecho de la energía solar. La efectividad de la fotosíntesis depende de la suficiencia de agua, nutrientes y radiación solar (es decir de la localización y condiciones geográficas), también de la aptitud de cada planta de aprovechar la fotosíntesis con su rendimiento específico para acumular los polímeros vegetales y producir el oxígeno libre.

Para aprovechar el dióxido de carbono presente en nuestro ambiente vital liberando oxígeno a la atmósfera, la sociedad humana contemporánea no tiene una variante tecnológica tan efectiva como la fotosíntesis. Ese es motivo principal en todo este movimiento para aumentar el uso de materia prima renovable y su transformación a productos utilizables especialmente en el sector de los carburantes, con todas las ventajas para la naturaleza, ambiente vital, agricultura, industria y transporte (en todas formas y cantidades que aseguran trabajo y alimentación para la humanidad).

CONSECUENCIAS AL IMPACTO AMBIENTAL

Las combustiones de cualquier combustible o carburante es por proceso químico (por oxidación de presente carbono) para obtener la carga de energía libre. En el caso ideal la combustión produce dióxido de carbono y agua. Pero en las condiciones existentes todos los combustibles son materia prima heterogéneas. No hay relaciones de estequiometría exacta y durante aquellos procesos se liberan no solo gas dióxido de carbono y vapor de agua, pero muchas otras materias de diferente forma, que pasan como emisiones al ambiente vital con sus efectos contaminantes nocivos, los cuales no son capaces de ser compensados por la naturaleza.

Generalmente se considera en la atmósfera el aumento de concentración de CO_2 y otros compuestos que causan un efecto acumulativo con todas consecuencias a la biosfera terrestre. Según los datos de Energy Information Administration (EIA) desde año 1996 la concentración de CO_2 sube anualmente casi un 2 % (comparando con un 1% en los años previos) y más del 40% de este aumento representa la combustión de carburantes. La fuente principal de dióxido de carbono en la atmósfera es la producción de energía y transporte (80% de la cantidad total).

Eso es otro motivo para utilizar los carburantes purificados y aprovechar más las fuentes reciclables para compensar los efectos negativos del masivo uso de fósiles fuentes naturales.

ESTRATEGIA DE LOS CARBURANTES

El transporte vial es la mayor fuente de contaminaciones habituales en el rango global y local. Aunque para el transporte se consume solo una parte de la energía primaria (casi 15%), este uso produce alrededor del 50% de la contaminación total de los NO_x y de los hidrocarburos, pero también del 80-90% de la contaminación total por monóxido de carbono. Para evitar estas contaminaciones los productores de vehículos aplican los catalizadores en las tuberías de escape. El procedimiento de "triple catálisis" o "TWC tree-way catálisis" que es efectivo. Sí el catalizador esta usado correctamente reduce hasta el 80% de los contaminantes. La curiosidad es que la cantidad de vehículos sube y el problema resuelto hoy se abre nuevamente. Esta evolución trae consigo las consecuencias que fuertemente y negativamente van a influir al medio ambiente a pesar de muchas tendencias de mejorar la calidad de los carburantes (gasolina, kerosén, diesel), lubricantes y solventes. Una muy positiva acción fue la introducción al mercado de los carburantes con bajo contenido de azufre.

Igual sentido tiene la venta y uso de carburantes purificados o modificados o carburantes alternativos, que significativamente mejoran el proceso de la combustión en los motores y disminuyen las nocivas emisiones. Para fortificar la combustión de carburantes es útil, aprovechar como aditamentos aquellos compuestos que contienen oxigeno en su estructura molecular: alcoholes, éteres, esteres, los cuales es posible producir preferiblemente de materia prima reciclable. La cantidad de estos productos basados en reciclaje aún es insuficiente para el pleno suplemento de todos carburantes basados en petróleo o carbón. Pero su uso nos facilita acercarnos al equilibrio natural de circulación de dióxido de carbono, que ya está desbalanceado por la enorme liberación de fuentes fósiles.

LOS ADITAMENTOS ANTIDETONANTES CON OXIGENO

El uso de los motores y su perfeccionamiento esta relacionado directamente con los carburantes básicos y sus deseadas propiedades. Los motores de gasolina necesitan carburante caracterizado por "el octanaje". Los más altos números especialmente requieren aquellos motores construidos para alta presión interna en

cilindros, que aumenta el rendimiento de la transformación de energía química a energía mecánica. Como estándar con el numero 100 fue seleccionado un compuesto parafínico isooctano (2,2,4-trimetilopentano).
Hay que decir, que las simples fracciones de hidrocarburos obtenidos por la destilación de petróleo no tienen las propiedades necesarias. Por esta razón la tecnología busca los métodos adecuados para modificarlas usando transformación de sus estructuras moleculares (craqueo térmico, craqueo con hidrógeno, reformulación, alkylación) o usando los aditamentos preparados de alcanos de cadena ramificada, homo- o hetero- cíclicos, aromáticos u órgano-metálicos especialmente tetraetilo de plomo, un liquido volátil, bien soluble en hidrocarburos, venenoso absorbido por la respiración y por la penetración cutánea. Este compuesto fue la base de las gasolinas con plomo con el numero de octanaje garantizado. Su amplio uso permitió la fácil producción con el precio bajo, tanto como la posibilidad de eliminar fácilmente de los cilindros los residuos de plomo formando volátiles halogenuros de plomo. La parte negativa de este método fue la permanente contaminación e intoxicación del medio ambiente, sin control, especialmente los alrededores de todas las carreteras.
La evidente nocividad ecológica evidente de gasolinas con contenido de plomo fue un motivo en la búsqueda de otros métodos para la producción y refinación de carburantes. Aditivos a los carburantes, usando compuestos oxigenantes, fue una de las posibilidades aplicadas con la meta de aumentar el contenido de oxigeno en carburante para fortificar su combustión evitando la producción de emisiones nocivas.
Como compuestos oxigenantes en su mayoría los usados son alcoholes: metanol, etanol o isopropanol. Generalmente, para mezclar directamente los alcoholes a los carburantes se prefiere etanol. Metanol se aplica más en la producción de éteres. La proporción de oxigenante 5 % (E5) abastece en el carburante el contenido min. de 2.7 % de oxigeno, lo necesario para disminuir la concentración de monóxido de carbono en los gases de escape (según las regulaciones sobre la protección del aire desde el año 1992). La proporción 10% (E10) ya representa un mayor contenido de oxigenante y depende en la disposición en el mercado y su precio, aunque ya existen gasolinas especiales con las proporciones 85 % (E85), 90% (E90), 95% (E95) tanto como etanol puro. Suecia tiene la opción con suplemento de etanol al diesel; en cada caso etanol en los carburantes ayuda a arrancar el motor (especialmente en la temporada fría).
Entre los éteres más conocidos y usados como oxigenantes (según sus buenas propiedades) pertenecen metilo-tercialbutilo-éter (MTBE), etilo-tercialbutilo-éter (ETBE) y tercial-amilo-metilo-éter (TAME), producidos por éterificación de adecuados iso-alkenes y alcoholes. Pero, la síntesis de éteres basándose en fuentes fósiles naturales no es la solución deseada aumentando su necesidad y paralelamente la producción de dióxido de carbono, contrario al equilibrio natural de la fotosíntesis. El punto de partida de este problema está en el uso de bio-componentes producidos de fuentes reciclables, pero en este caso una posición clave tiene la política interna agraria, financiera y ecológica de los distintos países.

DILEMA METANOL VS. ETANOL

¿Cuales son las características de los oxigenantes más importantes?
METANOL es un compuesto anhidro, sintetizado en grandes cantidades de fuentes fósiles naturales, entre otros mas barato en el mercado, pero es muy volátil con bajo numero de octanaje, corrosivo en contacto con metales y venenoso, además por la combustión su grupo metilo- produce en los gases de escape el formaldehído - otro nocivo residuo contaminante.
ETANOL es un compuesto natural, puede ser deshidratado, está producido por la fermentación de fuentes reciclables, con menor volatilidad, mayor numero de octanaje, no corrosivo, no venenoso, no produce residuos nocivos en los gases de escape.
MTBE es hasta ahora el oxigenante más usado en mundo, producido totalmente de fuentes fósiles naturales (de isobutene petrolero y metanol sintético). A pesar de tener las características de combustión adecuadas, por su nocividad, emisiones de fuentes fósiles y contaminación del agua subterránea ya se espera su prohibición total porque es plenamente sustituible.
ETBE es el compuesto más preferible con mejores características de combustión. Su producción sube paralelamente con la producción de bioetanol, el cual está (sin problemas) reemplazando el metanol sintético en todas las plantas productoras – las instalaciones industriales no necesitan grandes modificaciones importantes.
TAME es compuesto menor importante y por su contenido de metanol será eliminado de uso.

Además de dichos oxigenantes el dilema se extiende a los ésteres de ácidos grasos (Fatty Acids Esters), independientemente de su origen vegetal o animal, representados por sus metilo- o etilo- derivados.
FAME es más conocido bajo el nombre "biodiesel", pero este producto no responde plenamente a la característica "bio" porque el metanol usado en reesterificación tiene procedencia de las fuentes fósiles naturales.
FAEE es producto totalmente "bio" producido de materia prima renovable, conveniente para sustituir metiloéster. Su producción no requiere grandes modificaciones de equipos tecnológicos.

¿Cómo se va a resolver este dilema? A pesar de fuertes innovaciones en refinerías del petróleo y en la industria petroquímica capaz de transformar los combustibles sólidos y los gaseosos a los líquidos fácilmente utilizados, es necesario y hasta obligatorio racionalizar el uso de energía, especialmente la generada de fósiles naturales, disminuyendo su consumo a favor de los reciclables.
El motivo principal no está solo en el riesgo de agotar los yacimientos, sino en la protección de ambiente vital y salud publica, los cuales se unen con varias otras actividades públicas, necesarias para la sociedad humana aprovechando todos los productos naturales sin negar y destruir las reglas principales de la naturaleza. ¡El motivo se llama: sobrevivir en la Tierra!

BIOETANOL

Cómo un compuesto químico *etanol: bioetanol: alcohol etílico* es un monohidroxi derivado del etano, el alcano de dos carbonos en su cadena, con la formula CH_3-CH_2-OH. Esta sustancia, sin soportar su efecto fisiológico al organismo humano, es una materia prima muy bien transformable a varios productos. La producción industrial derivada de etanol es conocida bajo el nombre "alcoquímica".
En cuanto consideramos la palabra "bioetanol" hay que entenderla como el nombre de producto obligatoriamente producido de fuentes renovables por fermentación. Su antipolo es "el etanol sintético" fabricado por la hidratación catalítica de eteno basado en fuentes fósiles naturales. Etanol como materia prima representa un famoso puente entre los grupos de fuentes reciclables y fuentes fósiles naturales, porque nos facilita aprovechar los productos reciclables y disminuir el consumo de fósiles naturales, sin necesidad de renunciar a productos petroquímicos finos.
La materia prima natural para la producción de etanol usando el proceso de fermentación está representada por tres grupos bien relacionados, pero independientemente utilizable: fuentes polímeros lignocelulosicos, fuentes de almidones y fuentes de azúcares.
Cada uno de los grupos tiene su importancia dependiendo de localidades geográficas, condiciones climáticas, sistemas de preparación con la meta de obtener un alto rendimiento de los azucares simples fermentables. Los microorganismos funcionan como los portadores de la actividad bio-catalítica y por destilación se libera el producto de la batición fermentada. El proceso de fermentación bien conocido desde tiempos pasados hasta ahora, pero las modernas tecnologías siempre han determinado un costo mínimo de producción en dependencia de: a) la capacidad de la planta, b) precio de la materia prima y modo de su preparación, c) velocidad especifica de fermentación, d) rendimiento total de etanol f) consumo específico de agua y energía.
Obtener los parámetros óptimos será siempre una condición imprescindible para poder implementar cualquiera variante de proceso en.la práctica industrial. Generalmente, usables están todas las variantes tecnológicas, pero cada materia prima entrando al proceso debe ser adecuadamente tratada según la variante usada y según el sistema de bio-catálisis aprovechado.
Hay que acentuar lo objetivo en proceso y su ingeniería: el modo de cada etapa de proceso depende de la etapa previa. Esta opinión no tiene exclusiones y siempre devuelve atención al inicio. Cuando simplificamos el tratamiento de la materia prima debemos considerar el problema de fermentación, destilación y en tratamiento de los mostos. Cuando mejoramos desde el inicio el tratamiento de la materia prima, podemos esperar mejoras en todas las etapas siguientes. Además creando buenas condiciones para incorporar al proceso nuevas soluciones técnicas y tecnológicas como es el uso de sistemas sin movimiento mecánico, simultaneo proceso de hidrólisis y sacarificación de almidones, procesos micro- filtración, fermentación con cepas bacterianas más rápidas que las levaduras, con mayor rendimiento, también fermentación usando las baticiones concentradas, líquidos sin suspensión en destilación, destilación y rectificación en quipos de sistema a presión y vacío, fácil tratamiento o recirculación de mostos o su uso más económico, esto todo consecuentemente acompañado con mejor transferencia de calor y el consumo de calor y agua significativamente disminuido.

Esta parte no está vinculada detalladamente a las variantes tecnológicas, sus ventajas o desventajas aunque es importante. La tarea es señalar posibilidades provocando la necesidad de estudios mas detallados para sus evaluaciones con el único aspecto: hacer mejor y más barata la producción de bioetanol a partir de las fuentes reciclables soportando en primer lugar la producción agrícola a favor de la protección ambiental, salud pública y vida rural.

BIOESTERES DE ACIDOS GRASOS (FAE = FAME, FAEE)

El termino „biodiesel“ pertenece a .los carburantes destinados a los motores diesel. Están representados por metilo- o etilo- éster de los ácidos grasos presentes en forma de triglicéridos naturales en aceites vegetales o grasas animales. Sus propiedades son más convenientes que las de aceites vegetales y la combustión en los motores es más efectiva, disminuyendo el contenido de emisiones nocivas en los gases de escape. Es posible utilizar los esteres puros (B100) o sus mezclas en proporciones 5% (B5), 10% (B10) o 30%(B30) de bio-componente en la fracción diesel petrolera.

La evolución de estos productos se considera como un progreso en el sector de química de aceites, grasas y tensidos. La producción es una directa esterificación de ácidos grasos libres obtenidos por la hidrólisis de triglicéridos naturales, o una reesterificación catalítica usando el alcohol adecuado. Solución acuosa de glicerina es el producto secundario, cantidad que sube adecuadamente la producción de esteres. Porque para tanta glicerina no hay buen mercado, pasan las investigaciones de su biotransformación al 1,3-propanediol utilizable como materia prima en la síntesis de poliesteres con el ácido tereftalico.

Desde el punto de vista de estrategia suplir las fuentes fósiles naturales por reciclables, el bioetanol tiene mas preferencia en esta aplicación, comparándolo con el venenoso y nocivo metanol sintético.

La producción de ésteres es ventajosa por su favorable balance energético y fácil abastecimiento de materia prima en la agricultura. Los residuos de toda la industria de aceites vegetales son biodegradables o utilizables como unos componentes de forrajes.

LA PRODUCCION AGRÍCOLA Y EL PROBLEMA CON LAS PRODUCCIONES DE BIOETANOL Y DE BIOESTERES

La producción agrícola contemporánea, intensiva y mecanizada está ofreciendo en el mercado tanta materia vegetal que consecuentemente la industria alimenticia y forrajera no es capaz de utilizarla racionalmente provocando muchas tensiones, variaciones de precios y otros problemas en las economías de esos países.

Según una vista muy simplificada, el problema es posible fácilmente solucionarlo disminuyendo las superficies de campos arados. El antipolo de dicha vista es una devastación de campos arables y perfiles agrarios en muchas localidades, en particular terrenos ondulados y montañosos, tanto cómo alto desempleo en zonas rurales con la miseria y otros efectos negativos en la población local. Hay que decir que esta vía se considera intransitable. Para solucionar este problema es necesario abrir una masiva posibilidad para el fácil despacho de cualquiera sobreproducción agrícola, independientemente del sector alimenticio, no lo único para las cargas contratadas, sino también para todas las fluctuaciones causadas por diferencias en cosechas. El sector agrícola debe ser obligado a trabajar con máxima potencia, rendimiento y productividad de trabajo en cada situación climática, pero también es necesario un obligatorio consumo de productos en diferente uso industrial con razonables precios de venta para evitar una crisis de sobreproducción con la bajada de precios.

La meta es crear en la zona agrícola un óptimo grado de flexibilidad e independencia de condiciones limites, especialmente diferentes características de campos arables, necesidades para su protección, inciertas condiciones climáticas durante siembra, vegetación y cosecha, variabilidad de genofondo vegetal y animal, los cambios en procesos de industrialización y mecanización de trabajo en los campos, empleo de campesinos: hombres y mujeres, fluctuaciones en rendimientos etc. Esto es una parte de la política estatal en el rango industrial, agrícola, social y cultural, con las posibilidades de soportar los sectores preferentes según la economía y los intereses de país.

Estas razones señalan que una forma óptima consiste en la transformación de la producción agrícola - las fuentes reciclables - al bioetanol y ácidos grasos utilizables en forma de combustibles naturales, carburantes, engrases, líquidos hidráulicos biodegradables u otra materia prima en la industria técnica, igualmente los residuos en la industria forrajera o producción de abonos orgánico-minerales. Además se

ofrece otra ventaja – para todos los usos industriales con la posibilidad de utilizar la producción cosechada de los campos con tierra contaminada que no se permite utilizar en la industria alimenticia.
A pesar de muchas esperanzas optimistas no son las plantas de bioetanol los modos clave para formar un nuevo amplio empleo. Esto es causado por las capacidades grandes con altamente sofisticada tecnología y completa automatización del equipamiento. Pero muchas nuevas posibilidades de empleo para los hombres y mujeres fortifica la industria del bioetanol en los campos, la producción agrícola vegetal, los servicios necesarios para transportación y almacenaje de los productos, la producción de cimientos certificados, tratamiento, protección y fertilización de los campos arables y los pastos, producción y aplicación de herbicidas, funguicidas e insecticidas químicas o biológicas, venta y distribución de forrajes producidos de subproductos y mostos/ viñazas, en la producción animal, los mataderos e industria de la carne, tratamiento y curtiduría de crudos cueros animales y la industria de la zapatería.
Es un panorama sobre el problema entre la producción agrícola y la producción de bio-componentes para su uso industrial. Para una efectiva función, sin dudas, ambas partes del problema necesitan soportes estatales. Del otro lado un monto, invertido como ayuda o transparente arreglo de soportes, traerá consigo ventajas, progreso y ganancia en todos colaborados sectores, aunque el beneficio neto lo va a recibir también el estado, por su política financiera, los impuestos y contribuciones, y toda población del país.

TENDENCIAS EN LA APLICACIÓN DEL BIOETANOL

VOLUNTARIAS

Todas las tendencias voluntarias tienen a veces un carácter filosófico o educacional. Están introducidas y publicadas, en su mayoría, por organizaciones environmentales u otras que aspiran a mejorar la situación en la protección ambiental, en saneamiento de aire y capa de ozono, tanto como en la manipulación, colección y reducción de residuos comunales o industriales. Sus ideas y recomendaciones orientadas a la gente en general son adecuadas, buenas, correctas y necesarias en la sociedad humana, pero...
Todo, lo que requiere algún esfuerzo humano más que lo de costumbre, algo sobre la iniciativa de alguien, algo para hacerlo sin directa motivación financiera, es lento y difícil. Son necesarias situaciones catastróficas, epidemias o accidentes para arrancar un movimiento positivo orientado hasta lograr una amplia actividad de ayuda en la recuperación de las condiciones naturales y vitales. En todas las otras situaciones es imprescindible una intensiva motivación material conectada con una motivación política y pública, porque técnicamente es posible todo, pero nada sin dinero o soportes financieros.
Es una situación que requiere una educación continua y buenos ejemplos para entender y solucionar los problemas desde niños preescolares hasta las gerencias y oficinas altas, en el mundo entero.

ARREGLADAS

Las tendencias arregladas comienzan donde terminan las voluntarias. Se entiende que los problemas de globalización, problemas que traen consigo la industrialización, intensificación agrícola con producción de alimentos, crecimiento de población mundial, la necesidad de transporte rápido y de gran cargas, además problemas con alto consumo de energía, todo es imposible de solucionar sin fuertes y bien controladas instrucciones, reglas o leyes.
Muchos países en el mundo y sus gobiernos ya entendieron esas actividades y según sus actuales necesidades y posibilidades aplicaron varias reglas y leyes. Entre las más importantes, esta la protección del medio ambiente y el uso de bio-componentes en carburantes petroleros, soportando de este modo el progreso e intensificación en la agropecuaria rural con la correspondiente industria, tanto como el mantenimiento de la optima producción de energía con el decreciente consumo de las fuentes fósiles naturales. Esta claro, hay reglas diferentes, adecuadas a las condiciones locales, reglas simples y complicadas, con motivos o sin, pero siempre con ventajas o soportes financieros (directos o indirectos) con el objeto de respetar las directivas. Los soportes en este período contemporáneo son imprescindibles y sus volúmenes están derivados del precio del petróleo crudo en el mercado libre. La posición fiscal de todos los países, igual que la economía nacional, permanecen en dependencia de la energía necesaria y consumida en la sociedad, pues el petróleo, como fuente energética principal, especialmente su precio funciona en realidad como indicador comparable con los precios de productos basados en fuentes reciclables. En esta comparación el vencedor es el petróleo, pero si el precio por un galón de crudo sube por encima de los 40 USD, la situación cambiara a favor de fuentes reciclables en cualquier forma.

RECOMENDACIONES Y REGULACIONES QUE ESTABLECE LA UNION EUROPEA

A diferencia de EEUU, Brasil, Canadá, la Unión Europea no tuvo una estrategia sistemática sobre bio-combustibles, lo que unos creen, causaba algunos atrasos en la industria en comparación con su potencial. No obstante en UE existió una amplia gama de proyectos nacionales, los cuales ayudaron a construir grandes fabricas para la producción de etanol en Francia, España y Suecia. Finalmente, en Noviembre del 2001 la Comisión Europea propuso una compatible estrategia sobre los bio-carburantes, la cual podría suportar la producción de etanol.

La Unión Europea, especialmente como un territorio que no dispone con ricos yacimientos petroleros, pero que tiene muy desarrollado el sistema de transporte, asume el papel sobre el progreso y el crecimiento de la producción de los combustibles alternativos, ante otros carburantes, para abastecer la sociedad con suficiente energía para todo uso. Las recomendaciones y regulaciones se publicó bajo el titulo: "*Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport*".

A pesar de todo esfuerzo, este documento tiene carácter "un compromiso de muchos compromisos" porque objetivamente está difícil dar curso a tanta comunidad de intereses. Cada uno de los países unidos, en dependencia de la propia situación, especialmente en agro-sector, industria petroquímica y transporte esperaba regulaciones mejor aproximadas a sus condiciones locales y más recursos financieros.

Algunos países de UE, años antes de dicha "Dirección", suportaron el desarrollo y producción de bio-carburantes como bio-etanol, ETBE, FAME, creando sus regulaciones nacionales como:

a) protección del medio ambiente vital y el aire (preferida en zona Escandinava), o

b) suporte de producción agropecuaria propia (preferida en el occidente de Europa).

Las diferencias entre el nivel de desarrollo en la agricultura y la industria y las diferentes condiciones climáticas en países de Unión Europea no se permiten tomar decisiones generales y es el motivo por el cual las proporciones de bio-componentes en carburantes suben anualmente con mucho tiento. De otro lado se ofrece un periodo para adaptación en economías propias. Cuando los resultados sean positivos no hay obstáculos para sobrepasar lo mínimo indicado. Esta tarea fue transferida a los individuos gobiernos, los cuales están obligados a implementar las reglas y armonizarlas con la legislación de cada país. Seguramente será necesario persistir en pie de igualdad entre los países porque aparecieron tendencias a tomar decisiones proteccionistas contra importaciones de bio-componentes más baratos limitando temporalmente sus mercados y territorios.

De la *Directiva de Parlamento y Comisión Europea 2003/30/EC* resulta que:

1) se tomo una estrategia por parte de la Unión para sostener el desarrollo, la cual contiene serias medidas cubriendo también el desarrollo de bio-combustibles,

2) las fuentes naturales fósiles (petróleo, gas natural, carbón), constituyen muy importantes fuentes de energía, pero son las principales fuentes de dióxido de carbono,

3) se ofrece una amplia gama de fitomasa producto de la agricultura y los bosques, con los residuos de esos y de la industria alimenticia utilizables en producción de bio-combustibles,

4) el sector de transporte en UE está participando con mas del 30% en el consumo de la energía total, lo cual sube y causa el crecimiento de las emisiones de dióxido de carbono; este crecimiento de emisiones va a subir mas después de la incorporación a UE de los países candidatos,

5) desde el punto de vista ecológico se pronuncia el desafió de disminuir la dependencia en petróleo (por el momento 98%) en el sector de transporte usando los bio-carburantes,

6) crecido el consumo de bio-carburantes en transporte se presenta una parte de paquete de medidas necesarias para cumplir las obligaciones del Protocolo de Kyoto,

7) más amplio uso de bio-combustibles, sin restringir otros combustibles alternativos, inclusive LPG y CNG, es una de las medidas en UE para disminuir la dependencia en el transporte de energía importada, tanto como de industria petrolera, junto con el seguro abastecimiento de energía en corto y largo plazo,

8) el progreso en el sector técnico permite en la mayoría de vehículos usados y circulando por UE sin problemas y sin modificaciones de motores, utilizar las mezclas de bajo contenido bio-componentes con hidrocarburos (algunos países ya están utilizando carburantes mezclados en la proporción de un 10 % y más),

9) los grupos especiales de transporte (autobuses, locomotoras de ferrovías, buques) permiten utilizar las mezclas de carburantes usando proporciones mayores; hay que continuar suportando el uso de bio-carburantes en el sector de transporte publico,
10) el soporte de bio-combustibles en el transporte representa un paso rumbo al amplio uso de fitomasa (en un futuro probablemente también el uso de hidrógeno)
11) en lugar de combustible utilizar también puro aceite vegetal producido por tecnologías comunes en forma cruda o refinada (pero sin modificaciones químicas) en cuando a sus propiedades que estén conformes con el tipo de motor y criterios sobre emisiones,
12) todos los nuevos combustibles deben de cumplir los criterios cualitativos y ambientales según los estándares técnicos,
13) bioetanol y biodiesel, ambos aprovechados como carburantes en forma pura o en mezclas, deben asegurar la optima potencia del motor; en caso de biodiesel, donde la esterificación es la tecnología principal, esta en vigor el estándar prEN 14214 sobre metilo-esteres de ácidos grasos. Será necesario tomar medidas sobre un suporte de rápido desarrollo de estándares cualitativos para bio-carburantes (inclusive otros criterios necesarios para su evaluación: las proporciones de porcentaje, biodegradabilidad de residuos, efecto a los componentes de vehículos, producción de emisiones etc.)
14) igualmente la Comisión Europea tiene la obligación de preparar los estándares para otros bio-carburantes utilizables en UE
15) suportes orientados a la mayor utilización de bio-combustibles en conformidad con la práctica sostenible en el sector de la agricultura y bosques establecida en las reglas para la política unitaria agraria en UE, podrían crear nuevas posibilidades en el desarrollo de zonas rurales orientando las actividades al mercado europeo y una agricultura multifuncional, considerando las condiciones en países de UE,
16) fue de nuevo aprobado el plan de acciones sobre las fuentes renovables con requeridas medidas especificas en el sector de los combustibles,
17) en el Libro Verde "Sobre la estrategia europea en aseguramiento de suministros de energía" la Comisión indicó la meta hasta año 2020 sustituir el 20% de carburantes petroleros en el sector de transporte usando los carburantes alternativos,
18) los carburantes alternativos pasarán al mercado únicamente cuando sean generalmente accesibles y desafiando toda la competencia,
19) el Parlamento Europeo en su resolución de junio de 1998 publicó un llamamiento para aumentar la proporción de bio-carburantes en el mercado durante 5 años hasta un 2 % usando el paquete de medidas incluyendo exclusiones de impuestos, suporte financiera para la industria productora y establecer una proporción obligatoria para las refinerías de petróleo,
20) el método óptimo para aumentar la proporción de bio-carburantes en los mercados nacionales y mercado de UE depende de la accesibilidad de las fuentes y materia prima, de políticas nacionales y política de UE en el suporte de los bio-combustibles, tanto como en medidas tributarias e incorporación adecuada de todas las partes interesadas,
21) las políticas nacionales sobre el soporte de uso de bio-combustibles no tendrían que pasar hasta la prohibición del movimiento libre de combustibles, los cuales cumplen armonizados criterios ambientales determinados por la legislación de EU
22) el suporte a la producción y utilización de bio-combustibles tendrían que disminuir la dependencia de importación de energía, igualmente disminuir las emisiones gaseosas que causan el "efecto de contaminación",
23) porque la meta de la propuesta medida, es decir la introducción de los principios comunes para asegurar en el mercado y la distribución con mínimo porcentaje de bio-combustibles, no será posible alcanzar a los miembros-países individualmente, sería mejor conseguirla, de acuerdo con los principios de subsidiaridad y proporcionalidad, en el rango y efecto de medidas propuestas en el ámbito de EU; considerando que esta regulación no pase sobre lo necesario para lograr la meta,
24) sería necesario suportar las investigaciones y desarrollo tecnológico en la zona de sostenibilidad de bio-combustibles
25) cualquier aumento de proporción al uso de bio-combustibles tiene que proceder con adecuado estudio analizando detalladamente los aspectos ambientales, económicos, sociales dando los argumentos para tomar decisiones sobre el propósito de esa intención.
La parte clave de la Regulación 2003/30/EC son los párrafos 3 y 4.

Párrafo 3 ordena:

- Los miembros-países están obligados a asegurar en sus mercados de carburantes la proporción mínima de bio-combustibles y otros combustibles reciclables y para este objeto determinarán las metas nacionales indicativas:
  - El valor de referencia para esta meta es el 2 %, calculado a partir del contenido energético de todas las gasolinas y diesel usados en el transporte (recalculado a las toneladas de equivalente energético, es decir 1 TOE para cada tipo de carburante determinado por el coeficiente oficial) vendidos en el mercado hasta 31.12.2005,
  - El valor de referencia para esta meta es 5,75 %, calculado a partir del contenido energético de todas gasolinas y diesel usados en transporte (recalculado a las toneladas de equivalente energético, es decir 1 (una) TOE para cada tipo de carburante determinada por coeficiente oficial) vendidos en mercado hasta 31.12.2010,
- Los bio-carburantes podrían estar disponibles en estas formas:
  - Como bio-carburantes puros o en mezclas de alta concentración con unos componentes hidrocarburos de petróleo, que sirven como carburantes, cumpliendo las exigencias cualitativas para el uso en el transporte
  - Como mezclas de bio-combustible con unos componentes hidrocarburos de petróleo usados como carburantes, cumpliendo las exigencias cualitativas para el uso en transporte (estándares europeos EN 228 a EN 590),
  - Como líquidos derivados de bio-combustibles (ETBE)
- Los miembros-países monitorearán todas las influencias sobre la utilización de bio-carburantes en mezclas con diesel petrolero en proporciones sobre 5 % usados en motores no adaptados y si será necesario tomar medidas sobre el aseguramiento de la igualdad con la legislación de EU adecuada para estándares de emisiones.
- Las medidas una vez aceptadas deben considerar el balanceo total climático y ambiental de varios tipos de bio-carburantes y otros combustibles reciclables(es necesario soportar solo aquellos combustibles, que tienen muy bueno y efectivo balance ambiental en relación con los costos de producción, inclusive los aspectos de desafiar toda competencia y suministros asegurados).
- Los bio-carburantes los cuales en la mezcla tienen la proporción de bio-componentes mayor de 5% deberán tener en la venta un mercado especial.

Párrafo 4 ordena:

- Los miembros-países cada año en la fecha de 1. julio (primera vez en 2004) están obligados a presentar a la Comisión Europea un informe sobre:
  - Las medidas aceptadas para soportar la utilización de bio-carburantes u otros combustibles reciclables, como reemplazo del diesel y la gasolina en el transporte,
  - Las fuentes nacionales de biomasa dirigidos para otros usos en el aprovechamiento de energía excepto el transporte
  - La venta total de carburantes en transporte y proporción bio-carburantes, puros o en mezclas, tanto como otros combustibles reciclables, suministrados al mercado con carburantes pero en el ano pasado. Los miembros-países informarán sobre cualquier situación excepcional en aseguramiento de los suministros de petróleo o productos petroleros, los cuales influyeron en el mercado con bio-carburantes y otros combustibles reciclables.

EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN MUNDIAL GENERAL

En introducción a este problema hay que constatar algunos cambios básicos en el mercado mundial de etanol durante los años pasados. Fueron construidas nuevas destilerías y no hay dudas sobre los programas de bio-carburantes. ¿Cuales argumentos existen para esta ola de actividades? Ante todo la demanda de etanol que esta subiendo por las inquietudes en el mercado de petróleo y por las depresiones en el mercado de grupo de mercancías agrarias. Claro, nada nuevo comparándolo con las actividades en siglo XX. Durante los años 70 el programa *Proalcool* en Brasil, motivo la disminución de la dependencia nacional en importación de petróleo. Iguales argumentos usaron durante los años 80 en EEUU los autores del programa *Gasohol,* en los años 90 el programa sobre *Producción ETBE* en Francia etc. Pero frecuentemente, las promesas de suporte no fueron cumplidas ya que causó varios defectos y atrasos en dichos programas. A pesar de todo, es posible identificar algunos cambios en la situación contemporánea

que positivamente influyen al aprovechamiento de fuentes reciclables: 1) Cambio en la base de fuentes minerales y de tecnología, 2) Cambio en la estructura agraria e industrial, 3) Cambio en zonas institucionales, 4) Cambio en el mercado mundial.

1) Cambio en la base de fuentes minerales y de tecnología.

El Etanol, desde su origen, es producido de almidones y azúcares, que representan la materia prima accesible y bien elaborable; ahora más del 90% de la producción mundial tiene la base en dicha materia. Desde el punto de vista económico, en la cadena de valor agregado, el puesto principal lo tienen: agricultores, productores, distribuidores, pues la producción depende absolutamente de los precios de materia prima. Esta probado que: en producción de etanol el precio de la miel final representa el 90% de costos variables y 80% de los costos totales, el precio de granos representa el 80% de costos variables y 70% de los costos totales. De este modo la materia prima agraria y los agricultores tienen una posición principal en los programas de etanol. Para ellos los programas funcionan como nuevos, crecientes y beneficiosos mercados y toda la historia de fuentes reciclables confirman las correlaciones directas entre la agricultura y los bio-carburantes.

Al comienzo de los programas en EEUU es declarado como un suporte financiero directo a los agricultores en la crisis de venta de granos, después apareció más ventajoso subsidiar el alcohol producido de granos no vendidos. Brasil aprovechaba el programa para compensar su escasez de petróleo, junto con la ayuda a la gente y centrales azucareros en zonas rurales pobres del noreste durante la crisis en el mercado azucarero (sobreproducción de azúcar causó la caída de su precio). Francia aprovechó el programa para suportar la producción nacional de trigo, maíz y remolacha junto con la ayuda a las refinerías de petróleo, el utilizar las fracciones obtenidas en el craqueo de los hidrocarburos pesados, especialmente el buteno.

Etanol es un producto multilateral. Probablemente no sea un carburante absolutamente perfecto, tampoco la mejor medida en la regulación del balance comercial del país y el suporte de la agricultura. Pero no hay otra fuente parecida con la cuál sea posible lograr las metas con suficiente efecto, aunque ya aparecieron nuevas tendencias en la utilización de materia fitomasa o lignocelulosa vegetal, común o residual, como materia prima en producción etanol. Desde el punto de vista de la economía nacional son importantes tres factores:

- La promesa de producir barato etanol a bajo costo de materia prima ampliamente accesible
- Redistribución de los gastos de producción
- Considerando el etanol como una fuente energética importante

En primer factor no hay dudas. La fitomasa es accesible y barata porque está considerada como un residuo. Y todos los defensores del medio ambiente vital sueñan sobre la utilización de este residuo en la fabricación de un valioso combustible.

El segundo pronostica que la utilización de fitomasa influirá directamente a la redistribución de los gastos de producción. La prognosis calcula que esta materia prima en producción de etanol cubrirá solo el 2% en gastos variables o 1,5% en gastos totales. Sí, es costo mínimo, pero basándose en especulaciones comerciales podemos esperar que el precio de la fitomasa lignocelulosa en el caso de su amplia utilización en producción de etanol subirá. No obstante, los precios de la materia prima fitomasa lignocelulosa serán siempre más bajos que los precios de la materia prima en la producción tradicional.

El tercero depende de la respuesta a quien beneficiará la producción de un barato valioso combustible. Esperamos que a los productores, porque la transformación de fitomasa a etanol es más complicada tecnología que una fermentación tradicional y con el valor agregado mas alto. Los distribuidores también obtienen unos beneficios a base del creciente volumen de transporte. Pero esta evolución será interesante para aquellos que hasta ahora subestimaron el etanol, ante todo las grandes compañías petroleras. Integrarán el etanol en los portafolios propios, porque ellos son expertos en procesamiento y distribución y además necesitan mejorar su crédito ecológico. El proceso fitomasa – etanol con una amplia distribución de productos es exactamente lo que están buscando para sus beneficios.

2) Cambio en la estructura agraria e industria.

El éxito del etanol combustible en el mundo influye en la infraestructura de muchos países. Antes existieron muchas pequeñas destilerías, ahora se construyen plantas grandes. Según una prognosis aquellas pequeñas no tendrán posibilidad de competir y dejarán de existir. La salida de este problema consiste no solo en suportes pero también en la división de producción, creando dos sectores: el primero

orientado especialmente al uso alimenticio y el segundo al uso para carburantes. Pero el etanol producido en grandes cantidades será siempre más barato y la existencia de etanol combustible desembocará en proceso industrial de especialización y concentración con gran influencia a todos sectores de mercado.

3) Cambio en zonas institucionales.

Estos cambios tienen origen en el ruedo político influyendo a la industria del etanol. Como ejemplo sirve la decisión sobre la prohibición MTBE, o decisión sobre utilización FAME, tanto como la iniciativa en regulaciones que establece UE. En proceso ya esta la decisión sobre una "cuotación" en la industria azucarera mundial, liberando excesos de azúcar o sus fuentes para producción de etanol.

4) Cambio en mercado mundial.

Aunque las metas de producción de etanol combustible fueron establecidas en la mayoría de los países, las medidas, que suportarían el etanol en el mercado mundial y en los compromisos internacionales sobre los cambios de productos, están insuficientes. La situación tiene su origen en programas nacionales de suportación orientadas ante todo a la propia agricultura. Sus efectos están orientados a fortificación de unas ventas de productos y estabilización de mercado agrícola. Estas medidas como los pasos primeros están suficientes, pero en largo plazo existe aquí algún peligro, es decir la dependencia de condiciones climáticas que influyen a los rendimientos de cosechas. El instrumento posible serían cuotas estipuladas, es decir un volumen mercantil según el déficit esperado en el año de balance mercantil. Existen las ideas de implementar el etanol entre las fuentes de energía como gasolina o diesel. Este sistema permitirá utilizar la materia prima local, sin crear las relaciones entre productores e importadores, además una amplia zona de mercado internacional siempre compensará una escasez temporal local, la que será siempre demarcada comparándola con la inmensa producción mundial. A pesar de las varias ventajas potenciales que ofrece el gestionado mercado mundial de etanol, su introducción podría ser difícil por el peligro del conflicto entre intereses de corto y de largo plazo.

SITUACIÓN PARTICULAR DE LOS PAISES SELECTOS MÁS IMPORTANTES

Todo que ha dicho sobre las regulaciones en la Unión Europea y sobre el proceso de uso de las fuentes reciclables transformadas a los carburantes acompaña alguna inquietud causada por la necesidad suportar directamente todas actividades adheridas al camino hasta la meta. Las fuentes fósiles naturales hasta ahora dominan por su fácil accesibilidad y precio a pesar de riesgos bien conocidos y documentados que causan en otras zonas. Vamos a tratar algunas intenciones básicas y las medidas con las cuales se prueba solucionar el problema en los diferentes países.

GRUPO ESTADOS UNIDOS, CANADÁ, MÉXICO, BRASIL

ESTADOS UNIDOS

La producción de bioetanol en EEUU está creciendo desde el año 1979 con 75.7 mil m^3/año hasta 5.299 millones m^3/año en 1994, 6 millones m^3/año en 1999 y más de 11 millones m^3/año en 2003 (según Chemical Engineering, Oct. 2003, P: 42) esperando hasta 14.807 millones m^3/año en 2004. Según un programa de DOE (National Bioethanol Program - Ferrel, 2000) la producción debe subir pasando hasta los 8 billones (10^9) de gallones en el 2025 y más de 50 billones (10^9) de gallones en el 2050. Falta de cumplimiento de aquellas cautelosas prognosis desde el comienzo de los años 90 sobre una producción de no más de 2 millones m^3/año hasta 2000. Este desarrollo pasa junto con el aumento no solo del uso de etanol en carburantes sino como finalidad de ayuda a los agricultores y productores prestada por los gobiernos de individuales estados y por el gobierno federal. La materia prima principal es el maíz y su uso mantiene positivamente también el nivel de competencia en los precios de fuentes oleaginosas como soya, colza /canola, girasol (la sobre preproducción de aceites vegetales esta transformada a los etilo ésteres de ácidos grasos - FAEE). Además toda la producción de bio-carburantes basándose en fuentes vegetales tiene ventajosos productos segundarios – DDGS y residuos de oleaginosas - todos bien utilizables como forrajes, especialmente en el sistema de cría intensiva casi-industrial de los animales (huevos, leche, carne).

En EEUU entienden bioetanol como un agente bien estratégico. Aunque EEUU es el país con máximo uso de fuentes energéticas y no aceptó las reglas de Protocolo de Kyoto, sus fuentes nacionales fácilmente accesibles de carbón y petróleo serán rápidamente agotados y se acerca el tiempo de plena dependencia en importación de fuentes energéticas. Ahora se importa alrededor del 47% del petróleo consumido y su demanda sube anualmente aproximadamente en 1%. La situación en producción de carburantes octanaje (MTBE, ETBE) es más difícil. EEUU producen solo 60% de su necesidad, 40% es de importación a veces de zonas arriesgadas (protegidas usando fuerzas armadas). Además la prohibición

de utilizar MTBE por su nocividad en algunos estados ya provoca nuevas masivas demandas de etanol, especialmente en California, Nueva York, etc. Los gastos de importación influyen al balance nacional de comercio estadounidense, (abstrayendo la situación existente donde la gasolina tiene el precio de venta menor comparándolo con el precio del petróleo), resultando como objetivo que EEUU tienen suportados todos los precios de combustibles utilizados.

El sistema y relaciones entre monto fiscal, impuestos y suportes crea unos masivos movimientos de dinero estatal en varias formas de proteccionismo gubernamental abierto y transparente o escondido. A pesar de todos los riesgos, la política estadounidense energética y la agricultura es a largo plazo, adecuada. Su esfuerzo por optimizar la producción agrícola usando suportaciones (en combinación con buen desarrollo económico, medidas para competencia mercantil con certificación de calidad y conveniente propaganda) forma de EEUU una potencia dominante que cuidadosamente guarda su seguridad alimenticia. Para mantenerla es insuficiente abastecer solo 90% por término medio de una demanda anual de alimentos básicos. Será imprescindible crear aquellas condiciones que permitirían, tanto en situaciones óptimas, como en situaciones de extremas condiciones climáticas o naturales, siempre obtener la sobreproducción. En la práctica es necesario solucionar operativamente todo lo necesario para ofrecer a la comunidad los efectivos estímulos a tiempo, desarrollando la producción de bio-carburantes como buen camino al uso de toda sobreproducción sin estrés de cambios en mercado mundial y con el interés de aumentar sistemáticamente la productividad de trabajo en la agricultura y la industria. Los costos de esa política estatal regresarán multiplicándose, porque el mecanismo de su función es simple:

- El territorio de impuestos esta cerrado contra indeseados importaciones que elimina las influencias de mercado y competencia mundial
- Estabilización de los precios de productos agrícola formando los precios fijos, todo a pesar de posibles sobre gastos necesarios para el soporte de los agricultores
- Tomar decisiones sobre las medidas transparentes legislativas sobre ordenes o posibilidades obtener los bonos de impuestos, pero todo el soporte para orientar al aprovechamiento de reglas mercantiles, gastos de producción competirles, contrataciones a largo plazo; ¡ nunca con los ordenes o directivas planificadas!

CANADÁ

La materia prima para la producción bioetanol en Canadá es el trigo. Su producción en su zona climática es más ventajosa que el maíz y pasa hasta 50 millones de toneladas /año de esta cantidad exporta casi 75-80%. Su dependencia en exportaciones es bastante alta tanto como en condiciones y competencia en el mercado mundial. Canadá acepta generalmente las medidas iguales que EEUU y plantea hasta el año 2005 cuadruplicar aumentando su producción de bioetanol para carburantes y forraje para los animales. Excepto de modernizar la tecnología de bioetanol existe en el país una gran tendencia en el aprovecho de toda materia valiosa de las capas individuales de trigo (el proceso debraning) que junto con la industria almidones ofrece un producto con alto valor agregado como el gluten de trigo, los jarabes de isoglucosa, maltosa y fructosa, los almidones modificados etc. Las leyes de Canadá aplican las mismas medidas que EEUU, implementando sus regulaciones y recomendaciones.

Pero Canadá, gracias a condiciones climáticas y buen desarrollo en modificaciones genéticas de plantas industriales tiene nuevos clones de maíz, colza (Canola = *Arabidopsis x Brassica)*, resistentes contra herbicidas. La sobreproducción nacional de aceites vegetales aprovecha industria oleoquímica produciendo con bioetanol los etilo-esteres de ácidos grasos para carburantes.

MEXICO

A pesar de mucha riqueza natural, ricos yacimientos petroleros, amplia gama de condiciones climáticas y zonas con diferentes suelos arables, pastos y semiáridas, México es hasta ahora un modesto vecino de EEUU y Canadá. Aunque con estos países forma una zona económica con transito libre por frontera a la mercancía y está colaborando en varia producción industrial, no es capaz competir adecuadamente contra la presión de exportaciones departe de los vecinos norteños, especialmente en cuanto dispone con suficientes divisas (obtenidas por venta de petróleo) para los pagos. Se conoce, México importa entre otro muchos aquellos productos, los cuales podría sustituir por la producción nacional. Su abundancia en el mercado nacional es frecuentemente provocando crisis no-solo en la industria, pero también en la agricultura mexicana, especialmente maíz, colza, caña de azúcar (los problemas 52 centrales azucareras

en el año 2001). Consecuentemente a esos factores no se aprovecha el suelo arable, no hay empleo en zonas rurales y sube la pobreza de gente junto con insuficiente educación y cultura de la población.
Del otro lado existe gran desarrollo en la petroquímica, siderurgia y otros sectores lo que acompañado sube el transporte vial – México no dispone con cadena suficiente de ferrocarriles. Las emisiones causan graves problemas no solo en grandes aglomeraciones urbanas. Una de las medidas consiste en el uso de los carburantes ecológicos, especialmente bioetanol y etilo-ésteres de ácidos grasos. Hay que aprovechar las existentes condiciones nacionales en México implementando todas buenas reglas para el pleno aprovechamiento de los bio-carburantes tanto como la potencia y las posibilidades que ofrece este importante país para su propio desarrollo.

BRASIL

Este país representa en el rango de las fuentes reciclables una categoría especial causada por insuficientes recursos de petróleo en su territorio y la crisis en 1973 provocó grandes pérdidas en su economía nacional. Para compensarla (en condiciones cuando el precio del petróleo fue mayor de 30 USD/barel) fue introducido en 1975 el Programa PROÁLCOOL con la tarea de mezclar la gasolina con bioetanol anhidro producido de fuentes reciclables nacionales en una proporción de 15 al 20%. Para cumplirla fue necesario ampliar la capacidad de varias destilerías, construir las nuevas más potentes. En 1980 aparecieron los primeros vehículos usando etanol puro anhidro como carburante. Durante 1983 -1989 subió su cantidad y en 1990 formaron ya 40 % del flete de vehículos brasileños. La meta desde el año 1985 es producir anualmente unos 10,5 millones m^3 (con una subida de tierra arable de 1,5 millones hectáreas hasta 4,5 millones) fue cumplida y la producción en la zafra 1998/1999 subió hasta 15,2 millones m^3. Para crear condiciones de suportar el Programa Pro-álcool fue creado el Programa CENAL. Después de la evaluación del Programa Pro-álcool en el año 2000 aplicaron el Programa CNPq orientado al aumento de nivel técnico y tecnológico de la producción de bioetanol. El Programa Pro-álcool ha formado más de 800 mil nuevos puestos de empleo, además la productividad total subió significativamente desde 3 500 lit/ha/año hasta 6 000 lit/ha/año, lo que eliminó la fuerte presión a la necesidad de nuevos campos arados.

GRUPO: INDIA, CHINA, JAPÓN Y AUSTRALIA,

INDIA

Desde 1.1.2003 ya 9 estados inclusive Maharashtra y 4 territorios unidos legalizaron el uso del 5 % de bioetanol anhidro en carburantes. Fueron varios motivos para aceptar esta medida: comparar la demanda en petróleo, disminuir la importación de gasolina hasta 500 000 t/año, aprovechar la miel final de caña de azúcar y la sobreproducción de productos agrarios, tanto como la protección de ambiente vital, siguiendo los modelos de Brasil, EEUU y Francia, pero considerando los condiciones en zonas rurales del subcontinente de India. La clave para obtener suficiente materia prima fue un programa anterior de gobierno "una revolución verde", el cual desde la zafra 1994/1995 provocó unas producciones excelentes de caña de azúcar, arroz, trigo, soya u otras oleaginosas, lo que trajo el amplio uso de las plantas genéticamente modificadas desde el año 2000). La ganancia estatal de bioetanol en carburantes debe ser usada no-solo para protección ambiental sino para otro desarrollo y utilización de bio-combustibles.

CHINA

Este país tiene gran interés sobre programas de bio-componentes en carburantes. Está bien motivado generalmente por su rápido desarrollo técnico y tecnológico, por crecimiento en consumo de energía, por el suporte estatal de la producción industrial y agropecuaria, por necesidades en empleo y educación, por el crecimiento del transporte vial urbano, interurbano y de carga pesada y por protección ambiental y del aire en grandes aglomeraciones urbanas, tanto como en zonas rurales. La potencia de la producción de las fuentes reciclables en este país es muy alta en todas las formas de materia prima y actuales importaciones de grandes cantidades de trigo, cebada o maíz de EEUU o Australia (alrededor de millones toneladas) no frenarán las motivaciones y esfuerzo gubernamental.

JAPÓN

Japón está ante las decisiones de cómo resolver el problema de los bio-componentes, porque en los motivos no hay diferencias. Generalmente en el país no hay abundancia de propios agro productos, la mayoría es importada. La pregunta es: si importación de materia prima reciclable será necesaria para la fabricación de los bio-componentes o importarlos directamente. En el caso del bioetanol este dilema podría resolverse con una tecnología usando la materia prima fitomasa.

AUSTRALIA
La agricultura en Australia tiene un gran desarrollo con intensiva producción de caña de azúcar, trigo, maíz; gran cantidad de la producción se exporta. La economía del país tiene las mismas motivaciones que India o China, especialmente un creciente transporte, pero para mantener las condiciones optimas de su desarrollo necesita efectivas medidas en la utilización de cualquiera sobreproducción especialmente durante fluctuaciones en el mercado mundial. Solución ofrecen los modelos de Brasil, EEUU y Francia usando bioetanol, ETBE, FAEE.

GRUPO: SUECIA Y FINLANDIA

Estos dos países tienen una posición especial, sus programas de bio-carburantes están orientadas más a la protección ambiental que a suportar la agricultura. Claro, las zonas norteñas no ofrecen abundancia en la producción agrícola, pero existen grandes reservas en cualquier aprovecho de fitomasa. En **Suecia** bajo el programa SVENOL los autobuses urbanos usan carburante diesel con 12% de bioetanol sin necesidad de modificar los motores. Además para motores tipo "Flexible Fuel Vehicles" (FFV) hay en el mercado disponible el carburante E 85 o E 95 (bioetanol + 15 o 5 % de gasolina) con mayor eficiencia que la gasolina pura. Los resultados en el uso de bio-carburantes confirmaron la reducción significante de emisiones nocivas. Pero la cantidad de fuentes naturales (de azúcar o almidón) es insuficiente a pesar de la construcción de una gran destilería en Norrkoping con una capacidad 50 000 m^3/año. Este programa ha creado buen mercado para toda sobreproducción nacional formando paralelamente un empleo para casi 900 personas. Además de su producción nacional Suecia debe importar bioetanol de Brasil, EU, Ucrania. Es un reto para una cadena de investigaciones, experimentos y planta piloto en desarrollo de una mejorada transformación de la fitomasa al bioetanol usando nuevos tipos de equipamiento. La situación en **Finlandia** es parecida, de granos usando la cebada. Pero bien desarrollada esta la industria del papel y celulosa en este país y abundante materia prima lignocelulosa ofrecen condiciones para la descomposición de la fitomasa utilizando liberados azucares para la producción de bioetanol, proteínas forrajeras o furfural.

GRUPO FRANCIA, ESPAÑA, ITALIA, ALEMANIA Y AUSTRIA

A diferencia de los países Escandinavos los motivos de otros países-miembros de EU utilizar los bio-carburantes consisten en suportar la producción agrícola nacional y pleno uso de la tierra arable, empleo en zonas rurales, con garantizada venta de toda sobreproducción (remolacha, trigo, maíz, colza y otras oleaginosas) y para la sustitución de una parte del petróleo importado con la protección del ambiente y aire, todo con las intenciones tratadas sobre las regulaciones e instrucciones de UE. Por esta razón los modelos de todas las actividades son parecidas, aunque cada país tiene sus condiciones especificas.

Francia ha desarrollado su programa basándose en cuotaciónes de agro-producción. Fabrica suficiente cantidad de bioetanol para el ETBE (teniendo suficiente butenos agrega 15 % ETBE a todas las gasolinas sin necesidad agregar bioetanol directamente) y los aceites vegetales para los FAME (estos se agrega al diesel en la proporción de 5 o 30 %). Toda organización está bien dirigida por el gobierno, el sistema funciona en toda cadena con ganancia y sirve de modelo para muchos otros países. Las condiciones en **España** e **Italia** son parecidas. España construyó grandes destilerías (bioetanol para ETBE) y ordenó los altos impuestos al metanol sintético importado para eliminar su competencia. Además en colaboración con Suecia está investigando una posibilidad de aprovechar la materia prima -fitomasa. **Alemania** produce etanol en muchas pequeñas destilerías, las cuales no pueden competir con las grandes. El uso de bioetanol está frenado por el alto desarrollo de la industria petroquímica; los bio-carburantes están suportados por la necesidad de disminuir: la dependencia de petróleo importado y las emisiones de transporte. Cumpliendo las regulaciones de EU comenzaron en 2003 a construir destilerías, una de 260 mil m^3/año y cuatro de 100 mil m^3/año cada una, adaptadas para la utilización de remolacha durante su zafra (en el otoño) y trigo durante el resto de año. Para ayudar a las pequeñas destilerías fue organizada una institución semi-estatal que comprando y vendiendo bioetanol tiene la posibilidad de compensar las diferencias de precios usando el soporte estatal y para proteger su mercado nacional estipuló al bioetanol importado un impuesto del 42% del precio de venta. Además, Alemania desarrolló una amplia producción de FAME por reesterificación de aceites vegetales introduciéndolos a directa y libre venta como un producto equivalente al diesel. La producción comenzó en 1990 y subió de 100 mil t/año en el 1999 hasta 1 200 mil t/año en el 2003, ante todo en las zonas norteñas. **Austria** fue bien motivada por la protección ambiental en sus montañas y zonas turísticas, protección de aguas subterráneas y problemas con emisiones de transporte. No tiene abundancia de agro-producción, pero dispone con materia prima

fitomasa, buen desarrollo e investigaciones, varias plantas piloto para aprobar las variantes de tecnologías ofreciéndolo todo en el mercado de tecnologías, know-how y construcción de equipamiento.

GRUPO POLONIA, HUNGRÍA, REPUBLICA CHECA Y ESLOVAQUIA

Estos países Centroeuropeos tienen las mismas motivaciones como los países de Europa Occidental en la implementación de bio-carburantes en sus sistemas económicos bajo las mismas regulaciones y directivas de UE, considerando todas las condiciones especificas locales y la necesidad de suportar la agricultura y la producción. Los países generalmente no disponen con suficientes plantas productoras, además hay problemas en la competencia mercantil. La implementación de todas las regulaciones en la legislaciones necesita mucha buena voluntad política, porque existen las tendencias de proteccionismo, a veces necesario para compensar las diferencias en su nivel de desarrollo y competencia en el mercado.

Polonia a pesar de su agricultura distribuida a muchas pequeñas fincas, ordenó desde 1.1.2004 agregar 5% de bioetanol a todas las gasolinas. Es un paso muy positivo que permite comenzar y desarrollar la utilización de bio-carburantes en todas sus formas. La producción de bioetanol especialmente grado potable, es grande. La insuficiencia en este momento se esta eliminando construyendo las destilerías nuevas usando la tecnología norteamericana Katzen. **Hungría** (una productora grande de trigo, maíz y oleaginosas) y **Eslovaquia** (productora con pequeño territorio) están preparando la implementación de las regulaciones de EU aprovechando bioetanol y ésteres de ácidos grasos. Los países en el momento no disponen con suficiente cantidad de bioetanol, produciendo hasta ahora en cada país 40 mil t/año MTBE. La necesidad propia, para cumplir la meta de agregar 5% de bioetanol en gasolinas usadas en territorio, es aprox. 100 -125 mil m^3/año en cada país, pero una potencia por materia prima disponible es 3 veces mayor. En la preparación están las nuevas destilerías con capacidad de alrededor de 80 - 100 mil m^3/año de cada una, basándose en trigo o maíz. Además Eslovaquia ya dispone con 4 modernas plantas para producir FAME alrededor de 120 mil t/año total. En ambos casos hay posibilidad de sustituir el metanol sintético por bioetanol produciendo el ETBE y los FAEE. La **Republica Checa** aplicó el Programa de bioetanol en agosto 2003 con la orden desde 1.1.2006 de agregar 5 % de bio-componentes a las gasolinas y diesel. Paralelamente a esta fecha se ha prohibido utilizar el metanol sintético en la fabricación de carburantes. En este momento el país no dispone con suficiente cantidad de bioetanol, en preparación están 7 nuevas destilerías, con capacidad de 80 mil m^3/año de cada una, basándose en trigo y triticale, aunque para cumplir las regulaciones el país necesita aprox. 300 mil m^3/año. Se prevé exportar el resto. Además la Republica Checa tiene plantas para producir 40 mil t/año de MTBE y aprox. 150 mil t/año de FAME, ambos transformables a ETBE y FAEE. Lo común en estos países es una insuficiencia en suportación causada por la transformación de sus encomias nacionales del sistema anterior al otro sistema con la predominancia de la fuerte competencia en el mercado. Sin suportes adecuados al costo de producción y sin motivación a trabajar intensivamente con alta productividad y sin entendimiento de la protección del medio ambiente y el aire, los programas nacionales sobre el uso de bio-componentes en carburantes no se desarrollarán según la necesidad deseada.

GRUPO UCRANIA Y RUSIA.

Estos dos países por sus inmensos territorios, condiciones climáticas, recursos naturales y humanos representan unas potencias de futuro cercano. Su desarrollo en la industria, agropecuaria, transporte, mercado de productos cotidianos y protección obligatoria de ambiente, agua y aire va a abrir las iguales motivaciones como en los países occidentales, a pesar de ricos yacimientos de petróleo y gas natural en Siberia. Generalmente esperamos una abundancia en producción de remolacha, trigo, maíz, oleaginosas, todo de precio bajo (por ejemplo el trigo de cosecha 2003 ofrecen por 30-40 Euro/t sin costo de transporte, comparándolo con el precio contemporáneo europeo alrededor 100-125 Euro/t – es el origen del miedo de una competencia que vendrá de estos países), además las posibilidades de materia prima fitomasa son infinitas. Ambos países diariamente producen grandes cantidades de etanol potable, también industrial, con tecnologías contemporáneas. Existen muchas opiniones sobre la hidrólisis de fitomasa usando el ácido clorhídrico o sulfúrico, fermentación y purificación de etanol destinado a la producción de caucho sintético. Los materiales nuevos, especialmente metales titanio, zirconio tanto como los composites representan nuevas posibilidades en construcción de equipamiento necesario, resistente a las agresivas condiciones. Implementando a estas tecnologías todo lo nuevo que ofrecen automatización junto con enzimología industrial, sistemas de flujo continuo, nuevas cepas de microorganismos libres o inmovilizados y procesos de membranas, esperamos una nueva ola de

desarrollo tecnológico e industrial en la producción de bioetanol u otros bio-componentes y su amplio uso en carburantes y como materia prima en la industria alcoquímica.

UN ENFOQUE SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA ESTABILIDAD Y LA LUBRICIDAD DE LAS MEZCLAS DIESEL/ETANOL COMO COMBUSTIBLE MOTOR.

AN APPROACH TO STABILITY AND LUBRICITY PERFORMANCE OF ETANOL/DIESEL MOTOR FUEL BLENDS.

MSc. Yordanka Reyes Cruz*; MSc. Alberto Cavado Osorio*; Ing. Neyda Om Tapanes*; MSc. Norma Elena Mora Men*

(*) Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), Washington Nº 169 esq. Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba. Telf. (537)577337, Fax (537)666021, Email- yreyes@ceinpet.cupet.cu

Resumen

En el presente trabajo los autores ofrecen una evaluación preliminar de la calidad de diferentes mezclas de etanol con diesel para su uso como combustible motor. Se muestra una caracterización completa de los componentes (Etanol y el Diesel elaborado en la Refinería "Ñico López" en la Ciudad de La Habana).
Igualmente se estudió la estabilidad de estas mezclas, la influencia del alcohol sobre el Valor Calórico y otros índices de la combustión, así como un intento para evaluar la lubricidad en cada una de las variantes estudiadas.
Dentro de los índices de calidad más notables, dependientes de la concentración del etanol y su influencia en el desempeño del motor, se encuentran el bajo valor del Punto Inicial de Ebullición (apróx. 79 C), el bajo valor del Punto de Inflamación (apróx. 10 ºC), como iniciadores de la formación de sellos de vapor, un bajo índice de Cetano y un bajo Valor Calórico, además de una caída de la lubricidad del combustible.
La estabilidad de las mezclas fue evaluada a bajas temperaturas con una negativa influencia de los hidrocarburos aromáticos presentes en el Aceite Ligero de Reciclo (LCO) y de la Nafta Craqueada Pesada como componentes eventuales en la formulación del combustible Diesel.
En el trabajo, igualmente, se presenta una información sobre el intento de evaluar la lubricidad de las mezclas por medio de una modificación de los métodos ASTM diseñados para la medición de las propiedades de extrema presión de las grasas lubricantes.

Summary

In the present paper the authors offer a preliminary quality evaluation of different blends of ethanol and diesel oil as motor fuels. A whole characterization of the components of the blends (ethanol, and Diesel fuel produced at the "Ñico López" Havana Refinery) is shown.
The stability of the blends, the influence of ethanol upon the Heating Value and other combustion properties of the blends and an attempt to evaluate their lubricity were also studied.
Among the most outstanding quality index, depending on the concentration of ethanol, and their influence on the engine performance, are the low Initial Boiling Point (approx. 79 ºC), the low Flash Point (approx. 10 ºC) as initiators of vapor locks, the low Cetane Index and Heating Value, besides a downfall of the lubricity of the fuel.
The stability of the blends was evaluated at low temperatures, with a significant negative influence of the aromatic hydrocarbons as components of the Light Cycle Oil and the Heavy Cracked Nafta, temporary present in Diesel oil formulation.

In the paper is also reported an attempt to evaluate the lubricity of the blends by a modification of the ASTM methods for measurement of extreme pressure properties of lubricating greases.

Introducción

Las nuevas restricciones ambientales establecidas en ciudades densamente pobladas debido a los elevados niveles de contaminación a la atmósfera que se generan en la actualidad, unido al agotamiento de las reservas internacionales de petróleo y a la alta demanda de combustible fósil, han propiciado una creciente aceptación internacional de usar combustibles renovables producidos a partir de biomasa, con beneficios ambientales considerables. Además, es importante la evaluación de las mezclas alcohol/diesel, a partir de materias primas nacionales, debido a la ***necesidad*** de – en primer lugar – buscar alternativas que posibiliten el ahorro de combustible diesel, en segundo lugar, de encontrar una vía para materializar la contribución de nuestro país a la solución de los problemas ambientales provocados por los combustibles automotores convencionales que constituyen casi el 80 % de las fuentes contaminantes que envenenan el aire, y en tercer lugar, de conocer el comportamiento de uno de los recursos renovables nacionales más importantes de nuestra economía, en su desempeño como combustible diesel alternativo, para la industria azucarera.

Los volúmenes de combustible diesel que se producen en el país no cubren las demandas. La introducción de hasta un 30 % de crudo nacional en los inyectos de las principales refinerías del país, ha creado una disminución significativa de la producción de destilados medios, así como el deterioro de su calidad, principalmente, en su contenido de azufre, por lo que la producción de un diesel ecológico formulado a partir de su mezcla con etanol anhidro, se justifica desde varios puntos de vista.

Objetivo

- **Obtener la primera base de información técnica y científica sobre el comportamiento de las mezclas Alcohol/Diesel, a partir de componentes de las industrias nacionales de refinación de petróleo y azucarera.**

Resultados y Discusión

En los laboratorios del Centro de Investigaciones del Petróleo se formularon las siguientes mezclas:

1. Diesel + 3% Etanol anhidro
2. Diesel + 5% Etanol anhidro
3. Diesel + 8% Etanol anhidro
4. Diesel + 10% Etanol anhidro
5. Diesel + 14% Etanol anhidro
6. Diesel + 3% Etanol anhidro + Aditivo Biomix-D
7. Diesel + 5% Etanol anhidro + Aditivo Biomix-D
8. Diesel + 8% Etanol anhidro + Aditivo Biomix-D
9. Diesel + 10% Etanol anhidro + Aditivo Biomix-D
10. Diesel + 14% Etanol anhidro + Aditivo Biomix-D

Las materias primas utilizadas en las formulaciones se relacionan a continuación:

- Combustible Diesel Regular (Muestra tomada el 6 de Enero del 2003 en la Refinería Ñico López de Ciudad de la Habana).
- Etanol Anhidro (99.7 grados Gay Lussac).
- Aditivo mejorador de la combustión, Biomix-D (dosificación 1/1000).

Con el fin de establecer la variación de la calidad de las mezclas en función de la concentración de etanol, se procedió a la caracterización físico-química del diesel y sus mezclas. Los resultados que se obtuvieron se muestran en la tabla Nº I (*2, 1995*).

Tabla Nº I. Caracterización físico química del Diesel y sus mezclas con diferentes concentraciones de Etanol Anhidro.

Índices	**Métodos**	Diesel	Diesel+B	Especf.	D+3%A	D+5%A	D+8%A	D+10%A	D+14%A	D+3%A+B	D+5%A+B	D+8%A+B	D+10%A+B	D+14%A+B
Densidad a 15 ^{0}C, g/cm^3	ASTM D 1298	0.8530	0.8530	0.81-0.86	0.8510	0.85	0.8483	0.8479	0.8475	0.8510	0.85	0.8483	0.8480	0.8468
Corrosión láminas de Cu 3h 100 ^{0}C	ASTM D 130	1 a	1 a	1 máx	1a	1 a	1 a	1 a	1 a	1a	1 a	1 a	1 a	1 a
Azufre Total, % m/m	ASTM D 1266	0.83	0.84	0.8 máx	0.82	0.82	0.77	0.74	0.79	0.82	0.79	0.74	0.73	0.78
N^0 de Neutralización, mg KOH/g	ASTM D 974	0.13	0.13	0.6 máx	0.123	0.12	0.112	0.109	0.10	0.125	0.12	0.112	0.107	0.101
Visc. Cinemática 40 ^{0}C, mm^2/s	ASTM D 445	3.10	3.11	1.6-5.3	2.9146	2.7862	2.6630	2.6178	2.4644	2.9202	2.7439	2.6404	2.5726	2.4541
Visc. Cinemática 50 ^{0}C, mm^2/s	ASTM D 445	2.54	2.64		2.4458	2.3559	2.1772	2.0869	2.0334	2.4515	2.2452	2.1780	2.1605	2.0494
Visc. Cinemática 60 ^{0}C, mm^2/s	ASTM D 445	2.01	2.03		1.9715	1.9324	1.8440	1.7864	1.6923	1.9867	1.9319	1.8526	1.8089	1.7034
Azufre Mercaptano, % m/m	ASTM D 3227	0.013	0.013		0.011	0.0105	0.0099	0.0092	0.0091	0.011	0.0105	0.0099	0.0093	0.0092
Color ASTM	ASTM D 1500	2.0 – 2.5	2.0 – 2.5	3.5 máx	2.0 - 2.5	2-2.5	2.0 – 2.5	2.0 – 2.5	2.0 – 2.5	2.0 –2.5	2.0 – 2.5	2.0 – 2.5	2.0 – 2.5	2.0 – 2.5
Índice de Refracción	ASTM D 1218	1.4752	1.4752		1.47492	1.47306	1.47238	1.47168	1.47211	1.4751	1.47264	1.47214	1.47150	1.47146
Punto de Inflamación, ^{0}C	ASTM D 93	66.03	66.00	52 mín	12	12	11	10	10	12	12	11	11	10
Agua por Destilación, % v/v	ASTM D 95	Trazas	Trazas		Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
BSW, % v/v	ASTM D 96	Ausen.	Ausen.	0.05 máx	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.
Punto de Anilina, ^{0}C	ASTM D 611	58.6	59.6		59.8	60	60.8	61.6	68	60	60.2	60.8	61.8	67.8
Índice de Cetano	ASTM D 4737	47.57	47.79	43 mín	47.54	47.27	46.7	45.19	45.13	47.58	47.28	46.92	46.88	45.66
Contenido de Sulfhídrico, % m/m	IP 103	Ausen.	Ausen.		Ausencia	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.
Carbón Conradson, % m/m	ASTM D 189	0.059	0.051	0.1 máx	0.057	0.0560	0.0540	0.0531	0.0507	0.0495	0.0484	0.0469	0.0459	0.0438
Cenizas Totales, % m/m	ASTM D 482	0.0055	0.0045	0.01 máx	Ausencia	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.	Ausen.
Aromáticos totales, % m/m	Espc. Ultravio	46.8803	43.7900	Reportar	43.3800	42.9460	39.9861	38.6504	37.3146	41.3582	39.2200	37.9599	36.4589	35.4096
N^0 Yodo	GOST 2070	0.69	0.70		0.698	0.695	0.699	0.693	0.697	0.71	0.71	0.71	0.705	0.705
Valor Calórico Inferior, kcal/kg	ASTM-D 240	10013	10052		9897	9794	9759	9707	9550	9974	9849	9761	9732	9653
Destilación ASTM, ^{0}C	ASTM D 86													
PIE		187.95	190.95	Reportar	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
5		205.95	207.95		188	79	79	79	79	187	79	79	79	79
10		217.95	218.95		215	208	196	79	79	215	208	197	196	79
20		234.95	236.95		226	228	220	221	218	227	226	223	224	214
30		249.95	250.95		244	242	240	238	233	245	246	240	242	239
40		261.95	262.95		259	259	257	254	253	259	260	259	258	256
50		274.95	275.95	235-300	271	271	269	269	267	271	271	270	270	269
60		286.94	287.94		283	284	281	282	281	282	284	282	282	280
70		299.94	301.94		298	297	296	294	296	297	298	297	296	297
80		317.94	319.94		315	317	317	313	314	314	317	316	314	316
90		345.94	345.94	360	344	345	346	340	344	343	346	346	342	344
95		374.94	375.94		372	376	374	372	373	371	374	373	373	372
PFE		381.94	384.94	Reportar	379	379	379	379	380	378	380	379	380	379
% Recobrado		97.99	97.99		98.09	97.99	97.99	97.99	98	97.04	98	98	98	98
% Pérdida		0.51	0.51		0.1	0.51	0.41	0.51	0.5	0.9	0.4	0.3	0.4	0.5
% Residuo		1.5	1.5		1.81	1.5	1.6	1.5	1.5	2.06	1.6	1.7	1.6	1.5

D: Diesel Regular A: Alcohol (Etanol) B: Biomix-D

Es de notar que, exceptuando el punto de inflamación, los demás índices alcanzaron valores satisfactorios de acuerdo con las especificaciones de calidad establecidas por CUPET para el combustible diesel regular. Además, como se esperaba, uno de los índices más afectados con la inclusión de etanol en el diesel ha sido el punto inicial de ebullición del combustible. Si observamos las figuras Nº 1 y 2 donde se representan los resultados de la destilación ASTM vemos que a partir del 30% del rendimiento de destilado las curvas se superponen.

Figura Nº 1. Curvas de destilación (Combustible Diesel Regular y sus mezclas con diferentes proporciones de Etanol anhidro)

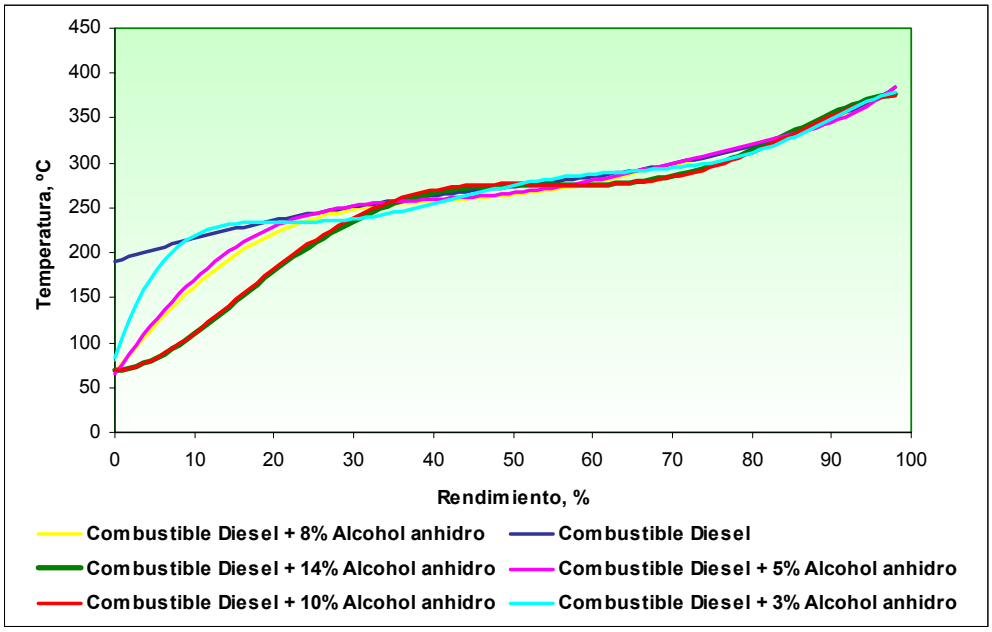
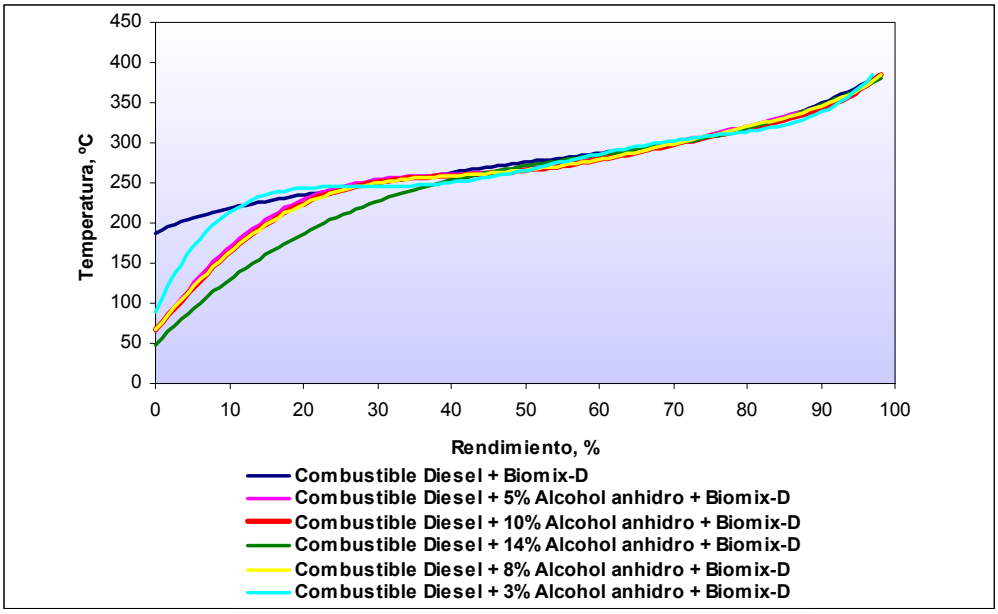


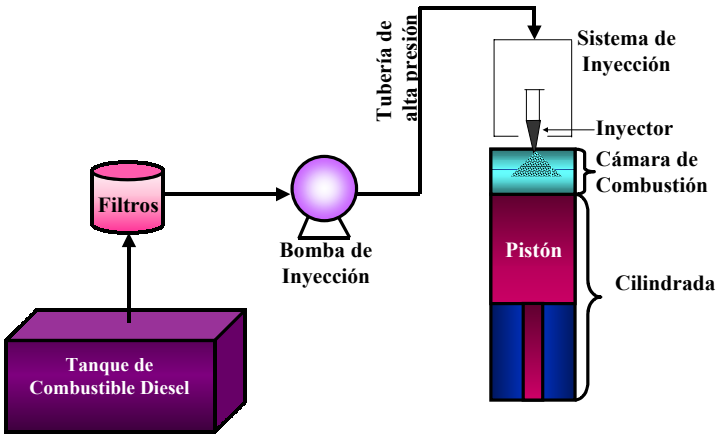
Figura Nº 2. Curvas de destilación (Combustible Diesel Regular y sus mezclas con Biomix-D y con diferentes proporciones de Etanol anhidro)



El etanol como monocomponente, ebulle a una temperatura de 80ºC, lo cual da lugar a la deformación de la curva de destilación hasta aproximadamente el 30% de rendimiento donde se superponen con la curva del Diesel sin adición de alcohol.

Es muy importante señalar, que el punto inicial de ebullición del diesel regular no tiene establecido en las especificaciones de CUPET un límite mínimo, porque es obvio, que en la formulación del combustible diesel en las refinerías nunca se utilizarían fracciones con punto inicial de ebullición inferior a los 180ºC ya que se afectaría el rendimiento de productos claros, más valiosos; pero esto no indica que desde el punto de vista mecánico no tenga incidencia. A partir de la figura Nº 3 trataremos de explicar la importancia que tiene para el funcionamiento de un motor diesel que este índice no tenga valores tan bajos como en este caso (79ºC).

Figura Nº 3 Inyección de combustible a la Cámara de Combustión (*Fernández, 1989*)



En un automóvil equipado con un motor diesel, el combustible almacenado en el tanque pasa por los filtros antes de llegar a la bomba de inyección, la cual bombea el combustible por las tuberías de alta presión hasta el sistema de inyección. En estas tuberías se incrementa la temperatura a valores entre 70 y 150ºC, produciéndose, en el caso en que se utilice un combustible con bajo punto de ebullición, la vaporización de parte de este, lo que podría provocar que el motor se detenga debido a que todo este sistema es hidráulico y no deben haber vapores (fenómeno de cavitación), como resultado, no llega al sistema de inyección el volumen de combustible necesario para garantizar una óptima atomización a la cámara de combustión. En las mezclas analizadas no se considera que el motor llegue a detenerse debido a que las concentraciones de alcohol son pequeñas, pero si influye negativamente en el consumo pues para lograr igual energía necesitaría más combustible (*Pourbaix, 1970*). Mediante la realización de pruebas en bancos de motores podrá comprobarse y demostrarse esta explicación teórica.

Viscosidad

La viscosidad en el combustible diesel es otro de los índices donde se debe puntualizar, debido a que en este tipo de motores, es el mismo combustible el encargado de lubricar el sistema. Particularmente los alcoholes no benefician esta propiedad, su efecto en las mezclas se muestra en los resultados de la tabla Nº I. Según las especificaciones este parámetro se chequea a 40ºC, pero como las variaciones a esta temperatura fueron poco significativas se decidió chequearla a 50 y 60ºC, demostrándose que a estas temperaturas las variaciones continuaron siendo de pequeña magnitud. Los valores de viscosidad se mantuvieron en todas las muestras dentro del rango especificado para el combustible diesel regular, no obstante, según resultados reportados en la

literatura consultada, obtenidos en pruebas realizadas con estas mezclas a escala de banco en Brasil (*Da-Silva, 2000*), se demostró que de acuerdo con las condiciones a las cuales se desarrollaron sus investigaciones y a la composición hidrocarbonada de las mezclas utilizadas, ocurrían problemas de desgaste en algunas partes móviles de los motores, como válvulas de presión y pistones, a pesar de obtenerse resultados satisfactorios en la viscosidad de las mezclas. Es de notar que a una temperatura de 60ºC el valor de la viscosidad, en las mezclas preparadas con alcohol anhidro, cae hasta valores muy cercanos al mínimo permisible cuando se trabaja con concentraciones de alcohol del 10 y el 14% en mezcla.

Con el objetivo de obtener resultados preliminares en cuanto al desgaste que puede producirse al utilizar las mezclas formuladas, se sometieron a la prueba de Carga/Desgaste, según ASTM D 2783-71, en la máquina de cuatro bolas, las siguientes muestras:

1. Diesel Regular
2. Diesel Regular + Biomix-D
3. Diesel Regular + 3% Alcohol
4. Diesel + 8% Etanol anhidro
5. Diesel + 14% Etanol anhidro
6. Diesel + 3% Etanol anhidro + Biomix-D
7. Diesel + 8% Etanol anhidro + Biomix-D
8. Diesel + 14% Etanol anhidro + Biomix-D

Las pruebas se realizaron bajo las siguientes condiciones:

Temperatura: 32ºC Tiempo: 10 segundos

Los resultados que se obtuvieron, de forma orientativa, se muestran en la tabla Nº II y en las figuras Nº 4 (a y b).

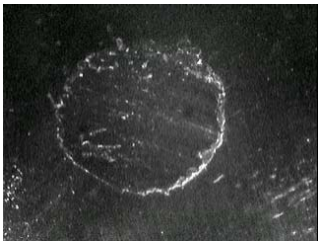
Tabla Nº II Prueba Carga / Desgaste

Muestra	Carga, kg	Huella de desgaste medio (mm)
Diesel Regular	30	No se aprecia desgaste
	32	No se aprecia desgaste
	34	**1.23**
Diesel Regular + Biomix- D	30	No se aprecia desgaste
	32	No se aprecia desgaste
	34	**1.2**
Diesel + 3% Etanol anhidro	30	No se aprecia desgaste
	32	No se aprecia desgaste
	34	**1.26**
Diesel + 8% Etanol anhidro	30	0.527
	32	1.300
	34	**1.430**
Diesel + 14% Etanol anhidro	30	0.594
	32	1.387
	34	**1.482**
Diesel + 3% Etanol anhidro + Biomix-D	30	No se aprecia
	32	No se aprecia
	34	**1.23**
Diesel + 8% Etanol anhidro + Biomix-D	30	0.517
	32	1.260
	34	**1.392**
Diesel + 14% Etanol anhidro + Biomix-D	30	0.559
	32	1.370
	34	**1.440**

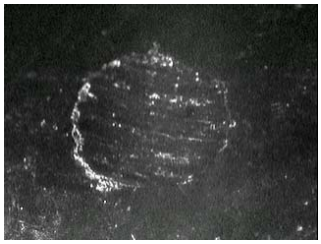
Este método está diseñado para fluidos lubricantes, aceites y grasas, de mayor viscosidad. Al estudiar el combustible Diesel y aún más, las mezclas de este con etanol, las cargas aplicadas no pueden ser muy altas debido al incremento de la fricción y de la temperatura y la evaporación del combustible, por tal razón la carga aplicada (kg) máxima fue de 34 kg, no pudiendo calcularse el Índice Carga/Desgaste, donde es necesario contar con un mínimo de 10 mediciones a intervalos de carga definidos.

Figura Nº 4. Huellas de desgaste (muestras sometidas a una carga de 32 kg durante 10 seg.)

a)Diesel + 8% Etanol



b) Diesel +14% Etanol



Como se puede ver en el caso del diesel regular y en las mezclas con 3% de Alcohol anhidro, con y sin Biomix-D, esta película se mantiene cuando se somete a cargas hasta de 32 kg, sin embargo, en el caso de las mezclas con una concentración de etanol superior al 8%, sometidas a la misma carga, se observa un desgaste considerable respecto al blanco (Diesel Regular), alcanzando valores superiores a 1.3 milímetros. Estos resultados alertan sobre la necesidad de realizar pruebas rigurosas de lubricidad a escala de banco, cuyos resultados permitirían determinar el nivel de afectación y definir, a través de una evaluación económica, si se justifica la utilización de estás mezclas al compararlas con el desgaste de los componentes del sistema de combustible.

Punto de Inflamación

Al comenzar a analizar los resultados de la caracterización físico – química de las mezclas se hizo referencia a este índice, por tener valores inferiores al límite mínimo establecido para el combustible diesel (52ºC mín.) propiciado esto por la inclusión del etanol (con punto de inflamación de 13ºC). Este comportamiento no favorece la combustión en el motor diesel, puesto que, cuando el combustible se inyecta a la cámara de combustión no debe inflamarse espontáneamente, sino solo después de cierto tiempo, lo cual es necesario para que este se evapore, se mezcle con el aire y aumente la temperatura de la mezcla hasta la temperatura de inflamación espontánea. Cuando la temperatura de inflamación es tan baja como en estos casos la combustión tendría el carácter de una explosión y además se formaría gas en el depósito de combustible. (1)

Indice de Cetano

La determinación del índice de cetano permitió establecer la influencia del alcohol en las propiedades de ignición de las mezclas. Según los resultados de la tabla Nº I, al incluir diferentes concentraciones de etanol anhidro, con número de cetano de 8, este índice disminuyó, aproximadamente dos unidades, aunque no alcanzó valores inferiores al especificado (43 mín.). En la formulación de estas mezclas se incluyó el aditivo mejorador de la combustión Biomix-D, que próximamente estará incluido en el diesel que se comercializará en el país.

En la evaluación de las mezclas Alcohol - Diesel no fue posible realizar la determinación del Número de Cetano en máquina, según ASTM-D 613. Esta fase de experimentación resulta imprescindible debido a la introducción de un compuesto oxigenado en un motor de compresión (ciclo Diesel), además, esta determinación en máquina, permite obtener una característica de auto

ignición precisa, pues la aplicación de formulas empíricas a este tipo de mezclas, como la utilizada, ASTM D 4737, presenta un gran umbral de incertidumbre, además, solo es valida para el diesel formulado a partir de fracciones procedentes de la destilación atmosférica del crudo y fracciones obtenidas de los procesos de craqueo térmico y catalítico. (*2, 1995*)

Teniendo en cuenta las diferencias que existen entre los valores que se obtuvieron en este estudio mediante el cálculo del índice de cetano y las determinaciones de número de cetano realizadas cuando se estudió el aditivo Biomix-D (*Cavado, 1999*) consideramos que tanto desde el punto de vista, rigurosamente analítico y tecnológico, como cuando se llevan a cabo investigaciones profundas, por ejemplo, que requieren valores muy precisos, ningún método basado en cálculos se puede utilizar en sustitución del número de cetano determinado en máquina. Bajo la influencia de ciertos factores (naturaleza y origen del combustible entre otros), el índice de cetano calculado pueden diferir considerablemente del determinado en máquina. (*Pourbaix, 1970*)

Pruebas de Estabilidad

La estabilidad a la separación en presencia de agua, es una de las condiciones indispensables de las mezclas con alcohol, por lo que se hace obligatorio este estudio, para determinar la dosificación de cada sistema y las condiciones límites (temperatura y tiempo).

Siempre que se ha estudiado la estabilidad de estas mezclas, según la literatura consultada, se reportan los resultados a temperaturas entre 0 y 5ºC, en nuestro caso teniendo en cuenta las condiciones técnicas de nuestros laboratorios, se realizaron los estudios a las siguientes condiciones:

Temperatura, ºC	Tiempo, horas
0	216
10	216
20	216
32	216

Nota: Las observaciones se realizaron cada 24 h

En todos los casos las mezclas se observaron antes de someterlas a la temperatura seleccionada, comportándose como una solución transparente y homogénea, con características visuales muy semejantes al diesel puro.

Las mezclas se colocaron en una nevera, con control de temperatura, y se observaron a las 24 h, transcurrido este tiempo ya las muestras Nº 4, 5, 6 y 10 presentaban separación en fases y las demás muestras no mostraban variación, este comportamiento se mantuvo durante los nueve días en que se observaron. Las figuras 5 y 6 representan los resultados que se obtuvieron después de observar visualmente el comportamiento de las materias primas y de las mezclas con diferentes concentraciones de etanol anhidro, sometidas a 0 y 10ºC durante 216 h. Sin embargo, todas las muestras, sometidas a 20 y a 32ºC durante 216 h, se comportaron de forma estable.

Es importante destacar la influencia de la composición hidrocarbonada del combustible en la estabilidad, en la tabla Nº I aparecen los resultados de las determinaciones de aromáticos en el diesel y en las mezclas con diferentes concentraciones de etanol anhidro. Es de señalar que un incremento en el contenido de aromáticos en la composición del Diesel (posibles adiciones de NCP o LCO) influirá negativamente sobre la estabilidad de estas mezclas.

Fig. 5 Estabilidad mezclas Diesel + Alcohol Anhidro a T = 0ºC

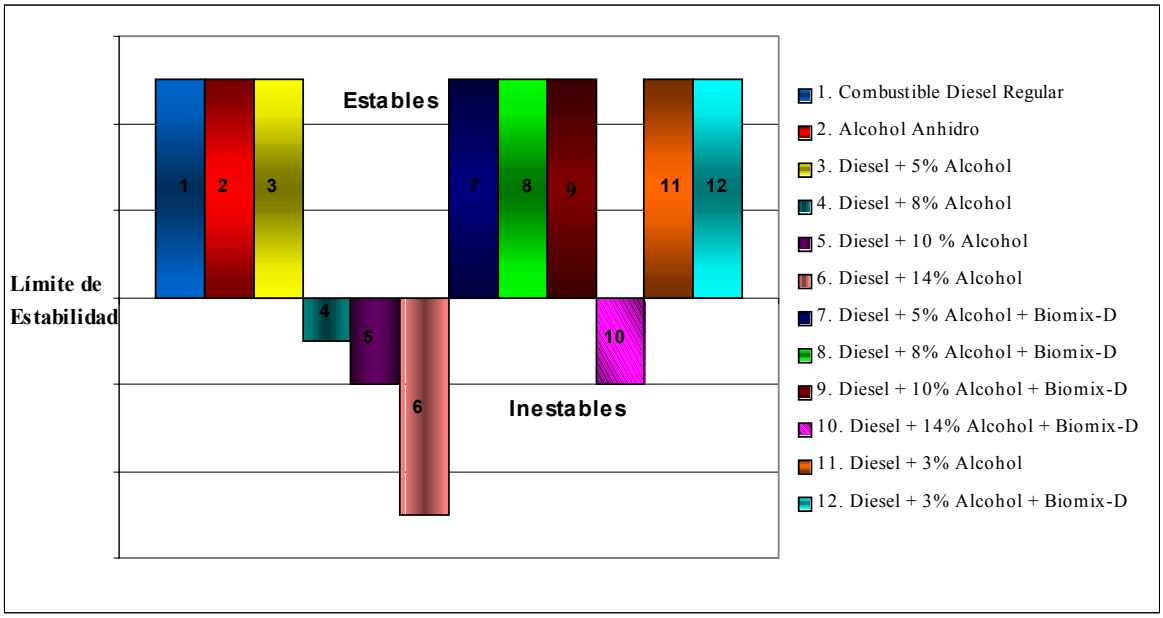
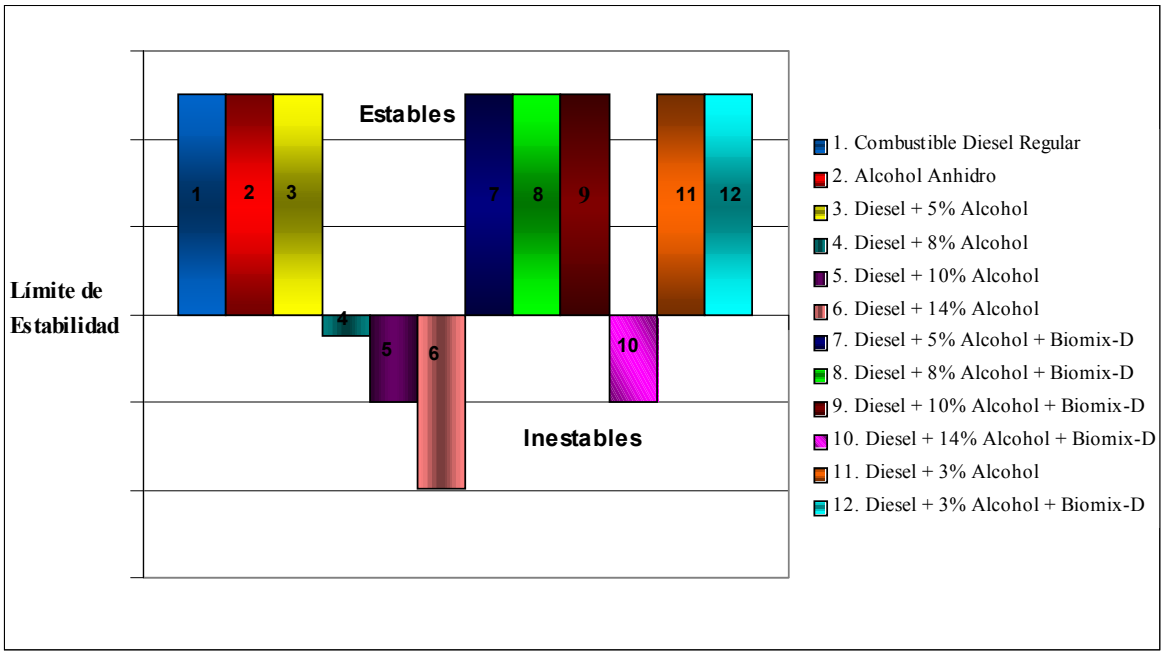


Fig. 6 Estabilidad mezclas Diesel + Alcohol Anhidro a T = 10ºC



Conclusiones

Con la inclusión de diferentes concentraciones de etanol anhidro al combustible diesel regular, se afectaron varias propiedades que pueden influir en el funcionamiento del motor como:

Negativas

- Punto inicial de ebullición (baja hasta 79ºC)
- Punto de inflamación (baja hasta aproximadamente 10ºC)
- Reduce el índice de cetano.
- Disminuye las propiedades lubricantes (se incrementa el desgaste).
- Disminuye el Valor Calórico.

Positivas

- Reduce el contenido de azufre total y mercaptano.
- Disminuye la acidez
- Decrece el contenido de hidrocarburos aromáticos.

1. A las temperaturas de 0 y 10ºC mostraron separación en fase, en las primeras 24 horas, las mezclas:
   Diesel + 8% Etanol anhidro Diesel + 10% Etanol anhidro
   Diesel + 14% Etanol anhidro Diesel + 14% Etanol anhidro + Biomix-D

2. A las temperaturas de 20 y 32ºC todas las muestras se mostraron estables.
3. El aditivo Biomix-D incluido en las mezclas, en una proporción de 1/1000, para mejorar el índice de cetano, influyó positivamente en la estabilidad.
4. Puede haber pérdida de la estabilidad en las mezclas por incremento de aromáticos debido a la inclusión de NCP o LCO en la formulación del Diesel Regular.

Recomendaciones

- Realizar pruebas en bancos de motores acreditados que incluyan análisis de los gases de emisión y pruebas de lubricidad.
- Determinar Número de Cetano en máquina.
- Realizar una evaluación técnico – económica.
- En las pruebas de estabilidad se debe ampliar el tiempo de observación de las muestras y determinar la concentración de agua a partir de la cual se produce la separación.
- Realizar pruebas de campo.

Bibliografías

1. *Manual de aplicación de los combustibles y materiales lubricantes*. República de Cuba. Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias.
2. *Annual Book of ASTM Standards: Petroleum products, Lubricants and Fossil Fuels*. American Society for testing and materials. 1995, section 5, vol 4. Philadelphia: Easton. ISBN 0.8031.2136.9
3. Pourbaix, J. *Motor Diesel*. Primera Edición. 1970, tomo III.

4. Fernández, Enrique. *Influencia de los combustibles en el funcionamiento de los motores de combustión interna*. Ciudad de la Habana: Pueblo y Educación, 1989. 276 p. SNLC:RA 01.13630.5
5. DA-SILVA, Adailson, et al. "The Brazilian Experience on Developing a Alcohol – Diesel binary fuel". *Revista Economy & Energy*. 2000, May/Jul, Nº 20.
6. CAVADO, Alberto. "Proyecto Aditivo mejorador de la calidad del combustible Diesel. Biomix-D". Informe Inédito. Centro de Investigaciones del Petróleo, 1999.

OBTENCIÓN DE EXTRACTOS RICOS EN AROMAS A PARTIR DE AGUARDIENTE AÑEJADO MEDIANTE EXTRACCIÓN CONTÍNUA CON CO_2 SUPERCRÍTICO

Iratxe Garay*, Alberto García, Jose L. Ercoreca*, Amaury Alvarez
*Centro tecnológico Gaiker, Vizcaya, garay@gaiker.es
ICIDCA, Via Blanca 804 11000 La Habana, albertg@icidca.edu.cu

Se evaluaron las variables que influyen en la separación de una fracción aromática de aguardiente añejado en una planta piloto continua de extracción supercrítica a contracorriente en 3 etapas como son relación caudal de CO_2/ caudal de alimentación de aguardiente, nivel de inyecto a la columna, asi como presión y temperatura de extracción que se fijaron entre120 - 240 atm y temperatura de 40^0C-70^0C. Los extractos fueron aislados en los separadores S_1 y S_2 a presiones de 90 y 60 atm. Los compuestos de interés portadores de aromas, 1-propanol, isobutilalcohol, 3-metil-1-butanol y acetato de etilo fueron determinados por cromatografía de gases-masa mediante la técnica de inyección de Headspace (HS) y con una columna HP INNOWAX de 60m de largo. Se realizó una valoración sensorial de los extractos con aroma frutal que fueron incorporados a bebidas refrescantes con bajo contenido alcohólico que arrojó buena aceptación por el consumidor con el respaldo de una evaluación económica que indica que es factible producir estas fracciones ricas en acetato de etilo para nuevas bebidas con bajo contenido de alcohol.
Palabras claves: extracción supercrítica, extracción con CO_2, aguardiente de caña aromas, acetato de etilo

Obtaining of rich extracts in aromas from sugarcane spirit matured by means of continous extraction with supercritical CO_2

Iratxe Garay*, Alberto García, Jose L. Ercoreca*, Amaury Alvarez
*Centro tecnológico Gaiker, Vizcaya, garay@gaiker.es
ICIDCA, Via Blanca 804 11000 La Habana, albertg@icidca.edu.cu

The variables that they influence in the separation of an aromatic fraction of sugar cane spirit matured in a continuous plant pilot of supercritical extraction at counter-current in 3 stages were evaluated. Relationship flow of CO2 / flow of feeding of liquor, level of inject to the column, as well as pressure and extraction temperature that noticed between120 - 240 atm and temperature of 40^0C-70^0C were tested. The extracts were isolated in the separators S1 and S2 at pressures of 90 and 60 atm. Those rich aroma compounds sucha as, 1-propanol, isobutilalcohol, 3-metil-1-butanol and ethyl acetate were determined by chromatography of gas-mass by means of the technique of injection of Headspace (HS) and with the column HP INNOWAX 60m long. A sensorial valuation of the extracts with fruit-bearing aroma were carried out and were incorporate to refreshing drinks with low alcoholic content that threw good acceptance for the consumer. With the back of an economic evaluation that indicates that it is feasible to produces these rich fractions in ethyl acetate for new drinks it was concluded that supercritical CO_2 extraction is a proper technique for the isolation of aromas from sugar cane spirit matured.
Key words: supercritical extraction, CO2 extraction, sugar cane spirit, aroma, ethyl acetate

Parte Experimental

Como materia prima para la identificación y separación de aromas se utilizó aguardiente añejado y aguardiente crudo de 70^0 GL procedentes del ICIDCA y de concentración muy similar en cuanto a los compuestos de interés:

1. 1-Propanol
2. Isobutilalcohol
3. 3-metil-1-butanol
4. Acetato de etilo

Se incluye la concentración de metanol cuyo nivel en la materia prima de partida se comprobó que era muy inferior a la considerada como tóxica

Aguardiente crudo	ppm 1-propanol	ppm Isobutilalcohol	ppm 3-metil-1-butanol	ppm Acetato de etilo	metanol
X-4021-1	514	522	1404	9	7
X-4021-2	513	650	1319	8	11
X-4021-3	524	503	1266	9	7

Instalación experimental de extracción supercrítica

Para los ensayos se utilizó la planta piloto del Centro Tecnológico Gaiker, cuya puesta a punto para los ensayos se realizó en la primera fase del proyecto. El esquema de la planta e muestra en la Figura 1 donde se ha indicado el recorrido de las diferentes alimentaciones y recogidas de muestras en planta, siendo:

_____ Alimentación CO2 _____ CO2 y extractos aromáticos

_____ Alimentación Aguardiente _____ residuo líquido

La planta está totalmente automatizada para su operación sin supervisión. La adquisición de datos y el control del proceso se realiza por medio de un ordenador. Otras características son:

- Diferentes presiones y temperaturas: máximos de 350 bar y 100^0C
- Columna a contracorriente de tres etapas con operación contínua

∅ = 17,5 mm

∅ = 25,4 mm

H = 2,40 m

- Celdas para extracción de sólidos

1. 375 ml con válvula de purga
2. recogida de muestras líquidas y gaseosas, sistema interno de refrigeración, ventilación y camisa calefactora

- Extracción fracionada por una descompresión en tres etapas
  Separador 1: 50 ml. Máximos de P y T: 200 bar y 100^0C
  Separador 2: 50 ml. Máximos de P y T: 100 bar y 100^0C
  Separador 3: 50 ml o 450 ml. Máximos de P y T: 1 bar y temperatura ambiente
- Módulo de adición criogénica para recoger los compuestos volátiles.
- Flujo máximo de la bomba de CO2: 3,5 l/h
- Flujo máximo de la bomba de alimentación líquida: 2,5 l/h

La Planta Piloto está construída en SS 316 L, de calidad alimentaria, excepto para el separador 3 que es de cristal. En la Figura 1se muestra un esquema de la Planta Piloto.

Caracterización de las muestras de aguardiente crudo y añejado y analisis de los extractos obtenidos

- Técnica de inyección de espacio de cabeza o Headspace (HS)

Los compuestos clasificados como aromas son muy volátiles. Debido a esto es que se utiliza la técnica de inyección de espacio de cabeza (HS). Esta tecnología consiste en preparar en viales un volumen fijo de muestra y calentarla a 80^0C para que los compuestos olátiles pasen al espacio de cabeza del vial hasta que llegar a un equilibrio líquido-gas. La fase gas se inyecta directamente al cromatógrafo de gases –masa (GS-MS). La columna utilizada para el análisis de estos aromas es una HP INNOWAX de 60m de largo, Di 32 mm y grosor de película 0,5 micrones. Previamente se empleó una columna HP-5 de 30m de largo, diámetro interno 0,25 mm, que no resultó adecuada.

El gas portador fue Helio, Q 0 30-40 ml/min. Las temperaturas en el horno fueron en rampa de 40 a 200^0C, en rampa de 10^0C/min. La temperatura del inyector fue de 250^0C y la del detector 280.

Para la cuantificación en un principio de 1-propanol, isobutilalcohol y 3-metil-1-butanol tanto en las materias primas como en los extractos obtenidos por SFE, se prepararon patrones de la mezcla de los res compuestos seleccionados a distinta concentración en un medio etanol/agua al 75% similar a la concentración que tienen los aguardientes.

Resultados y discusión

Optimización de las variables que influyen en la extracción en columna continua

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los distintos ensayos realizados. En cada experimento se analizaron los extractos obtenidos en los separadores (S) asi como el residuo (R), recogido durante el purgado de la columna de extracción durante el ensayo.
La Tabla 3 muestra un resumen de los distintos ensayos realizados. En cada experimento se analizaron los extractos obtenidos en S1, S2 y S3, asi como el residuo (R), recogido durante el purgado de la columna de extracción durante el ensayo. La figura 2 muestra el residuo acuoso concentrado en color, mientras que las fracciones aromáticas son incoloras.
En la Tabla 4 indica la caracterización de los aguardientes crudos tras cada tanda de ensayos en el recipiente dosificador de muestra a la planta piloto con e fin de detectar pérdida de compuestos de interés por volatilidad de los mismos.

Tabla 2
Ensayos realizados en la planta piloto de extracción supercrítca

Ensayo	**Materia Prima**	**Qco_2/Qaguardiente**	**Flujo alimentación**
1	X-4021-Ag. Añejado 2	2,4	Alto
2	X-4021-Ag. Añejado 2	5,0	Alto
3	X-4021-Ag. Añejado 2	10,0	Alto
4	X-4021-Ag. Añejado 4	2,4	Medio
5	X-4021-Ag. Añejado 4	5,0	Medio
6	X-4021-Ag. Añejado 4	10,0	Medio
7	X-4021-Ag. Añejado 5	2,4	Bajo
8	X-4021-Ag. Añejado 5	5,0	Bajo
9	X-4021-Ag. Añejado 5	10,0	Bajo

Tabla 3
PPM totales de los aromas de interés presentes en las muestras obtenidas durante los distintos ensayos. Porcentaje de cada uno de los compuestos en las distintas muestras respecto al total de aromas estudiados en las mismas en Separador 2

	Muestras obtenidas en el separador 2, (PS2 = 60atm y TS2 = 25^0C)				
Ensayo	**Ppm totales**	**% 1-propanol**	**% isobutilalcohol**	**% 3-metil-1-butanol**	**% acetato de etilo**
1	2643.28	30.40	30.71	34.69	4.21
2	2049.60	33.26	26.61	27.43	12.70
3	2513.18	32.22	28.13	37.65	2.00
4	2969.08	26.67	30.41	34.31	8.61
5	2717.48	26.30	31.51	34.61	7.58
6	1901.18	27.83	34.56	31.40	6.22
7	2779.08	26.85	28.08	32.21	12.86
8	2542.53	31.42	27.37	33.79	7.41
9	2159.95	32.92	30.51	29.54	7.02

Tabla 4
Caracterización de las muestras de aguardiente, Antes (O), y después (F), de cada tanda de ensayos expresada como % de cada uno de los aromas respecto a los ppm del total de aromas estudiados

Aguard. crudo	ppm totales	% 1-propanol	% isobutilalcohol	% 3-metil-1-butanol	% Acetato de etilo
X-4021 Ag.Añej.2	O 2924.13 F 2717.6	25.01 25.79	22.46 23.53	50.89 49.01	1.64 1.67
X-4021 Ag.Añej.4	O 2802.35 F 2523.93	23.74 23.97	27.62 28.64	47.07 45.51	1.58 1.77
X-4021 Ag.Añej.5	O 2610.90 F 2500.70	27.06 27.37	22.72 24.34	48.49 46.41	1.73 1.88

Escalado del Proceso

El escalado se realizó con volúmenes de extractos recuperados del orden de 10L de extracto alcohólico y 5 L de extracto aromático a evaluar por la empresa SENDATEK siendo el rendimiento del proceso de obtención de ambos extractos de un 3,4% y un 10% respectivamente tomando como base la materia prima de partida. En la figura 3 se muestra una foto de la planta piloto experimental donde se realizó el escalado.

La caracterización de los extractos finales resultó la siguiente:

Extracto	Ppm 1-propanol	ppm isobutilalcohol	ppm 3-metil-1-butanol	ppm acetato de etilo	ppm metanol
Acuoso	0	0	0	0	0
Alcohólico	1026	118912859	180	110	0

La muestra acuosa, con un contenido de agua casi del 100% presentaba características organolépticas muy diferente a la de los compuestos presentes en los extractos.

En el extracto alcohólico, con un contenido de humedad de un 10% se encontraban todos los compuestos analizados en la materia prima y en una concentración superior a la inicial, el doble en el caso del 1-propanol, isobutilalcohol y 3-metil-1-butanol, y unas 20 veces mayor en el caso del acetato de etilo.

Evaluación económica del proceso de obtención de un extracto rico en aromas del aguardiente crudo por extracción con CO_2 – SC

Se realizó un estudio económico preliminar con el fin de estimar los costes de operación de una planta industrial que trabaje en la obtención de dichos concentrados aromáticos con CO_2. En la tabla 5 se muestran las estimaciones realizadas.

Tabla 5 Estimaciones realizadas para el estudio económico de la planta industrial de obtención de extractos alcohólicos del aguardiente crudo

CONCEPTO	CONSUMO	COSTO USD $
Aguardiente	417 l/h	2,35/l
CO2-SC	1000l/h	6,00/l
Mano de obra	6 operador planta (8h X dia)	150/h
Electricidad	12,500 MWh/año	0,072/KWh
Planta industrial		1 800 000
Producción anual extracto	115.292,161	

En el estudio se ha trabajado sobre la hipótesis de una planta industrial que trabaje 24 h / dia durante un período de 300 dias/año. El Co_2 se recircula y el volumen de almacenamiento será de 24 000 L.

El período de amortización considerado es de 10 años para el inmovilizado y una variación del precio del dinero con el tiempo de un 5% / año. Se ha destinado una pequeña partida paa gastos indirectos. Como resultado del estudio se obtuvo el siguiente precio de venta del extracto alcohólico para que el proceso fuese rentable:

61 $ USD / l

Como aplicación de este extracto se evaluó su incorporación a bebidas refrescantes, para lo cual se realizó un estudio de validación mediante análisis sensorial, siendo la concentración preferida de un 4%. Esto supone que el producto final obtenido tendría que ser 2,44$ / l mas caro que la bebida refrescante en el extracto.

Resultado del análisis económico

El precio de venta de una bebida refrescante de bajo % alcohólico con aroma de aguardiente de caña puede entrar en competencia con los precios de las bebidas equivalentes existentes en el mercado, por lo que se concluye que el proceso desarrollado para la obtención de un extracto alcohólico a partir de esta materia prima puede ser implantado a escala industrial por ser un proceso económicamente viable.

Conclusiones

- El método de extracción de aromas por CO2-SC llevóa la obtención de un extracto cuyos compuestos mayoritarios fueron 3-metil-1-butanol, 1-propanol e isobutilalcohol, en este orden de importancia. En alguno de los extractos también se encontró una pequeña concentración de acetato de etilo que resultó ser determinante para la selección de las condiciones óptimas de su extracción por su aroma frutal.
- Los extractos considerados de mayor interés por sus características organolépticas fueron los recogidos en el segundo separador, debido a que mostraban en todos los casos uuna disminución en e porcentaje de alcoholes totales de la muestra y la concentración de acetato de etilo resultó entre 6 y 8 veces superior al del resto de las muestras y materia prima.
- Las mejores condiciones de operación en columna fueron Qco_2/Qaguardiente de 2,4 y alimentación del aguardiente a la parte inferior de la columna , mientras que las condiciones óptimas de extracción Pext = 117 atm, PS1 = 90 atm, PS2 = 60 atm, Text = 70^0C, TS1 = 40^0C y TS2 = 25^0C.
- Para el escalado del proceso se seleccionó aguardiente añejado como materia prima, a pesar de no mostrar en los distintos análisis cromatográficos diferencias apreciables respecto al aguardiente crudo, pero la sensación organoléptica de las fracciones del añejado era superior.
- Análisis preliminares de valoración sensorial de las muestras concluyeron que los extractos de mayor sensación organoléptica provenían del aguardiente añejado.
- Se formularon bebidas refrescantes de bajo % alcohólico con sabores de diferentes tipos que fueron catalogadas como equivalentes a otros licores existentes en el mercado, lo que fue corroborado en un análisis sensorial mediante una metodología desarrollada por la emprea Sendatek.

Bibliografía

1. Jean-Stéphane Condoret, Cathy E. Fabre, Alain Marty. "Extractive Fermentation of Rose Aroma with Supercritical CO_2. Proceedings of the %th meeting on Supercritical Fluids, 1998. (2) 483-488
2. E. Schutz, H.R. Vollebrecht, K. Sandner, T. Sand, P. Muhlnickel. "Processs for the production of concentrated extracts from Plants.". US 4,632,837
3. Jurgen Heidlas, Ralf Kahleyss, Andrea Simon. "Process for the extraction of natural aromas from natural substances containing fat and oil". US 5, 718,937 1998.
4. G.E.Usher, M.E. Holmes "Improvements in or relating to extraction of flabvour and fragrance from plant material". Patent Number 1 419 958 (1972).
5. F.J. Señorans, E. Ibañez, A.Ruiz Rodrígiuez, J. Tabera. "Countercurrent Supercritical Fluid fractionation of spirits" Proceedings of the 7th Meeting on Supercritical Fluids" 2000, (2), 705-710.
6. Roger M. browning. "Extraction of aroma materials" GB 2 173 985 A, 1985.
7. Val.J. Krukonis. " Supercritical Fluid extraction in Flavour Applications". Supercritical Fluid Extraction 1985. 154-175
8. B.S. Chun, S.J. Lee, G:T. Wilkinson."Debittering of juice and extraction of peet aromas fron Citron with supercritical carbon dioxide". Proceedings of the 7th Meeting on Supercritical Fluids, 2000. (2) 739-744.

ESTUDIO DE INCERTIDUMBRE EN TÉCNICAS ANALÍTICAS UTILIZADAS PARA EVALUAR EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS RONES.

STUDY OF UNCERTAINTY IN THE ANALYTIC TECHNIQUES USED TO EVALUATE THE QUALITY CONTROL OF RUMS.

Autores: * Mauricio Ribas García, Ana Julia Martínez, Nancy Herrera y Bárbara Gregorí

* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
P. O. Box 4026, Habana 10400, Cuba. Fax: 53-7-988243. e-mail: mauro@icidca.edu.cu.

RESUMEN

El presente trabajo realiza un control estadístico de la calidad interno en el laboratorio de alcoholes y bebidas (LABEB) del ICIDCA. Para hacer este estudio se consideró los valores reportados por las siguientes técnicas analíticas: medición de grado alcohólico en alcohol, aguardiente y ron añejado (3 años) (G.L), medición de acidez en alcohol, aguardiente, ron añejado (3 años) y ron añejado (aprox. 15 años) (g/100g AA) y medición del tiempo de permanganato en alcohol (min).
El control estadístico de la calidad interno se dividió en tres partes fundamentales: Análisis de reproducibilidad interna variando los analistas, y los días de observación, análisis de reproducibilidad interna variando únicamente los días de observación y análisis de repetibilidad de los resultados manteniendo constante el analista y el día de observación.
Para realizar los cálculos se construyó una hoja en Microsoft EXCEL 2000 donde se reporta la media, desviación estándar, desviación típica relativa, el criterio de Horrat para evaluar la reproducibilidad del método analítico y el criterio que permite evaluar la repetibilidad de los ensayos. También se calcula los valores de incertidumbre e incertidumbre expandida para cada fuente de variación. Adicionalmente se utilizó el Software estadístico STATISTICA 6.0 for Windows para el análisis estadístico de los datos.

ABSTRACT

In this paper an intern quality statistical control in the ICIDCA laboratory of alcohol and beverages (LABEB) is applied. To make this study it was considered the values reported by the following analytic techniques: measurement of alcoholic grade in alcohol, sugar cane spirit and Aged rum (three years) (G.L), measurement of acidity in alcohol, sugar cane spirits, Aged rum (three years) and Aged rum (approx. fifteen years) (g/100g AA) and measurement of permanganate decolouring in alcohol (min).
The intern quality statistical control was divided in three fundamental parts: Analysis of internal reproduction varying the analysts and observation days, analysis of internal reproduction only varying the observation days and analysis of repeatability keeping constant the analyst and the observation day. The calculations were implemented in Microsoft EXCEL 2000 and the following results were showed: standard deviation, relative typical deviation, the Horrat approach to evaluate the analytic method reproduction and the approach that it allows to evaluate the measurement repeatability. It is also calculated the values of uncertainty and expanded uncertainty for each variation source. Additionally the statistical Software STATISTICA 6.0 for Windows was used for the statistical analysis of the data.

Palabras claves: alcohol, ron, aguardiente, incertidumbre, control estadístico de la calidad.
Keywords: alcohol, rum, sugar cane spirit, uncertainty, quality statistical control.

INTRODUCCIÓN

El control estadístico de la calidad interno de los laboratorios es la parte del control de la calidad donde se utilizan técnicas estadísticas. Mediante el control estadístico de la calidad es posible detectar las principales fuentes de variabilidad de los resultados dentro del laboratorio. Estas fuentes pueden estar dadas por la variabilidad en los resultados entre distintos analistas y equipos , variabilidad en los resultados entre muestras del mismo tipo, variabilidad de los resultados en el tiempo. A estas fuentes de variación se le puede añadir el efecto que produce no mantener constante las condiciones ambientales en el laboratorio.

Como resultado del control estadístico de la calidad interno en el laboratorio, se concluye, si un determinado método de ensayo es apto o no para ser utilizado como un producto terminado.

Entre las ventajas de la implementación del control estadístico de la calidad interno en el laboratorio se pueden señalar las siguientes:

- Permite dirigir mejor los procesos que se ejecutan dentro del laboratorio.
- Proporciona un aval fundamentado sobre la credibilidad de la información generada por el laboratorio.
- Proporciona una buena imagen del laboratorio.
- Propicia la confianza del cliente.
- Ayuda a la clarificación de objetivos.
- Facilita la racionalización del trabajo.
- Elimina repeticiones innecesarias.
- Minimiza las indecisiones.
- Facilita la toma de decisiones.
- Propicia el entrenamiento del personal.
- Permite alcanzar la competencia técnica requerida.

En el presente trabajo se realiza un control estadístico de la calidad interno en el laboratorio de alcoholes y bebidas (LABEB) del ICIDCA. Para hacer este estudio se consideró los valores reportados por las siguientes técnicas analíticas: medición de grado alcohólico en alcohol, aguardiente y ron añejado (3 años) (G.L), medición de acidez en alcohol, aguardiente, ron añejado (3 años) y ron añejado (aprox. 15 años) (g/100g AA) y medición del tiempo de permanganato en alcohol (min).

El control estadístico de la calidad interno se dividió en tres partes fundamentales: Análisis de reproducibilidad interna variando los analistas, y los días de observación, análisis de reproducibilidad interna variando únicamente los días de observación y análisis de repetibilidad de los resultados manteniendo constante el analista y el día de observación.

Para realizar los cálculos se construyó una hoja en Microsoft EXCEL 2000 donde se reporta la media, desviación estándar, desviación típica relativa, el criterio de Horrat para evaluar la reproducibilidad del método analítico y el criterio que permite evaluar la repetibilidad de los ensayos. También se calcula los valores de incertidumbre e incertidumbre expandida para cada fuente de variación. Adicionalmente se utilizó el Software estadístico STATISTICA 6.0 for Windows para el análisis estadístico de los datos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Todas las técnicas analíticas utilizadas en este trabajo fueron implementadas siguiendo las normas cubanas La primera técnica analítica controlada fue la acidez total, en este caso se siguió los pasos planteados en la norma cubana 291 del 2003. El método se basa en la neutralización de las funciones ácidas totales titulables del producto (excepto el ácido carbónico y el anhídrido sulfuroso), mediante la adición de un hidróxido alcalino, en presencia de un indicador de neutralización, cuyo cambio de color evidencia el punto final de la reacción. Para esta técnica se utilizaron los siguientes equipos: frasco cónico de boca ancha de 100 mL, 250 mL, 500 mL y 1000 mL. Pipetas de 1 mL, 2 mL, 5 mL, 10 mL, 25mL y 50 mL. Cilindro graduado de 250 mL, 500 mL y 1000 mL. Bureta de 25 mL, graduada en 0.1 mL. Cilindro graduado 250 mL, 1000 mL. Los reactivos utilizados son: solución de hidróxido de sodio 0.l mol/L y 0.01 mol/L recientemente valorada contra un patrón primario. Solución indicadora de Fenolftaleína al 1 % y Agua destilada neutralizada. El procedimiento consistió en verter 250 mL de agua recientemente hervida y enfriada, se le añaden 2 ó 3 gotas de solución indicadora de fenolftaleina al 1 % y se neutraliza con hidróxido de sodio al 0.01 mol/L; a esta agua neutralizada se le añade un volumen de muestra y se valora con solución de hidróxido de sodio 0.01 mol/L, hasta color rosado, similar al alcanzado durante la neutralización del agua.

El grado alcohólico fue determinado según la norma 290: 2003. El método se basa en la medición de la densidad de las soluciones hidroalcohólicas en los destilados de las muestras de ensayo a 20°C, mediante un alcoholímetro calibrado a esa temperatura que tenga el intervalo adecuado para el grado alcohólico del producto a analizar. Los instrumentos utilizados fueron: Matraz aforado de 250 mL, Balón de destilación con cuello largo de 1000 mL, Condensador de espiral o serpentín, de preferencia Graham, no menor de 400 mm, trampa de vapor, mechero o fuente de calor eléctrica, probeta de 4 cm ó 5 cm y capacidad mínima de 300 mL hasta la boca., Alcoholímetro con escala en porciento en volumen graduado en 0.l % alcohol en volumen y referido a 20°C , Termómetro con escala de 0°C a 50°C, con división mínima no mayor a 0.5°C. Se empleó una solución de hidróxido de sodio 6 mol/L como reactivo.

La determinación del tiempo de permanganato se realizó según la norma 83-25 de 1987. Este método se fundamenta en que los alcoholes primarios son oxidados por soluciones diluidas ácidas de permanganato, efectuándose lentamente la reacción en la medida que el alcohol contenga menor cantidad de impurezas a una temperatura determinada. Se utilizaron los siguientes reactivos químicos: solución de permanganato de potasio 0.2 mg/mL. Se disuelven 0.02 g de permanganato de potasio en agua, libre de dióxido de carbono. Se transfiere a un matraz volumétrico de 100 mL y se completa a volumen.

Solución de cloruro cobaltoso 50 mg/mL. Se disuelven 5.0 g de cloruro de cobalto en agua. Se transfiere a un matraz de un trazo de 100 mL y se completa a volumen.

Solución de referencia. Se transfieren 10 mL de la solución de cloruro de cobalto y 14 mL de la solución de nitrito de uranilo ambos medidos con pipeta a un matraz de un trazo de 100 mL y se completa a volumen de agua. Esta solución se utiliza para seguir el curso de la decoloración de la solución de permanganato. Para realizar las determinaciones se utilizó un baño de agua fría con regulador de temperatura a (15 +- 0.5) °C , Tubos Nessler de 100 mL. El procedimiento consiste en transferir 50 mL de la muestra de ensayo a un tubo Nessler y sumergirlo en un baño de agua fría durante 10 min. Se añaden 2 mL de la solución de permanganato de potasio y se agita, anotando la hora exacta de la adición.

A intervalos de tiempo se comprueba el color de la muestra de ensayo comparándolo con la solución de referencia, contra un fondo blanco con buena iluminación. Cuando sean iguales se anota la hora final.

Para el análisis estadístico se utilizó le herramienta de software Statistica 6.0 for Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer paso consistió en realizar un análisis de reproducibilidad interna del laboratorio considerando dos analistas y cinco días de observación. En la tabla I aparecen reflejados los estadígrafos maestrales para cada variable observada. En la tabla I se destaca la técnica para medir la acidez del alcohol por tener el mayor valor de la desviación típica relativa de la reproducibilidad (RSD_{Obs}). Solamente aparece la técnica para medir la acidez del Ron Añejo (aprox. 15 años) con un valor del criterio de Horrat por encima de dos y por lo tanto no existe suficiente evidencia para afirmar que las técnicas no son reproducibles.

En la tabla I también aparecen reportados los límites inferiores y superiores de la incertidumbre expandida ($\bar{x}_{Inf}$, $\bar{x}_{Sup}$) para cada técnica analítica.

Los valores de grado alcohólico del aguardiente cumplen con la máxima diferencia permitida entre dos observaciones de 0.3 ^{O}GL regulada por la norma 290:2003. Esto no es así para las observaciones de grado alcohólico de Ron Añejo (3 años) donde se aprecia una diferencia máxima entre dos observaciones de 0.6 ^{O}GL .

Tabla # I: Resultados del análisis de reproducibilidad variando analistas y días de obs.

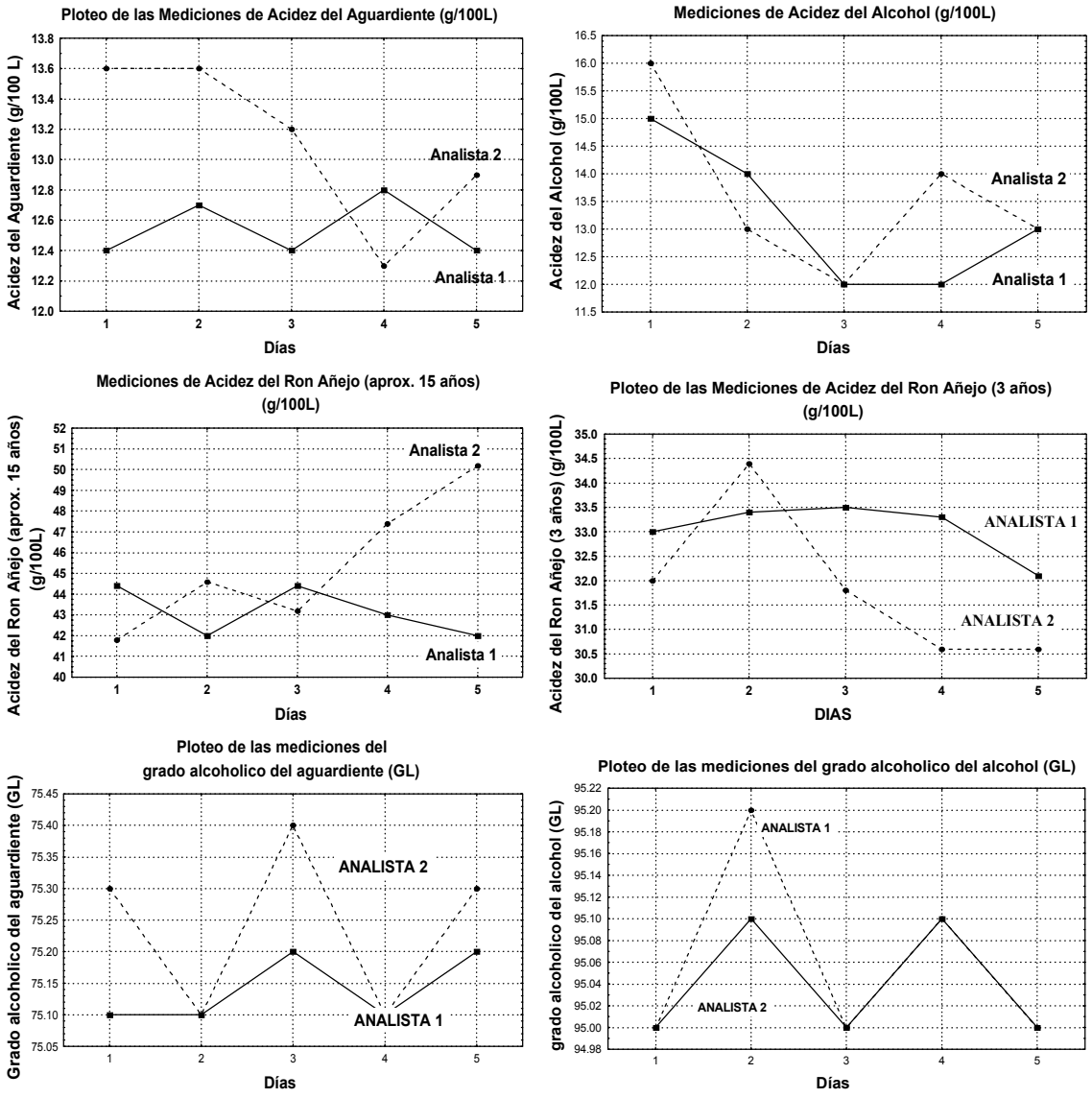
	AdezAgua g/100 l AA	**Adez Añejo 3 años g/100 l AA**	**Adez Añejo 15 años g/100l AA**	**Adez. Alcohol mg/l**	**Tiempo min**
$\bar{x}$	12.9	32.3	44.2	14	21
S	0.482	1.408	2.842	0.949	0.789
RSD_{Obs}	3.73	4.36	6.42	6.78	3.76
RSD_{cal}	3.85	3.35	3.20	5.40	
$Horrat$	0.97	1.30	2.01	1.28	
$\bar{x}_{Inf}$	11.95	29.49	38.55	11.80	19.22
$\bar{x}_{Sup}$	13.87	35.13	49.91	15.60	22.38

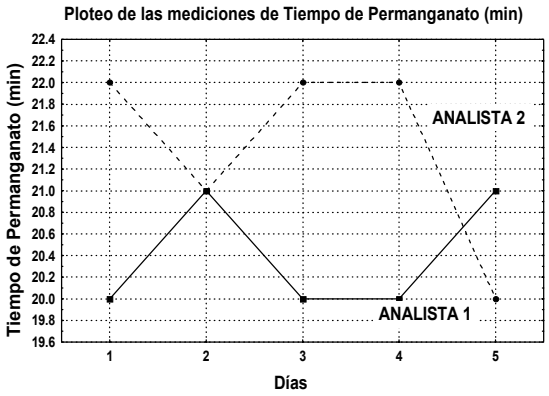
	G.L Alcohol	**G.L Aguardiente**	**G.L. Añejo 3 años**
$\bar{x}$	95.1	75.2	35.7
S	0.070	0.084	0.184
RSD_{Obs}	0.07	0.11	0.52
RSD_{cal}	2.02	2.09	2.34
$Horrat$	0.04	0.05	0.22
$\bar{x}_{Inf}$	94.92	75.07	35.29
$\bar{x}_{Sup}$	95.20	75.41	36.03

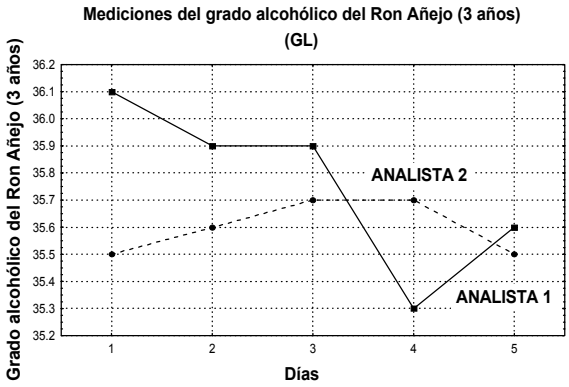
En la figura # 1 aparece graficado el comportamiento de cada una de las características observadas por cada analista durante el transcurso de cinco días. La máxima diferencia relativa entre las observaciones

de los dos analistas ocurre en las mediciones de acidez del Ron Añejo (aprox. 15 años) en el quinto día 18.5%. Esta diferencia es la causa por lo cual el criterio de Horrat para esta técnica es mayor que dos. Otra diferencia relativa de importancia es la que existe entre los dos analistas en el cuarto día de la medición de acidez del alcohol 14.3 %.

Figura # 1: Ploteo de las mediciones de cada característica observada.







En la tabla II se muestra los principales resultados estadísticos por cada analista, se debe señalar que en la mayoría de las características observadas el analista dos presenta valores más altos de desviación típica relativa (RSD_{Obs}) comparado con el analista uno. Aunque en muchos casos la diferencia no es significativa.

De los resultados del analista uno se puede concluir que no existen suficientes evidencias para afirmar que las técnicas analíticas no son reproducibles. Todas las técnicas analíticas cumplen satisfactoriamente con el criterio de Horrat.

Los valores de grado alcohólico del Aguardiente cumplen con la máxima diferencia permitida entre dos observaciones de 0.3 ^{O}GL regulada por la norma 290:2003 bajo condiciones de reproducibilidad. Esto no es así para las observaciones de grado alcohólico de Ron Añejo (3 años) donde se aprecia una diferencia máxima entre dos observaciones de 0.8 ^{O}GL.

El análisis de reproducibilidad para el analista dos reporta que la técnica para medir la acidez en Ron Añejo (aprox. 15 años) no cumple el criterio de Horrat y por lo tanto no podemos afirmar que sea reproducible por este analista.

Los valores de grado alcohólico del Aguardiente y el Ron Añejo (3 años) cumplen con la máxima diferencia permitida entre dos observaciones de 0.3 ^{O}GL regulada por la norma 290:2003 bajo condiciones de reproducibilidad.

Tabla # II: Resultados del análisis de reproducibilidad por cada analista.

	AdezAgua g/100 l AA		**Adez Añejo 3 años g/100 l AA**		**Adez Añejo 15 años g/100l AA**		**Adez. Alcohol mg/l**	
	Analista 1	**Analista 2**	**Analista 1**	**Analista 2**	**Analista 1**	**Analista 2**	**Analista 1**	**Analista 2**
$\bar{x}$	12.54	13.12	33.06	31.88	43.16	45.44	13.2	13.6
S	0.195	0.545	0.568	1.553	1.203	3.372	1.304	1.516
RSD_{Obs}	1.55	4.153	1.72	4.87	2.79	7.42	9.88	11.15
Horrat	**0.73**	**1.31**	0.52	1.54	0.67	2.37	1.95	1.81
$\bar{x}_{Inf}$	12.15	12.03	31.92	28.77	40.75	38.70	10.59	10.57
$\bar{x}_{Sup}$	12.92	14.21	33.07	34.99	45.57	52.18	15.81	16.63

	G.L Alcohol		**G.L Aguardiente**		**G.L. Añejo 3 años**		**Tiempo min**	
	Analista 1	**Analista 2**	**Analista 1**	**Analista 2**	**Analista 1**	**Analista 2**	**Analista 1**	**Analista 2**
$\bar{x}$	95.04	95.06	75.14	75.24	35.76	35.60	20.4	21.4
S	0.548	0.894	0.055	0.134	0.313	0.100	0.548	0.894
RSD_{Obs}	0.576	0.940	0.073	0.178	0.875	0.281	2.686	4.177
Horrat	0.04	0.04	0.06	0.08	0.36	0.14	-	-
$\bar{x}_{Inf}$	93.95	93.27	75.03	74.97	35.13	35.13	19.30	19.61
$\bar{x}_{Sup}$	96.14	96.85	75.25	75.51	36.39	35.7	21.50	23.19

Después de ejecutar el análisis de reproducibilidad interna se realizó un análisis de repetibilidad de los resultados tomando diez mediciones de cada característica en un solo día y por el mismo analista.

Para analizar los resultados de repetibilidad, en algunos casos, se consideraron dos criterios que nos permiten discriminar si una cierta técnica analítica es repetible o no. El primero de ellos consiste en hallar el cociente entre la desviación típica relativa de la repetibilidad (RSD_r) y la desviación típica relativa de la reproducibilidad (RSD_R). Para que una técnica sea repetible debe cumplirse la siguiente relación

$$\frac{1}{2} \leq \frac{RSD_r}{RSD_R} \leq \frac{2}{3}$$

$$RSD_r = \frac{S_r}{\bar{x}_r} \quad \text{y} \quad RSD_R = \frac{S_R}{\bar{x}_R}$$

Siguiendo este criterio, se obtiene que, los valores de acidez del alcohol y grados alcohólicos del analista uno no son repetibles.

El otro criterio utilizado para evaluar la repetibilidad consiste en aplicar lo estipulado en la norma 290:2003 en cuanto a una diferencia máxima aceptable de 0.2 ^{O}GL para Rones y Aguardientes. El analista uno reporta una diferencia máxima de 0.4 en el grado alcohólico del Aguardiente y una diferencia máxima de 0.8 en el grado alcohólico del Ron Añejo (3 años).

En el caso de los valores de acidez de Rones y Aguardientes se siguió el criterio regulado mediante la norma 291:2003 donde plantea una diferencia máxima permitida entre dos observaciones de 0.8 bajo condiciones de repetibilidad. Los valores de acidez de Ron Añejo (3 años) reportan una diferencia máxima de 1.3 superior a la norma y los de Ron Añejo (aprox. 15 años) presentan una diferencia máxima de 1.5 también superior a la norma.

Al analizar los resultados del analista dos siguiendo el primer criterio planteado anteriormente, se obtiene que todas las técnicas de medición de acidez son repetibles así como el grado alcohólico del Aguardiente y el Ron Añejo (3 años). Para este analista el grado alcohólico del alcohol no fueron repetible según este criterio. Como se puede ver en la tabla III, las mayores desviaciones típica relativa de la repetibilidad se obtienen precisamente en las mediciones del grado alcohólico del Alcohol para ambos analistas. Siendo mayor para el analista uno.

Si nos basamos en los criterios establecidos por las normas 290:2003 y 291:2003 se tiene que los grados alcohólicos de los Rones y Aguardientes son repetibles así como los valores de acidez de Ron Añejo (3 años), Ron Añejo (aprox. 15 años) y el Aguardiente.

Los gráficos de cajas de bigotes de la figura 2 muestran una tendencia en el analista dos a reportar valores de acidez más altos que el analista uno pero con una variabilidad menor. Los valores de grado alcohólico del aguardiente reportados por el analista uno presentan una mayor variabilidad que los reportados por el analista dos. El grado alcohólico del alcohol presenta la misma variabilidad para los dos analistas pero el analista uno reporta en general valores un poco más elevados.

El grado alcohólico del Ron Añejo (3 años) presenta un valor alto reportado por el analista uno que hace que la cola de la caja de bigote se extienda. Aunque la diferencia entre este valor y los demás no es apreciable desde el punto de vista absoluto.

Los valores de tiempo de permanganato reportados por el analista dos tienen una mayor variabilidad comparados con los reportados por el analista uno.

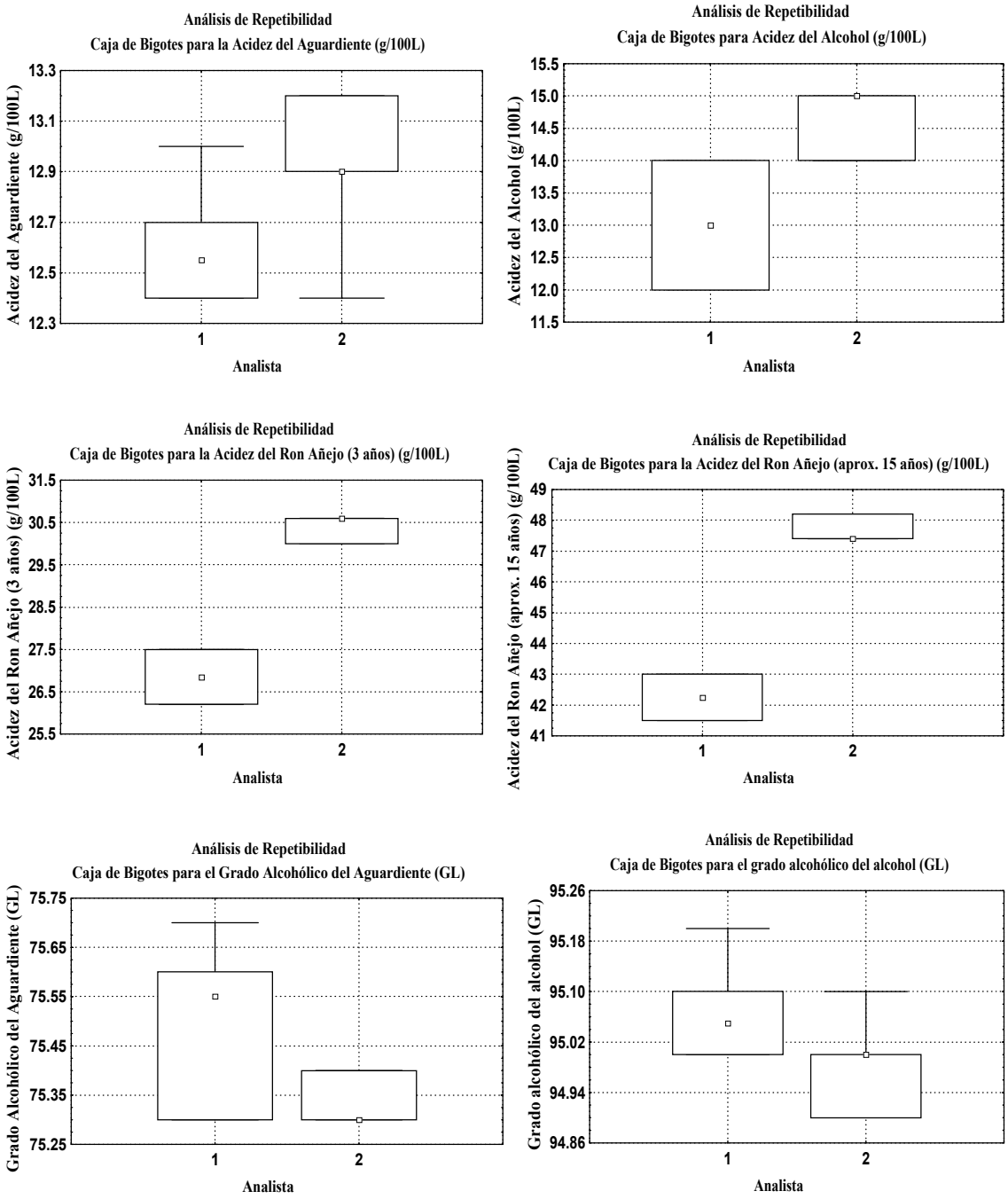
Tabla # III: Resultados del análisis de repetibilidad por cada analista.

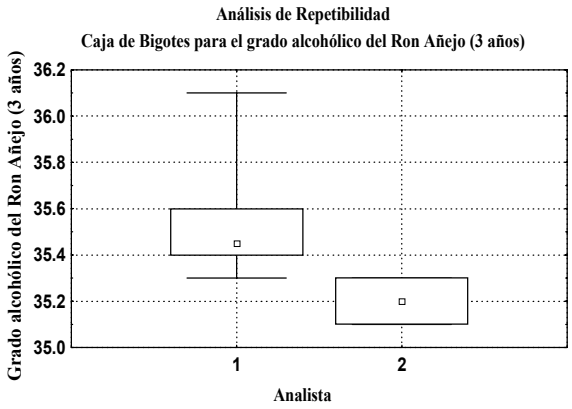
	AdezAgua g/100 l AA		**Adez Añejo 3 años g/100 l AA**		**Adez Añejo 15 años g/100l AA**		**Adez. Alcohol mg/l**	
	Analista 1	**Analista 2**	**Analista 1**	**Analista 2**	**Analista 1**	**Analista 2**	**Analista 1**	**Analista 2**
$\bar{x}$	12.58	12.95	26.9	30.4	42.3	47.7	13.0	15.0
S	0.210	0.264	0.685	0.290	0.791	0.413	1.054	0.516
RSD_{Obs}	1.67	2.03	2.55	0.95	1.87	0.87	8.11	3.54
$\bar{x}_{Inf}$	12.58	12.95	26.9	30.4	42.3	47.7	13.0	13.97
$\bar{x}_{Sup}$	13.0	13.48	28.22	31.00	43.83	48.55	15.11	16.03

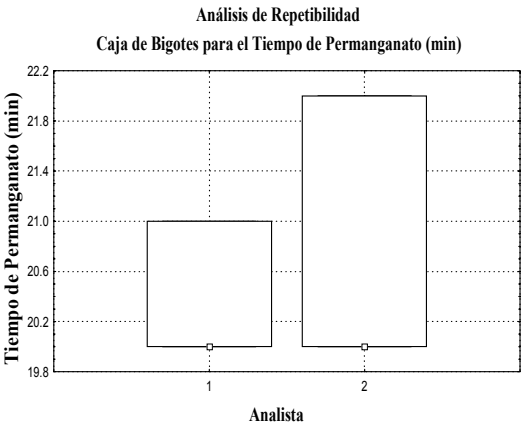
	G.L Alcohol		**G.L Aguardiente**		**G.L. Añejo 3 años**		**Tiempo min**	
	Analista 1	**Analista 2**	**Analista 1**	**Analista 2**	**Analista 1**	**Analista 2**	**Analista 1**	**Analista 2**
$\bar{x}$	95.1	95.0	75.5	75.3	35.50	35.20	20	21
S	0.070	0.074	0.160	0.052	0.231	0.088	0.516	1.033
RSD_{Obs}	0.07	0.08	0.21	0.07	0.65	0.25	2.53	4.97

$\bar{x}_{Inf}$	94.96	94.85	75.18	75.19	35.04	35.02	18.97	18.93
$\bar{x}_{Sup}$	95.24	95.15	75.82	75.40	35.96	35.37	21.03	23.07

Figura # 2: Ploteo de las mediciones de cada característica observada.







CONCLUSIONES

- La técnica analítica para medir la acidez del alcohol presenta la mayor desviación típica de la reproducibilidad seguida por al acidez del Ron Añejo (aprox. 15 años).

- El análisis de reproducibilidad variando los analistas y los días de experimentación indica una buena reproducibilidad de las técnicas analíticas a excepción de la acidez del Ron Añejo (aprox. 15 años).

- Del análisis de reproducibilidad para cada analista se puede determinar que el analista dos es el que tiene mayor variabilidad en los resultados de acidez del Ron Añejo (aprox. 15 años) y el analista uno tiene una diferencia máxima de 0.7 entre dos observaciones de grado alcohólico de Ron Añejo (3 años).

- El análisis de repetibilidad nos muestra una mejor precisión en los resultados de grados alcohólicos y acidez del analista dos comparados con el analista uno. Sin embargo los valores de tiempo de permanganato del analista uno son más precisos.

BIBLIOGRAFÍA

NC 290: 2003 “Bebidas alcohólicas. Determinación del grado alcohólico”.
NC 291: 2003 “Bebidas alcohólicas. Determinación de la acidez total”
NC 83-30: 1987 “Industria de la Fermentación. Alcohol Etílico”
NC 83-25: 1987 “Industria de la Fermentación. Determinación del tiempo de permanganato”
ISO 2854:76. Interpretación estadística de datos, técnicas de estimación y dócimas relativas a las medias y a las varianzas.
Murray R. Spiegel (1961). Teoría y problemas de estadística 875 problemas resueltos. Editorial Pueblo y Educación.
E. Cansado (1966). Curso de estadística general. Edición Revolucionaria.
L. M. Hdez, A. Castillo, A. Bofill, R. Pons (1986). Probabilidades. Editorial Pueblo y Educación.

CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE EN LAS DETERMINACIONES DE GRADO ALCOHÓLICO Y ACIDEZ EN EL LABORATORIO DE ALCOHOLES Y BEBIDAS.

CALCULUS OF UNCERTAINTY IN THE DETERMINATIONS OF ALCOHOLIC GRADE AND ACIDITY IN THE LABORATORY OF ALCOHOLS AND DRINKS

Gregorí B S V, Rivas M, Martínez AJ , Herrera N, Blanco I, Mustelier M, Guardarrama R.

ICIDCA. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Vía Blanca N° 804 Apartado 4026. CP 11000. La Habana. Cuba.
E-mail**:** susana@icidca.edu.cu.

Resumen:
La determinación de los resultados analíticos constituye un paso decisivo en la demostración de la competencia técnica de los laboratorios de análisis que pretenden acreditarse por la norma NC- ISO / IEC 17025:2000.
En nuestro trabajo se realizó la estimación de la incertidumbre basada en la repetibilidad de las técnicas: Determinación de grado alcohólico y Determinación de la acidez total tanto en alcohol como en bebidas alcohólicas. El procesamiento estadístico incluyo el calculo de la desviación típica de la reproducibilidad interna (s), media de resultados (X) así como desviación típica relativa (RSD) todos los estadígrafos fueron procesados a través del programa statistic 5. Para realizar estos ensayos se tomaron muestras de las matrices: alcohol, aguardiente de caña fresco, ron carta oro.
Este estudio muestra un ejemplo de la determinación del rango de duda de los resultados analíticos, el mismo constituye un paso importante para que fuera acreditado el Laboratorio de Alcoholes y Bebidas del ICIDCA. El desarrollo del estudio nos permitió conocer la seguridad y confianza que posee los valores obtenidos de las técnicas acreditadas, pero no ofrece información de cual paso del procedimiento analítico tiene mayor peso en la incertidumbre total.
Palabras claves: incertidumbre, repetibilidad, técnicas.

Abstract
The analytic results determination constitutes a decisive step in the demonstration of the technical competition of analysis laboratories that are seek to be credited by NC - ISO / IEC 17025:2000 standard.
In our work to estimate of the uncertainty based on the results repetibility of the techniques was carried out to: Determination of alcoholic grade, Determination of the total acidity as much in alcohol as in alcoholic beverages. The statistical procedure included the calculus of the typical deviation of the internal reproducibility (s), the mean of results (X) as well as relative typical deviation (RSD) all the statistics were processed through the statistic 5 program.
To carry out these rehearsals samples of: alcohol, fresh rum, gold label rum were taken. This study shows one example of the determination of the doubt range of the analytical results. The research constitutes one important steps for the credited of Alcohols and Drinks Laboratory of ICIDCA. The development of the study allowed us to know the security and confidence that possesses the obtained values from the credited techniques, but it does not offers information of which step of the analytical procedure has bigger weight in the total uncertainty.
Keyword: uncertainty, repetibility, techniques.

Introducción

El creciente uso de los sistemas de la calidad ha producido un aumento general de la necesidad de asegurar que los laboratorios funcionen de acuerdo a normas internacionales, la aceptación de los resultados de ensayo y de calibración entre países resultan más fácil si los laboratorios cumplen con lo establecido en la norma NC-ISO/IEC 17025. La misma reporta en el acápite 5.4.6:... Los laboratorios de ensayo deben tener y deben aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de la medición, pues este parámetro nos ayuda a reportar un resultado mas completo y fiable.
La determinación del grado de duda o incertidumbre en los resultados analíticos ha cobrado importancia a raíz de la necesidad de demostrar que los laboratorios de análisis cumplen con determinados requisitos para probar su competencia técnica y obtener su acreditación. Torres B (2003)
La incertidumbre se define como una variación que resulta de una medición en un material de ensayo, se expresa a través de un intervalo y se considera como un término cuantitativo CENAMEP (1999). Este parámetro imprescindible para llevar a cabo la acreditación de un laboratorio, incluye los errores sistemáticos y aleatorios. Según el Organismo Argentino de Acreditación para su determinación existen varias metodologías entre las que se encuentran el desarrollo de un estudio de repetibilidad para poderla calcular. La misma no es más que la proximidad entre resultados de mediciones sucesivas realizadas bajo las mismas condiciones de medición, tales como el mismo: método, laboratorio, operador, instrumento, idéntica muestra de ensayo y en intervalos de tiempo cortos.
Como objetivo de nuestro trabajo nos propusimos calcular la incertidumbre que presentan las técnicas: Determinación de Grado Alcohólico y la Determinación de Acidez Total para ello seguimos un plan experimental basado en la repetibilidad. Las muestras seleccionadas para este estudio fueron: alcohol superfino, aguardiente de caña fresco y ron carta oro. A través de este trabajo se complementará el reporte de los parámetros que deben ser tenidos en cuenta en un método analítico que pretenda acreditarse, y a la vez nos permitirá evaluar las ventaja y desventajas del método seleccionado para su cálculo.

Materiales y Métodos.

Aparatos.

Balón de destilación con cuello largo de 1000 mL
Condensador de espiral o serpentín Graham de 400 mm de longitud.
Adaptador con punta biselada.
Criostato
Trampa de vapor
Mantas eléctrica

Utensilios.

Erlenmeyer de boca ancha de 250 mL

Medios de medición.

Balanza analítica . VD. 0,1mg.
Phmetro.
Termómetro vd 0.05 °C
Alcoholímetro vd 0,1 %. Con escala 30-40, 70-80, 90-100
Probeta lisa de diámetro 4 cm y de 300 mL
Bureta de 25 ml vd 0,1 mL
Pipetas de 10, 25 y 100 ml.

Matraz aforado de 250 mL

Reactivos Químicos.

Solución de hidróxido de sodio	0.1 mol/L.
Fenolftaleina	1 %
Agua Destilada y desionizada	

Muestras analizadas

Alcohol Superfino 95 ^{0}GL
Aguardiente fresco de caña 75 ^{0}GL
Ron Carta Oro 35 ^{0}GL.

Determinación del Grado Alcohólico

El método se basa en la medición de la densidad de las soluciones hidroalcohólicas en los destilados de las muestras de ensayo a 20 ºC, mediante un alcoholímetro que tenga el intervalo adecuado para el grado alcohólico del producto a analizar. Para el caso de muestras libres de azúcar, color y sólidos disueltos como es el caso del alcohol y la aguardiente, se vierte el contenido a analizar en un probeta y en misma se introduce un alcoholímetro con la graduación que se presume que posea la muestra de estudio, se realiza la lectura del instrumento en compañía de un termómetro. Si la muestra posee color como sucede con los rones la misma debe ser destilada, para ello se debe realizar el montaje de un equipo de destilación acorde a lo planteado en la norma NC 290 2003 y posteriormente se procede de la misma forma que se describió para las muestras libres de color, azúcar y sólidos disueltos.

Determinación de la acidez total.

El método se basa en la neutralización de las funciones ácidas totales titúlales del producto, mediante la adición de un hidróxido alcalino, en presencia de un indicador de neutralización, cuyo cambio de color evidencia el punto final de la reacción.(NC 291: 2003, NC 83-28:1987).

Determinación de la incertidumbre.

Para hacer posible la estimación de la incertidumbre de la medición, debe identificarse un parámetro que describa el intervalo de la incertidumbre. En este caso el parámetro recomendado es la "desviación típica de la reproducibilidad interna". Esta puede ser calculada a partir de los datos analíticos recopilados a partir del material analizado, bajo condiciones de repetibilidad Gregorí B (2003). Este modelo suministra un panorama prácticamente real de la variación de los resultados que el material puede ocasionar.
Para determinar la desviación típica de la reproducibilidad interna relativa(s) y la desviación típica interna (RSD), se llevan a cabo determinaciones de una muestra auténtica, se efectuaron 10 determinaciones a diferentes niveles del analito. PNO 15 (2003).

Calculo de s y RSD a partir de:

$$s = \sqrt{\frac{\sum\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n-1}} \quad ; \quad RSD = \frac{s}{\bar{x}}$$

donde:

s = desviación típica de la reproducibilidad interna

$\bar{x}$ = valor medio
i = 1, 2, …n
n = número de determinaciones.

La incertidumbre de la medición expandida (U) está dada por:

$$U = k * RSD * c$$

donde:
k : factor de cobertura, se recomienda sea 2 al referirse al 95 % de confianza..
RSD: desviación típica relativa.
c : concentración del analito.

Resultados y Discusión

En la tabla I y II se reporta el valor de la media (X), desviación típica de la reproducibilidad interna (s) y la desviación típica relativa (RSD) de la determinación de Grado Alcohólico y de la determinación de Acidez Total de cada una de las muestras analizadas respectivamente.

Tabla I. Resultados de la Determinación de Grado Alcohólico

Parámetro	Alcohol Superfino (^{o}GL)	Aguardiente(^{o}GL)	Ron Carta Oro(^{o}GL)
X	95.00	75.37	35.20
s	0.0000	0.0483	0.0942
RSD	0.0000	0.0006	0.0026

Tabla II Resultados de la Determinación de acidez total.

Parámetro	Alcohol Superfino (^{o}GL)	Aguardiente(^{o}GL)	Ron Carta Oro(^{o}GL)
X	1.3	13.1	30.42
s	0.0577	0.2236	0.2898
RSD	0.0443	0.0170	0.0095

Los valores obtenidos de las desviaciones típicas relativas son aceptadas para la repetibilidad a diferentes concentraciones de analito en las técnicas estudiadas pues todos son menores del 4 %, basado en el criterio de Horwitz que se plantea en el anteproyecto de la Guía para la validación de los métodos de ensayos químicos para alimentos.
A cada una de los resultados obtenidos tras el estudio de repetibilidad, se les realizó la determinación de la incertidumbre, en la tabla III se puede apreciar los valores de la técnica Grado Alcohólico y en la tabla IV los del método Determinación de la Acidez Total

Tabla III Incertidumbre de la Técnica Grado Alcohólico.

	Incertidumbre	Expresión del Resultado
Alcohol Superfino(^{o}GL)	0.0000	95±0.0000
Aguardiente(^{o}GL)	0.0904	75.37±0.0904
Ron Carta Oro(^{o}GL)	0.1830	35.20±0.1830

Tabla IV Incertidumbre de la Técnica Acidez Total

	Incertidumbre	Expresión del Resultado
Alcohol Superfino(^{o}GL)	0.0938	1.3 ± 0.0938
Aguardiente(^{o}GL)	0.4454	13.1 ± 0.5270
Ron Carta Oro(^{o}GL)	0.5779	30.42 ± 0.5779

Los datos obtenidos en las tablas III y IV no pueden ser comparados con otros rangos, pues hasta el momento de la elaboración del trabajo no se ha reportado una norma que establezca límites que reporten aceptación o rechazo de valores de incertidumbre calculados.
Como se observa en la tabla III se obtuvieron valores muy bajos de incertidumbre, para el caso de las muestras de alcohol y aguardiente resultaron ser muy cercanas a 0 e incluso la incertidumbre calculada para la muestra alcohol fue 0 esto puede deberse a la poca manipulación que sufre la muestra a determinar, no resultando así cuando la muestra es un ron ya que la misma debe ser destilada para poder proceder a medir el grado. Consideramos que en esta técnica el equipo de destilación y todo el instrumental que el incluye pudieran ser la causa de la variabilidad de los resultados y con ello el incremento de los valores de incertidumbre además de la composición de la muestra a analizar.
Otras variables que pudieron influir en el calculo de la incertidumbre total pudieran ser la calibración de los alcoholímetros y de los termómetros, pero esta no la consideramos como fuente de variación entre las diferentes muestras pues todas las muestras fueron analizadas con los mismos instrumentos.
Todos los valores obtenidos para la técnica acidez son superiores a 0, como se aprecia en la tabla IV existen valores de incertidumbre superiores a los resultados de la primera técnica analizada, esto puede deberse a el trabajo de los analistas y demuestra que al aumentar los factores que influyen en una determinación aumentan los valores de duda, en esta técnica además de la resolución del analista pudieran influir la calibración de los volumétricos, probeta utilizada y bureta que intervinieron en la valoración ácido-base.
La incertidumbre calculada para la técnica Acidez Total en la muestra de alcohol superfino resultó ser el menor valor, comparada con las otras matrices analizadas, lo cual es de esperarse pues la misma es una muestra incolora y el punto de viraje es fácil de observar , la muestra ron carta oro resultó ser el mayor valor de incertidumbre pues la misma posee color y esto pudiera influir en la finalización de la valoración.
Acorde a investigaciones de Tores B (2003) esta metodología para determinar incertidumbre incertidumbre lograr conocer el margen de duda de los resultados de un ensayo, pero no se conoce cual de todas las variables tiene mayor peso en la incertidumbre total. En este estudio por la composición de las muestras pudimos descartar variables que pudieran influir en los resultados pero esto, no siempre es factible de realizar.

Conclusiones.

- Se logro conocer los valores de incertidumbre de las técnicas Grado Alcohólico y Acidez Total en las matrices: alcohol superfino, aguardiente fresco de caña y ron carta oro con gran facilidad, con el fin de saber a cuanto asciende la duda del ensayo que se realiza y por quien lo realiza.
- La metodología no brinda información de cual paso influye en mayor grado en la determinación de los resultados, no obstante el cálculo del margen de duda de los valores obtenidos es de gran importancia pues nos permite tomar correctas decisiones en el control interno de los resultados del laboratorio.

Recomendaciones

- Extender la aplicación de la metodología de calculo de incertidumbre en todo aquellos laboratorios de análisis.
- Capacitar al personal en el desarrollo de cálculos de incertidumbre.
- Realizar trabajos que logren conocer cuales son los pasos que influyen en la variabilidad de un método .
- Realizar estos estudios con todo el personal del laboratorio analítico para conocer el valor de incertidumbre de todos los analistas.

Referencias.

1. NC-ISO/IEC 17025.1999. Requisitos generales para la competencia de los ensayos y calibración. Norma Argentina.
2. PNO 15 . Determinación de incertidumbre. LABEB. ICIDCA. 2003.
3. Tores B (2003) ISBN 959-250-080-0 II Conferencia Internacional de Química.
4. CENAMEP. Bell S. (1999).AB enginner´s Guide to uncertainity of measurement . UK
5. NC 290:2003. Bebidas Alcohólicas. Determinación del Grado Alcohólico.
6. NC 83-26:1987. Alcohol etílico. Determinación del Grado Alcohólico.
7. NC 291:2003. Bebidas Alcohólicas. Determinación de la Acidez Total.
8. NC 83-28:1987. Alcohol etílico. Determinación de la Acidez Total.
9. Gregorí B. (2003) Revista ICIDCA.Vol.XXXVII. No 2. SIN 1025-3076.
10. Guia para evaluación de la incertidumbre en los resultados de las mediciones. Norma Mexicana.IMNC. NMX-CH-140:1996 IMNC.
11. Organismo Argentino de Acreditación. Guía Para la validación de métodos de ensayo. DC LE-05. 2003.
12. Anteproyecto de la Guía para la validación de los métodos de ensayos químicos para alimentos. 2001

COMPORTAMIENTO DE LAS LACTONAS DE ROBLE EN EXTRACTOS DE AGUARDIENTES CON MADERA DE ROBLE.

BEHAVIOR OF OAK LACTONE IN LIQUORS EXTRACTS WITH OAK WOOD.

Autores: Idania Blanco[1]*, Rafael Giménez[2], María del Carmen López[2], Mauricio Ribas[1], María Dora González[1], Miguel A. Vázquez[1].

*[1]. *ICIDCA,* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Vía Blanca No. 804. Apartado 4026. CP 11000. La Habana. Cuba. E-mail: *idania@icidca.edu.cu*.
[2] Departamento de Nutrición y Bromatología, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada, Campus Universitario de Cartuja s/n. 18012. Granada. España.

RESUMEN.

Las características y la calidad final de las bebidas alcohólicas destiladas se obtienen durante el envejecimiento de los rones frescos en barriles de roble. Nuestro trabajo está basado principalmente en el comportamiento de uno de los compuestos volátiles: la β-metil-γ-octalactonas o lactonas de roble como comúnmente se le conoce, encontrados en extractos alcohólicos. Este ha sido reportado como un factor positivo contribuyente al sabor de las bebidas. Un procedimiento que incluye el tratamiento térmico de las virutas de roble para la obtención de extractos de aguardientes fue utilizado. Los datos experimentales fueron analizados mediante un diseño de experimento. Para el análisis de los extractos se utilizó un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas. El resultado del diseño concluyo que los mejores resultados de extracción de las lactonas de roble se obtuvieron cuando se procesa la madera de roble a un tratamiento térmico durante 10 minutos de quemado, correspondiente a un quemado medio.

Palabras claves: lactonas de roble, extractos, tratamiento térmico, cromatografía gaseosa.

SUMMARY.

The final guality and character of destilled alcoholic beverages is obtained during aging process of the freshly distilled rum in oak casks. Our work is mainly focused on one of the volatile compounds: the β-methyl-γ-octalactones or oak lactones as commonly known, found in alcoholic extracts. This has been reported as a positive factor contributing to the beverages flavor,. A procedure that involves oak wood heat treatment for obtaining the spirits extract was carried out. The experimental data was analyzed by an experimental desing. Hydroalcoholic extracts were analyzed by means of gas chromatography with mass spectrometric detection. The results of experimental design concluded that the best extraction results of oak lactones were obtained during 10 minutes of burn, that corresponding to a half burn.

Key words: oak lactones, extracts, heat treatment, gas chromatographic

INTRODUCCIÓN.

A través de los años se ha demostrado que factores como la calidad del material de partida, el proceso de fermentación, el almacenamiento y las condiciones de envejecimiento (maduración), pueden hacer importantes contribuciones a la calidad del producto final.

Originalmente el roble fue la madera que principalmente se utilizó en la fabricación de los barriles para almacenar bebidas otorgándole adicionalmente color y sabor determinados. Hoy en día el arte de la fabricación de barriles sigue desarrollándose aunque con un decrecimiento en su disponibilidad, por lo que el uso de productos tales como virutas de roble y los extractos de roble, se han convertido en más comunes en ciertas áreas de la industria de las bebidas alcohólicas.

El uso de estas técnicas puede propiciar una alternativa menos costosa que el tradicional envejecimiento en barriles de ciertas bebidas alcohólicas, no solo desde el punto de vista del sabor sino también desde el punto de vista del tiempo. Maga (1996).

En años recientes, entre los compuestos volátiles encontrados en los extractos alcohólicos, ha sido reportada como un positivo factor contribuyente al sabor de varias bebidas alcohólicas, la β metil γ octalactona o la lactona de roble como comúnmente se le conoce. La cual ha tomado un nuevo significado debido al decrecimiento de la disponibilidad de barriles manufacturados de roble. Martínez (2001).

Entre las características organolépticas que se le atribuyen a este compuesto su similitud con la del coco seco cuando están a altas concentraciones y a madera o roble a bajas concentraciones, es una de propiedades deseables en las bebidas Masuda y otros (1971).

Muchos investigadores, Maga (1989), Chatonnet y otros (1989) han trabajado en aras de acortar el proceso de añejamiento de una bebida alcohólica en barriles de roble, sin que esto afecte su calidad. Chatonnet y otros (1989) evaluaron el papel del tostado de la madera en la determinación de la concentración de lactonas de roble. Quemaron la madera de roble a diferentes tiempos (5, 10 y 15 min.) lo que relacionaron a un quemado ligero, medio y fuerte. Después del quemado analizaron la concentración total de lactonas.

En otra parte de este trabajo, Chatonnet y otros (1989) se estudió y demostró que un aumento en el quemado de la madera provocaba un aumento en la concentración de lactonas; sin embargo no se detectaban o se encontraban concentraciones más bajas de las lactonas cuando ocurría un tostado muy fuerte de la madera. Aparentemente este procedimiento producía una volatilización o degradación térmica de las lactonas.

Hoy en día, dada la importancia que existe por elevar la calidad de las bebidas alcohólicas, este trabajo tiene como objetivo hacer un estudio sobre el comportamiento de las lactonas de robles en extractos de aguardientes con madera de roble previamente tratadas térmicamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la preparación de los extractos de aguardiente en madera de roble fue utilizada viruta de roble blanco americano. La viruta fue tamizada para garantizar la mayor uniformidad en su tamaño. La viruta seleccionada fue sometida a un proceso de quemado directo a diferentes tiempos (5, 10 y 15 min.) lo cual fue relacionado a un quemado ligero, medio y fuerte.

El extracto se logró por ebullición con reflujo total y en relación en peso 1:10 (viruta:aguardiente de caña). Para los distintos extractos se utilizaron aguardientes a tres grados alcohólicos (55; 57,5; 60ºGL). Al final la muestra se filtró para separar la viruta.

Para la determinación analítica de las lactonas de roble fue necesario realizar una preparación previa de las muestras (extractos orgánicos) que consistió en la utilización del método de extracción líquido-líquido como se describe a continuación:

A 50 mL del extracto hidroalcohólico se le adicionaron 5 gramos de sulfato de amonio y una cantidad conocida de timol como estándar interno. Se agitó en un agitador magnético durante 5 minutos a 150 rpm. Esta solución fue extraída 3 veces con diclorometano (15, 10, 5 mL) en un embudo separador.

La combinación de los tres extractos orgánicos fue secada sobre sulfato de sodio anhidro y concentrada por roto evaporación (en un baño de agua a 35°C) hasta aproximadamente 2 mL. El contenido fue transferido a un vial, sellado y almacenado en una nevera hasta su análisis por cromatografía de gases.

Finalmente para el análisis de los extractos se utilizó un cromatógrafo de gases CARLO ERBA serie 8000 modelo 8060 de ionización de llama acoplado a un espectrómetro de masas cuadrupolar PLATAFORM II de Micromass Instruments, utilizado en el modo de impacto electrónico a 70 eV, equipado con una columna capilar WCOT (30 m; 0,25 mm; 0,25 μm).

Se utilizó una programación de temperatura inicial de 50°C durante 2 min. ; una primera rampa de 2°C/min. hasta 150°C; una segunda rampa de 5°C/min. hasta 240°C donde se mantuvo 15 min., para un tiempo total de análisis de 85 min. El inyector se programó a una temperatura de 220°C. El volumen de inyección fue de 1 μL y se lograron detectar los dos isómeros cis y trans de la β-metil-γ-octalactona por GC-MS, y la identificación de los dos isómeros fueron asignados de acuerdo al trabajo de Chatonnet (1991), el cuál demostró que el isómero trans eluye primero en una columna Carbowax.

La identificación de los picos cromatográficos fue determinada por la comparación de los espectros de masas de cada isómero con los espectros de masa de la librería y cuantificada por el método del estándar interno.

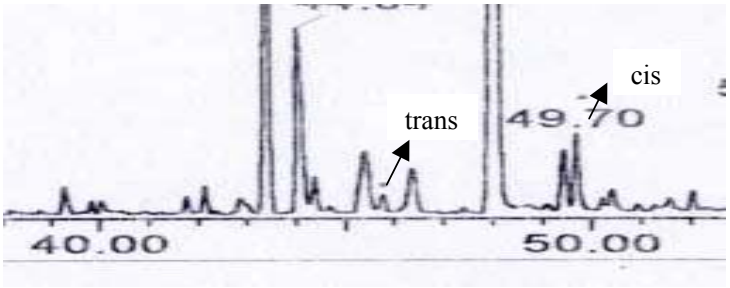
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- **Análisis cromatográfico**.

El análisis de las lactonas de roble fue realizado en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas y el mismo se llevó a cabo en la Universidad de Granada, España.

En la figura 1 se muestra una sección de un cromatograma típico de un extracto de roble, observándose una buena separación entre los isómeros trans (45,8 min.) y cis (49,70 min.) de la β- metil - γ octalactona.

Fig. 1. Sección de un cromatograma típico de un extracto de roble. Determinación de lactonas por cromatografía de gases.



Las figuras 2 y 3 muestran los espectros de masas de la librería de espectros de compuestos orgánicos y de un extracto de roble, respectivamente confirmándose de esta manera la identidad de la β- metil - γ octalactona en los extractos de roble en estudio.

Fig. 2. Espectro de Masas de la β- metil - γ octalactona de la Librería de Compuestos Orgánicos.

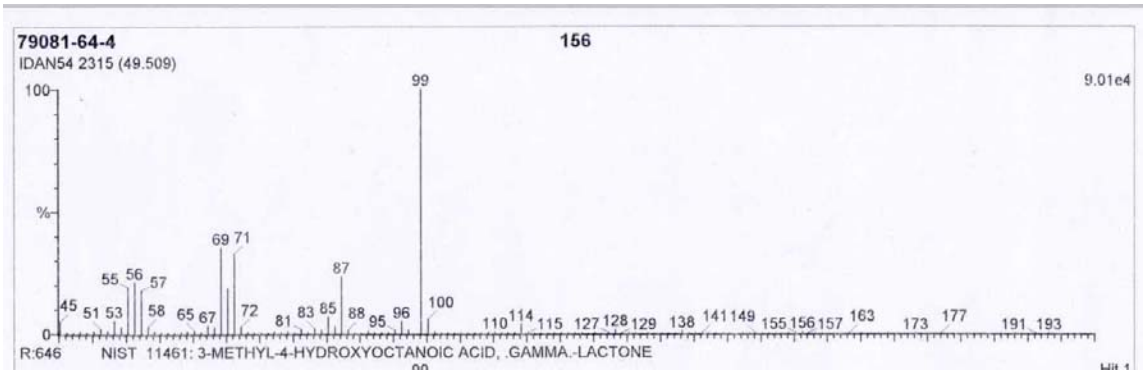
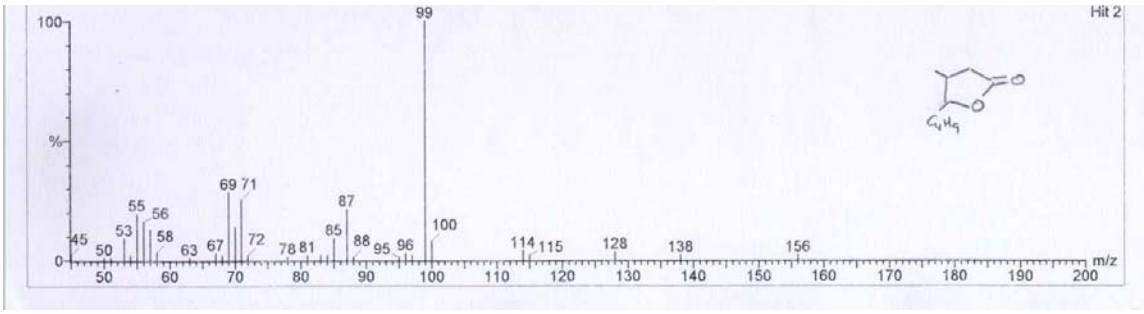


Fig. 3. Espectro de Masas de la β- metil - γ octalactona Presente en un Extracto de Roble



- **Diseño de experimento**

Para analizar el comportamiento de las lactonas de roble en los extractos se realizó un diseño de experimentos compuesto central 2^3, con 6 puntos axiales y 6 centrales para un total de 20 corridas experimentales. La variable dependiente que se analizó fue la concentración de los isómeros cis y trans de las lactonas de roble, expresadas en μg/L y 3 variables independientes (grado alcohólico, tiempo de quemado de la viruta y temperatura de reflujo).

En la tabla I se reportan los resultados experimentales de la concentración de los isómeros de la lactona de roble y el diseño de las variables estudiadas para los diferentes experimentos.

Tabla I. Resultados experimentales del diseño para las lactonas de roble.

MUESTRAS	TIEMPO QUEMADO (MIN.)	TIEMPO REFLUJO (HRS)	GRADO INICIAL (°GL)	TRANS-LACTONA (μG/L)	CIS-LACTONA (μG/L)
1	15.00	2.00	55.00	57.76	108.01
2	5.00	6.00	60.00	42.28	50.74
3	18.41	4.00	57.50	27.57	48.14
4	5.00	6.00	55.00	73.72	104.87
5	10.00	0.64	57.50	76.43	153.24
6	10.00	4.00	57.50	67.23	138.20
7	10.00	4.00	61.70	62.56	98.96
8	15.00	6.00	60.00	52.12	96.83

9	5.00	2.00	60.00	61.73	123.50
10	10.00	4.00	57.50	67.23	138.21
11	15.00	6.00	55.00	58.76	124.60
12	10.00	4.00	57.50	67.22	138.20
13	5.00	2.00	55.00	77.03	158.87
14	10.00	7.36	57.50	68.19	104.92
15	10.00	4.00	57.50	67.23	138.20
16	1.59	4.00	57.50	43.14	63.45
17	10.00	4.00	57.50	67.22	138.20
18	15.00	2.00	60.00	57.43	103.34
19	10.00	4.00	53.30	85.96	162.43
20	10.00	4.00	57.50	67.23	138.20

Como se puede observar en la tabal No. 1, el isómero cis de la lactona de roble presenta mayor concentración que el isómero trans, lo cuál tiene una gran importancia ya que después de un estudio con un panel de degustación Otsuka (1974) los jueces encontraron que la forma cis proveía de una mayor fragancia que la forma trans. Esto fue corroborado más recientemente por Abbott y otros (1995) donde reportaron, que el umbral de olor del isómero trans de la lactona de roble era mucho mayor que el de su isómero cis, o sea que este último podía detectarse aún en muy bajas concentraciones.

La β- metil - γ- octalactona es uno de los compuestos base de la madera que más aporta al aroma de las bebidas alcohólicas secundado muy de cerca por la vainillina, ambas poseen propiedades organolépticas que definen la calidad de las bebidas, por lo que de este estudio se demuestra que para el perfeccionamiento de la producción de los rones, debemos trabajar en función de obtener la mayor concentración de estos compuestos.

El estudio del comportamiento de las variables dependientes (cis-trans lactona) se realizó mediante un análisis de regresión múltiple por el sistema computacional STATISTICA versión 5. Cada término que se incorpora al modelo tiene un efecto importante sobre el aumento del coeficiente de determinación R^2.

En las tablas II y III aparecen los modelos de regresión múltiple que describen la relación entre las variables dependientes y las variables independientes. Se observa que para todos los casos el valor p en la tabla del ANOVA es menor que 0.01 y existe una relación estadísticamente significativa entre las variables a un nivel de confianza del 95 %.

Tabla No.II. Análisis de Regresión Múltiple para el isómero Trans Lactona.

Coeficientes de regresión; Variable: Trans; R^2= 0.9945; R^2Adj: 0.98955						
3 factores, 1 Bloque, 20 Corridas; MS Error Puro = 0.0000267						
DV: TRANS LACTONA						
	Coeficiente Regresión	Std.Err. Pure Err	t(5)	p	-95.% Limt. de Conf.	+95.% Limt. de Conf.
Mean/Interc.	1610.168	.731246	2201.95	.000000	1608.288	1612.048
(1)TIEMPQUE(L)	-15.556	.008505	-1829.13	.000000	-15.578	-15.534
TIEMPQUE(Q)	-.452	.000054	-8307.37	.000000	-.452	-.452
(2)TIEMPREF(L)	24.928	.021262	1172.41	.000000	24.873	24.983
TIEMPREF(Q)	.442	.000341	1298.48	.000000	.441	.443
(3)GRADOINI(L)	-49.725	.025162	-1976.22	.000000	-49.790	-49.660
GRADOINI(Q)	.394	.000218	1805.55	.000000	.393	.394
1L by 2L	.231	.000183	1263.19	.000000	.230	.231
1L by 3L	.398	.000146	2722.87	.000000	.397	.398
2L by 3L	-.561	.000365	-1537.05	.000000	-.562	-.560

La ecuación del modelo ajustada para el isómero trans es la siguiente:

Trans Lactona.= 1610.168 – 15.556*Tquemado + 24.928*Treflujo – 49.725*Grado – 0.452*Tquemado^2 + 0.442*Treflujo^2 + 0.394*Grado^2 + 0.231*Tquemado*Treflujo + 0.398*Tquemado*Grado – 0.561*Treflujo*Grado + error.

R-cuadrado= 0.9945
R-cuadrado (ajustado por d.f.)= 0.9895

Fig.4. Surperficie Ajustada para la TRANS LACTONA
3 factores,1 Bloques, 20 Corridas; Error Puro=.0000267

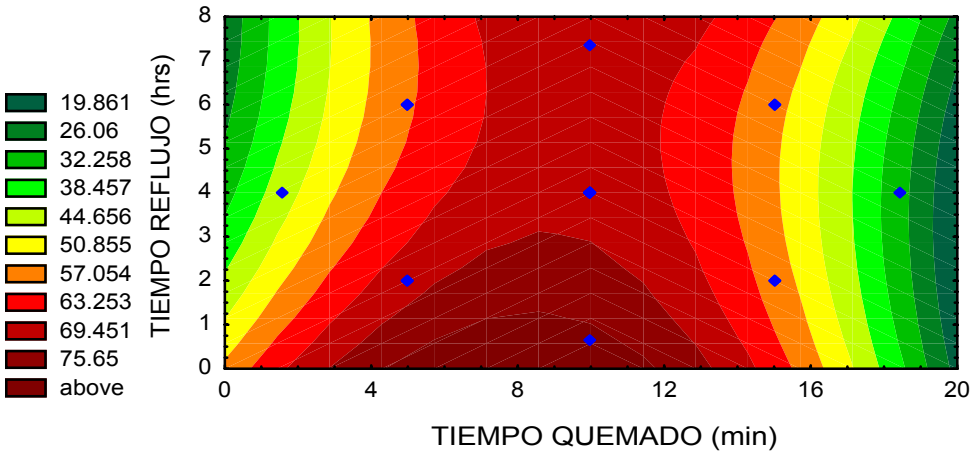


Tabla No.III. Análisis de Regresión Múltiple para el isómero Cis Lactona.

Coeficientes de regresión; Variable: CIS; R^2= 0.99061; R^2Adj: 0.98216						
3 factores, 1 Bloque, 20 Corridas; MS Error Puro = 0.0000167						
DV: CIS LACTONA						
	Coeficiente Regresión	Std.Err. Pure Err	t(5)	p	-95.% Limt. de Conf.	+95.% Limt. de Conf.
Mean/Interc.	-179.673	.578101	-310.8	.000000	-181.159	-178.187
(1)TIEMPQUE(L)	-17.757	.006723	-2641.1	.000000	-17.775	-17.740
TIEMPQUE(Q)	-1.117	.000043	-25982.7	.000000	-1.117	-1.117
(2)TIEMPREF(L)	39.883	.016809	2372.7	.000000	39.840	39.927
TIEMPREF(Q)	-.508	.000269	-1886.8	.000000	-.509	-.507
(3)GRADOINI(L)	18.648	.019892	937.4	.00000	18.596	18.699
GRADOINI(Q)	-.234	.000172	-1355.6	.000000	-.234	-.233
1L by 2L	1.710	.000144	11850.7	.000000	1.710	1.711
1L by 3L	.571	.000115	4941.5	.000000	.570	.571
2L by 3L	-1.047	.000289	-3625.2	.000000	-1.047	-1.046

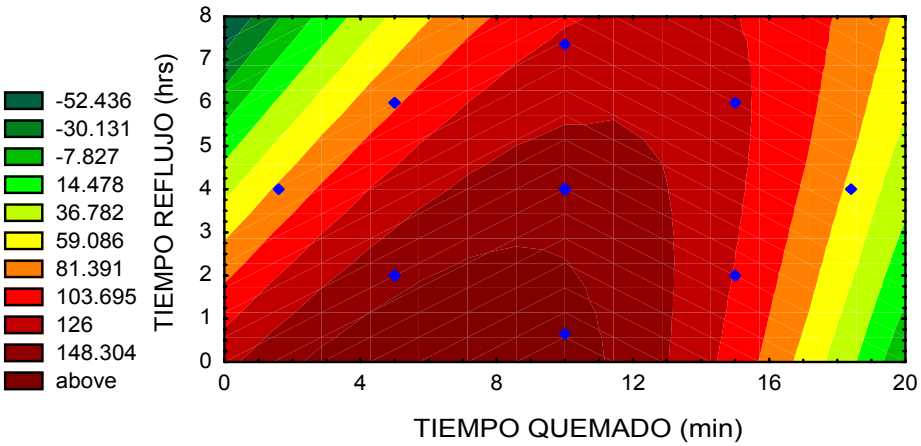
La ecuación del modelo ajustada para el isómero Cis es la siguiente:

Cis Lactona.= -179.673 -17.757*Tquemado +39.883*Treflujo +18.648*Grado -1.117*Tquemado^2- 0.508*Treflujo^2 – 0.234*Grado^2 +1.710*Tquemado*Treflujo +0.571*Tquemado*Grado – 1.047*Treflujo*Grado + error.

R-cuadrado= 0.9906
R-cuadrado (ajustado por d.f.)= 0.9822

Fig.5. Surperficie ajustada para la CIS LACTONA

3 factores, 1 Bloque, 20 Corridas; Error Puro=.0000167



Del diseño experimental realizado se obtuvo como resultado que las variables independientes que más influyeron para obtener la mayor concentración del isómero cis (162.43 µg/L) fueron: tiempo de quemado de la viruta: 10minutos, tiempo de reflujo: 4 horas y a un grado alcohólico de extracción de 53,3°G.L. (Fig. 4 y 5)

La cantidad total de la lactona de roble extraída varía desde 162.43 µg/L (para un tiempo de quemado de 10 minutos) a 27.57 µg/L (para 18.41minutos de quemado de las virutas), esto demuestra que un aumento en la temperatura de quemado de la viruta provoca un aumento en la concentración de lactosas, sin embargo en el caso de que el quemado se practicara durante un tiempo mayor, sometiéndolo a un quemado fuerte, se detecta una disminución en la concentración de este compuesto.

CONCLUSIONES

1. Se logro identificar y cuantificar los dos isómeros de la β- metil - γ- octalactona mediante la técnica de GC-MS.
2. Se obtuvieron los modelos de ajuste por regresión múltiple para los isómeros de la, con buenos coeficientes de determinación.
3. Del diseño estudiado se concluye que la mayor concentración del isómero cis de la lactona de roble se obtuvieron con un tiempo de quemado de la viruta de 10 minutos, a un tiempo de reflujo total de 4 horas y a un grado alcohólico del aguardiente de 53,3°G.L.

REFERENCIAS.

- Maga, J. C. (1996). Food Rev. Int., 12 (1), 105-130.

- Martínez, J.C. (2001), Perfeccionamiento de l aproducción de rones evaluando el contenido de lactosas y fenoles en extractos de roble mediante técnicas cromatográficas. Trabajo de diploma. Facultad de Química. Ciudad de La Habana. pp. 4

- Masuda, M.; Nishimura, K. (1971). Phytochem., 10, 1041.

- Maga, J. A. (1989), Destilled Beverages Flavours: Recent Developments. Ed. Ellis Horwood, England.

- Chatonnet, P.; Boidron, J. N.; Pons, M. (1989). Conn. Vigne Vin, 23, 223.

- Chatonnet, P. (1991), The effect of oak Word on the chemical composition and the organoleptic properties of winw. The application of technology. Ph.D. Dissertation, Université de Bordeaux II, Bordeaux, France.

- Otsuka, K.; Zenibayashi, Y.; Itoh, M.; Totsuka, A. (1974). Agr. Biol. Chem., 38, 485.

- Abbott, N.; Puech, J. L.; Bayonove, C.; Baumes, R. (1995). Am. J. Enol. Viticult.

DRIED GRAPES INFUSION. ANALYTICAL EVALUATION AS ADITIVE FOR RUMS PRODUCTIONS.

EXTRACTO DE UVAS PASAS. EVALUACION ANALITICA PARA SU UTILIZACION COMO ADITIVO EN LA PRODUCCIÓN DE RONES.

Autores: Miguel A. Vázquez García, María D. González Flórez, Raimundo Guadarrama Rodríguez

ICIDCA. Vía Blanca No. 804 y Carretera Central. Fax (537)338236. E-Mail: icidca@ceniai.inf.cu, mdora@icidca.edu.cu y ceralbe@icidca.edu.cu.

SUMMARY.

Frequently in alcoholic beverage production some additives are used , but they are regulated by national an international resolution or rules. In Cuba rum production is regulated by 135/01 resolution and Cuban norm NC 113/2001 (Rum Specification) in which are planted the possibility to make useful of natural extracts, but in any case rum characteristics must not be modified. In paper we study the chemical – physical properties of extract of dried Grapes as alcoholic concentration, specific gravity, total solid, acidity and colour during a period of time

RESUMEN.

En la producción de bebidas, con frecuencia, se utilizan aditivos que se encuentran regulados por resoluciones o reglamentos nacionales e internacionales. En Cuba la producción de rones está regulada por la resolución No. 135/01 y la Norma Cubana NC 113:2001 "Ron Especificaciones", en la cual, se plantea, la posibilidad de utilización de extractos naturales, siempre que no altere las características típicas del Ron. El presente trabajo tiene como objetivo presentar una forma de obtención de Extracto de Uvas Pasas, su evaluación químico física y su variación en el tiempo. Se muestran los cambios en la Riqueza alcohólica, Gravedad específica, Sólidos totales, acidez y color.

Rum	Ron
Extract	Extracto
Dried Grapes	Uvas Pasas

INTRODUCCION:

El extracto de uvas pasas se utiliza con gran frecuencia como un aditivo natural en la formulación de rones, pero no siempre para su producción se utilizan uvas pasas de igual procedencia y el método de extracción puede variar. Sumado a esto el no control analítico de la calidad del mismo, hace que su utilización introduzca cambios en las características aromáticas del ron.

Las especificaciones que entregan dos firmas extranjeras suministradoras de extractos de uvas se muestran en la tabla I.

Tabla I. Especificaciones de dos firmas suministradores de extractos de uvas pasas

Parámetros	ROBERTET GRASSE (Francesa)	HISPANOAMERICAN BROKERS, S.L. (USA)
Nombre	Extracto de uva pasa 800320.	Ext^{o} Uva Pasa
Referencia	80-0320	
Grado alcohólico %V/V	60,0 ± 1,0	50
Uso	Producto de grado alimenticio para uso solamente en la industria, no se puede ingerir como tal.	Solo para uso alimentario industrial
Apariencia	Líquido	
Color	Ambar	Caramelo claro
Olor		A uva
Ingredientes	Infusión obtenida por tratamiento de la uva seca en una solución hidroalcohólica.	Preparaciones aromáticas de frutas naturales de uva pasa en composición hidroalcohólica.
Solvente	Etanol natural	
Aditivos	Ninguno	
Estatus.	Aroma natural E.E.C. (Dir.88/388/E.E.C.)	100 % natural
Gravedad específica 20/20°C	0,9690 – 0,9830	0,980
Flash Point ^{o}C	+ 22,0 ^{o}C	
Condiciones almacenamiento	Guardar a temperaturas frías (< 18°C), proteger de la luz y aire	En lugar seco y oscuro
Tiempo de garantía	12 meses en su envase original, sellado y en las condiciones planteadas de almacenamiento	Aconsejable emplear antes de seis meses.
Otros		No contiene colorantes ni antioxidantes
Dosis		1 por mil

En este trabajo proponemos dos métodos de obtención de extractos de uvas pasas y técnicas analíticas que permiten mantener un control adecuado de la calidad de los mismos

MATERIALES Y MÉTODOS:

Tecnología de producción:

La producción del presente extracto de uvas pasas, objeto de nuestro estudio, se realizó moliendo uvas pasas procedentes de España, de forma de obtener una pasta. Posteriormente se mezcla en proporciones de 1 Kg de la pasta de uva pasa por cada 5 L de alcohol natural fino rebajado a 60° GL a 20° C.

En un caso, se guardó en contacto con la uva pasa por un período de 5 meses, bien tapado y en lugar fresco. Posteriormente se filtró a través de un lienzo y se guardó en lugar seco y en ausencia de luz.

En el segundo caso, se agitó durante 32 horas con un agitador de propela hasta alcanzar los parámetros similares a los de 5 meses y a los ofrecidos por empresas extranjeras .

Técnicas analíticos utilizadas en su evaluación:

1. Determinación del grado alcohólico, según norma cubana NC: 290:2003 "Determinación del grado alcohólico en bebidas alcohólicas"

2. Determinación de densidad relativa 20°C/20°C, por el método picnométrico y con areómetro. Anexo

3. Determinación de sólidos solubles, expresándolos en % de sacarosa, por el método picnométrico y con areómetro. Anexo

4. Determinación de la acidez total, según norma cubana NC: 291:2003 " Determinación de la acidez total en bebidas alcohólicas destiladas, vinos, licores, licores, bebidas alcohólicas preparadas y cocteles".

5. Determinación del máximo de absorción en el UV y su densidad óptica (DO).

RESULTADOS Y DISCUSION:

Para determinar las técnicas más adecuadas y factibles en la evaluación de los ectractos de uvas pasas se realizó una evaluación comparativa:

En la determinación del grado alcohólico, se procedió según la norma NC: 290: 2003, destilando 4 veces, determinando el grado utilizando un alcoholímetro . También se evaluó en grado alcohólico de estos 4 destilados al determinar la densidad por picnometría y utilizando un areómetro graduado en 0.01 unidad, auxiliándonos de la tabla de equivalencia que aparece en la técnica. Ver Tabla II. Presentamos los valores estadísticos de estas determinaciones, donde se pone de manifiesto que hay un mayor coeficiente de variación cuando se utiliza el picnómetro, que cuando utilizamos un alcoholímetro o un areómetro, siendo el valor menor el obtenido por picnometría.

Tabla II. Comparación de los grados alcohólicos determinados en los destilados de 4 muestras del mismo extracto de uva pasa, mediante alcoholímetro, densidad con areómetro y densidad con picnómetro.

Muestra de extracto de uva pasa	Grado Alcohólico ºGL a 20ºC	Cálculo del grado alcohólico mediante la densidad de los destilados			
		Utilizando areómetro		Utilizando picnómetro	
		Densidad	% alh. V/V a 20°C	Densidad	% alh. V/V a 20ºC
Destilado No. 1	49,2	0,928	51,0	0,928	51,0
Destilado No. 2	52,0	0,930	51,5	0,936	46,5
Destilado No. 3	52,8	0,925	52,5	0,922	54,0
Destilado No. 4	52,8	0,925	52,5	0,923	53,5
Datos estadísticos					
Promedio	51,7	0,927	51,9	0,927	51,3
Varianza	2,92	$6 E 10^{-6}$	0,56	$4,1 E 10^{-5}$	11,75
Desv. Stand.	1,71	$2,5 E 10^{-3}$	0,75	$6,4 E 10^{-3}$	3,43
Error Stand.	0,85	$1,2 E 10^{-3}$	0,38	$3,2 E 10^{-3}$	1,71
Coef.Variación	3,31	0,26	1,45	0,69	6,69

En la determinación de los sólidos solubles se utilizaron los dos métodos para encontrar las densidades de las 4 soluciones y nuevamente se evidencia que el coeficiente de variación cuando se utiliza un areómetro graduado en 0.01 unidad es menor que cuando se utiliza la picnometría. Tabla III

Tabla III. Cálculo de los sólidos solubles, en 4 muestras del mismo extracto de uva pasa, utilizando los valores de densidad mediante densímetro y picnómetro..

Muestra de extracto de uva pasa	Sólidos solubles determinados mediante la densidad obtenida por areómetro y con picnómetro			
	Areómetro		Picnómetro	
	Densidad	% Sol. Solub.	Densidad	% Sol. Solub.
Residuo dest. No. 1	1,0500	12,6	1,0544	13,4
Residuo dest. No. 2	1,0510	12,8	1,0546	13,5
Residuo dest. No. 3	1,0500	12,6	1,0559	13,7
Residuo dest. No. 4	1,0500	12,6	1,0565	13,9
Datos estadísticos				
Promedio	1,0503	12,65	1,0554	13,63
Varianza	$2,23\ E^{-7}$	0,01	$1,04\ E^{-6}$	0,05
Desv. Stand.	$4,72\ E^{-4}$	0,10	$1,02\ E^{-3}$	0,22
Error Stand.	$2,36\ E^{-4}$	0,05	$5,10\ E^{-4}$	0,11
Coef. Variación	0,045	0,80	0,097	1,63

La determinación de sólidos solubles es con el objetivo de poder regular mejor el extracto utilizado, ya que estos pudieran afectar las características de la bebida en que se utilice por formación de sedimentos.

Se realizó un espectro de absorción de una solución acuosa al 1 % del extracto , donde se pone de manifiesto un máximo bien definido a 283 nm y nos permite poder evaluar cuantitativamente un conjunto de compuestos que pudieran ser fenólicos. Este espectro se obtuvo en cubetas de cuarzo de 10 mm de espesor, utilizando como blanco agua destilada.

Con las técnicas de mejores resultados se realizaron el resto de los trabajos de evaluación de los extractos de uvas pasas.

Para determinar los tiempos de permanencia de las uvas pasas en contacto con la solución hidroalchólica y los tiempos de agitación a fin de obtener los parámetros de los productos comerciales, ser realizó un estudio en el tiempo, el cual reportamos en la tabla IV.

Tabla IV. Evolución de los parámetros evaluados de los extractos de uvas pasas, en forma estática y mediante agitación mecánica.

Parámetros	**Extracto de Uvas Pasas Método de maceración estático**				**Extracto de Uvas Pasas Método de maceración con agitación mecánica**		
	0	1 mes	2 meses	5 meses	0	8 horas	32 horas
Grado alcohólico %V/V	57,6	54,9	52,1	51,7	55,0	53,6	53.4
Gravedad específica 20/20°C	0,927	0,947	0,968	0,975	0,957	0,969	0,969
Sól. solubles, expresados en % de sacarosa.	3,8	6,7	11,2	12,7	9,0	11,0	11,2
Acidez total en g de ácido Tartárico /100 L A.A.	108,1	181,0	307,5	357,6	259,6	331,1	335,3

En la tabla V reportamos las características evaluadas en los extracto de uvas pasas producidos en el ICIDCA, pudiendo observar que los parámetros reportados son muy similares a los que reportan las dos firmas extranjeras que reflejamos con anterioridad en la tabla I.

Tabla V . Parámetros físico- químicos de los extractos obtenidos en el ICIDCA.

Parámetros	**Extracto de Uvas Pasas Método de maceración estático**	**Extracto de Uvas Pasas Método con agitación mecánica**
Nombre	Ext^{o} Uva Pasa	Ext^{o} Uva Pasa
Grado alcohólico %V/V	51,7	53,4
Uso	Solo para uso alimentario industrial	Solo para uso alimentario industrial
Color	Caramelo	Caramelo
Olor	A uva	A uva
Ingredientes	Preparaciones aromáticas de frutas naturales de uva pasa en composición hidroalcohólica.	Preparaciones aromáticas de frutas naturales de uva pasa en composición hidroalcohólica.
Solvente	Etanol natural, de la fermentación de mieles finales de caña de azúcar	Etanol natural, de la fermentación de mieles finales de caña de azúcar
Aditivos	Ninguno	Ninguno
Estatus.	100 % natural	100 % natural
Gravedad específica 20/20°C	0,975	0,970
Sólidos solubles, expresados en % de sacarosa.	12,7	11,2
Acidez total, expresada en g de ácido Tartárico /100 L A.A.	357,6	335,3
Color a longitud de onda de 283 nm (solución acuosa al 1 %), expresado en unidades de DO	0,323	0,400
Condiciones almacenamiento	En lugar seco y oscuro	En lugar seco y oscuro
Tiempo de garantía	Aconsejable emplear antes de seis meses.	Aconsejable emplear antes de seis meses.
Otros	No contiene colorantes ni antioxidantes	No contiene colorantes ni antioxidantes
Dosis	1,5 por mil	1,5 por mil

La acidez total, expresada en g de ácido tartárico por 100 litros de alcohol absoluto, es bastante alta, si la comparamos con la acidez típica de las bebidas destiladas. En este caso estamos introduciendo un ácido que no está presente en rones que no se utilizan este aditivo.

CONCLUSIONES:

1. Se produjo un extracto de uva pasa, con parámetros similares a los ofrecidos por dos empresas extranjeras dedicadas a la venta de este tipo de aditivos.

2. Se relacionan las técnicas utilizadas en la evaluación del extracto.

3. El grado alcohólico real obtiene menor coeficiente de variación cuando se utiliza un areómetro con graduación de 0.01, seguido por un alcoholímetro y es mayor cuando utilizamos un picnómetro.

4. En la determinación de la densidad para calcular el % de sólidos solubles, se obtiene un coeficiente de variación inferior cuando utilizamos un areómetro en comparación con el picnómetro.

RECOMENDACIONES.

Consideramos que para la determinación de densidad, se obtienen buenos resultados con la utilización de un areómetro de divisiones 0,01, por ser más práctico y reportar menor coeficiente de variación en comparación con el picnómetro

REFERENCIAS:

1. Ficha técnica de Extracto de uva pasa, de la firma HISPANOAMERICAN BROKERS, S.A. (USA).
2. Hoja de datos técnicos de extracto de uva pasa 800320, de la firma ROBERTET GRASSE. (Francia).

3. Licores. Método de ensayo. Determinación de sólidos solubles, NC 83-03-02 (1983)

4. Licores. Método de ensayo. Determinación de la densidad relativa y absoluta, NC 83-03-4 (1983)

5. Panreat. Métodos Analíticos en Alimentarias. Productos derivados de la uva y Similares.1992.

6. Ribereau-Gayon et Peymaud. "Analyse el Controle des Vine". Pag. 320.1958.

ANEXO
DETERMINACION DE DENSIDAD RELATIVA Y ABSOLUTA

1. Generalidades:

1.1 El método de ensayo debe realizarse por duplicado y se calcularán los promedios de sus resultados.

1.2 Se emplearán productos químicos analíticos de calidad P.A.. según la NC 20-03:72 "Productos químicos. Clasificación por calidades y definiciones" y NC 21-05:72 "Productos químicos analíticos. Especificaciones".

1.3 Para la realización del ensayo se utilizará agua para análisis, según la NC 21-01:72 "Agua para análisis".

1.4 Los medios de medición estarán verificados y calibrados para su uso.

2. Fundamento del método:

El método se basa en la correspondencia que existe entre la densidad relativa a 20°C/20°C de la fase alcohólica, obtenida por medio de la destilación de la muestra y el grado alcohólico volumétrico expresado en por ciento de alcohol etílico en volumen.

3. Reactivos:

Alcohol etílico al 95 % v/v

Eter etílico o acetona, como solvente

4. Aparatos, utensilios y medios de medición:

Matraz aforado de 250 ml

Balón de destilación con cuello largo de 1000 ml
Condensador de espiral o serpentín, de preferencia Graham, no menor de 400 mm.
Trampa de vapor
Manta, plancha o mechero
Probeta lisa sin reborde de 300 ml
Termómetro de 0 a 50°C graduado en 0,05
Baño de agua mantenido a (20 ± 0,5 °C)
Balanza analítica con valor de división de 0,1 mg
Picnómetro de 50 ml
Aereómetro con divisiones de 0,01 unidad, graduado a 20°C

5. Procedimiento:

5.1. Destilación de la muestra

Verter y medir en el matraz volumétrico, 250 ml de muestra a una temperatura de 20ºC (293 K) ± 0,5, transferidos cuantitativamente con 50 ml de agua destilada (procurando enjuagar con el agua al menos tres veces el matraz volumétrico), al matraz de destilación que contiene gránulos o trozos de carburo de silicio o perlas de vidrio, conectándolo al refrigerante mediante el adaptador.

Calentar el matraz de destilación y destilar lentamente recibiendo el destilado en el mismo matraz donde se midió la muestra. El refrigerante terminará en una adaptación con manguera y tubo con la punta biselada que entre en el matraz de recepción hasta el nivel del agua puesta en éste (10 ml de agua destilada). Por el refrigerante estará circulando siempre agua fría, y el matraz de recepción debe encontrarse sumergido en un baño de agua hielo durante el curso de la destilación. Ajustar la velocidad de destilación de forma tal que haya un pequeño reflujo en el matraz y no salgan vapores no condensados del condensador.

Cuando la cantidad de destilado contenida en el matraz se acerque a la marca (0,5 cm, debajo de marca de aforo), suspender la destilación y retirar el matraz de recepción, y llevar el destilado a la temperatura en la que se midió la muestra, procurar no perder líquido. Llevar a la marca con agua destilada y homogeneizar.

5.2 Determinación

5.2.1.Utilizando picnómetro

Se pesa el picnómetro después de estar perfectamente limpio, libre de grasas y secado con corriente de aire.

Se llena el picnómetro con agua destilada recientemente hervida y enfriada a temperatura ambiente, sin que queden burbujas de aire en el líquido, y se sumerge en el baño de agua durante 30 min.

Pasado este tiempo se enrasa el picnómetro, se vacía, se lava con alcohol etílico, después con éter etílico o acetona y finalmente se seca con corriente de aire.

A continuación se repite todo el procedimiento anterior, empleando la porción de ensayo en lugar del agua destilada.

5.2.2. Utilizando areómetro:

Colocar en la probeta descrita el destilado e introducir el areómetro y el termómetro. El areómetro y especialmente el tallo graduado deberán estar limpios y desengrasados.

Agitar para uniformar la temperatura a 20°C y hacer la lectura sobre el tallo del areómetro.

6. Expresión de los resultados:

6.1. Densidad relativa a 20°C/20°C:

6.2. La densidad relativa a 20°C/20°C de la muestra se calcula por la fórmula siguiente:

$$d_{20}^{20} = \frac{m_2 - m}{m_1 - m}$$

donde:

d_{20}^{20} densidad relativa de la muestra 20°C/20°C

m masa del picnómetro vacío (g)

m_1 masa del picnómetro con agua destilada (g)

m_2 masa del picnómetro con la porción de ensayo (g)

Con el valor calculado de la densidad relativa a 20°C/20°C y usando la tabla del Anexo se halla el grado alcohólico volumétrico expresado en por ciento de alcohol etílico en volumen.

6.3. Aproximación de los resultados: La densidad relativa se calcula con 5 cifras decimales y el resultado final se da aproximado hasta la décima.

6.4. Densidad absoluta a 20°C:Para convertir la densidad relativa a 20°C/20°C en densidad absoluta a 20°C, se aplica la ecuación siguiente:

$$d_{20} = 0{,}998203 \cdot d_{20}^{20}$$

donde:

d_{20} densidad absoluta a 20°C (g/cm^3)

d_{20}^{20} densidad relativa de la muestra a 20°C/20°C

0,998203 densidad absoluta del agua a 20°C (g/cm^3)

Nota: La densidad absoluta a 20°C es prácticamente igual a la densidad relativa a 20°C/4°C.

ANEXO

RELACON ENTRE LA DENSIDAD RELATIVA Y EL GRADO ALCOHOLICO VOLUMENTRICO

Grado alcohólico volumétrico.	Densidad relativa 20°C/20°C	Grado alcohólico volumétrico.	Densidad relativa 20°C/20°C	Grado alcohólico volumétrico.	Densidad relativa 20°C/20°C
0	0,99820	34	0,95698	67	0,89269
1	0,99670	35	0,95559	68	0,89048
2	0,99523	36	0,95415	69	0,88803
3	0,99381	37	0,95269	70	0,88556
4	0,99241	38	0,95118	71	0,88306
5	0,99106	39	0,94963	72	0,88054
6	0,98973	40	0,94805	73	0,87799
7	0,98843	41	0,94642	74	0,87540
8	0,98716	42	0,94476	75	0,87279
9	0,98592	43	0,84306	76	0,87015
10	0,98471	44	0,94132	77	0,86748
11	0,98352	45	0,93909	78	0,86478
12	0,98235	46	0,93773	79	0,86204
13	0,98121	47	0,93588	80	0,85927
14	0,98008	48	0,93400	81	0,85646
15	0,97897	49	0,93209	82	0,85362
16	0,97787	49	0,93014	83	0,85074
17	0,97679	51	0,92816	84	0,84782
18	0,97571	52	0,92616	85	0,84485
19	0,97463	53	0,92412	86	0,84184
20	0,97356	54	0,92206	87	0,83877
21	0,97248	55	0,91996	88	0,83564
22	0,97140	56	0,91784	89	0,83245
23	0,97031	57	0,91570	90	0,82918
24	0,96921	58	0,91353	91	0,82583
25	9,96810	59	0,91133	92	0,82239
26	0,96697	60	0,90911	93	0,81885
27	0,96581	61	0,90687	94	0,81518
28	0,96464	62	0,90460	95	0,81138
29	0,96344	63	0,90231	96	0,80742
30	0,96221	64	0,89999	97	0,80327
31	0,96095	65	0,89765	98	0,79890
32	0,95966	66	0,89528	99	0,79425
33	0,95834			100	0,78924

DETERMINACION DE SOLIDOS SOLUBLES

1. Generalidades:

1.1 Las determinaciones según esta técnica se realizarán por duplicado y se calculará el promedio de los resultados.

1.2 Se emplearán productos químicos analíticos de calidad P.A., según la NC 20-03:72 "Productos químicos. Clasificación por calidades y definiciones" y NC 21-05:72 "Productos químicos analíticos. Especificaciones".

1.3 Para la realización del ensayo se utilizará agua para análisis, según la NC 21-01:72 "Agua para análisis".

1.4 Los medios de medición estarán verificados y calibrados para su uso.

2. Fundamento del método:

El método se basa en la correspondencia que existe entre la densidad relativa a 20°C/20°C del residuo no alcohólico y los sólidos solubles en la muestra

3. Reactivos:

Alcohol etílico al 95 % v/v

Eter etílico o acetona, como solvente

4. Aparatos, utensilios y medios de medición:

Matraz aforado de 250 ml

Balón de destilación con cuello largo de 1000 ml
Condensador de espiral o serpentín, de preferencia Graham, no menor de 400 mm.
Trampa de vapor
Manta, plancha o mechero
Probeta lisa sin reborde de 300 ml
Termómetro de 0 a 50°C graduado en 0,05
Baño de agua mantenido a (20 ± 0,5 °C)
Balanza analítica con valor de división de 0,1 mg
Picnómetro de 50 ml
Areómetro con divisiones de 0,01 unidad, graduado a 20°C

5. Procedimiento:

5.1. Destilación de la muestra

Verter y medir en el matraz volumétrico, 250 ml de muestra a una temperatura de 20ºC (293 K) ± 0,5, transferidos cuantitativamente con 50 ml de agua destilada (procurando enjuagar con el agua al menos tres veces el matraz volumétrico), al matraz de destilación que contiene gránulos o trozos de carburo de silicio o perlas de vidrio, conectándolo al refrigerante mediante el adaptador.

Calentar el matraz de destilación y destilar lentamente recibiendo el destilado en el mismo matraz donde se midió la muestra.

Se deja enfriar el residuo obtenido en la destilación a la temperatura ambiente y se transfiere a un matraz aforado de 250 ml. Se enjuaga el balón de destilación con pequeñas porciones de agua, las que se vierten en el mismo matraz, se enrasa y se agita para homogeneizar bien.

5.2 Determinación:

Se pesa el picnómetro después de estar perfectamente limpio, libre de grasas y secado con corriente de aire.

Se llena el picnómetro con agua destilada recientemente hervida y enfriada a temperatura ambiente, sin que queden burbujas de aire en el líquido, y se sumerge en el baño de agua durante 30 min.

Pasado este tiempo se enrasa el picnómetro, se vacía, se lava con alcohol etílico, después con éter etílico o acetona y finalmente se seca con corriente de aire.

A continuación se repite todo el procedimiento anterior, empleando la porción de ensayo en lugar del agua destilada.

6.Densidad relativa a 20°C/20°C:

6.1 La densidad relativa a 20°C/20°C de la muestra se calcula por la fórmulsiguiente:

$$d^{20}_{20} = \frac{m_2 - m}{m_1 - m}$$

donde:

d^{20}_{20} densidad relativa de la muestra 20°C/20°C

m masa del picnómetro vacío (g)

m_1 masa del picnómetro con agua destilada (g)

m_2 masa del picnómetro con la porción de ensayo (g)

Con el valor calculado de la densidad relativa a 20°C/20°C del residuo de la muestra y usando la tabla del Anexo se obtienen los sólidos solubles, expresados como grados Brix o por ciento en peso de sacarosa.

6.5. Aproximación de los resultados: La densidad relativa se calcula con 4 cifras decimales y el resultado final se da aproximado hasta la décima.

6.6. Repetibilidad: Los resultados de las dos determinaciones realizadas simultáneamente no deben diferir en más de 0,4

POR CIENTO EN PESO DE SACAROSA EN BASE A LA DENSIDAD RELATIVA A 20°C

°Brix o % en peso de sacarosa	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	1,0000	1,0004	1,0008	1,0012	1,0016	1,0019	1,0023	1,0027	1,0031	1,0035
1	1,0039	1,0043	1,0047	1,0051	1,0055	1,0058	1,0062	1,0066	1,0070	1,0074
2	1,0078	1,0082	1,0086	1,0090	1,0094	1,0098	1,0102	1,0106	10109	1,0113
3	1,0117	1,0121	1,0125	1,0129	1,0133	1,0137	1,0141	1,0145	1,0149	1,0153
4	1,0157	1,0161	1,0165	1,0169	1,0173	1,0177	1,0181	1,0185	1,0189	1,0193
5	1,0197	1,0201	1,0205	1,0209	1,0213	1,0217	1,0221	1,0225	1,0229	1,0233
6	1,0237	1,0241	1,0245	1,0249	1,0253	1,0257	1,0261	1,0265	1,0269	1,0273
7	1,0277	1,0281	1,0285	1,0289	1,0294	1,0298	1,0302	1,0306	1,0310	1,0314
8	1,0318	1,0322	1,0326	1,0330	1,0334	1,0338	1,0343	1,0347	1,0351	1,0355
9	1,0359	1,0363	1,0367	1,0371	1,0375	1,0380	1,03l84	1,0388	1,0392	1,0396
10	1,0400	1,0404	1,0409	1,0413	1,0417	1,0421	1,0425	1,0429	1,0433	1,0438
11	1,0442	1,0446	1,0450	1,0454	1,0459	1,0463	1,0467	1,0471	1,0475	1,0480
12	1,0484	1,0488	1,0492	1,0496	1,0501	1,0505	1,0509	1,0513	1,0517	1,0522
13	1,0526	1,0530	1,0534	1,0539	1,0543	1,0547	1,0551	1,0556	1,0560	1,0564
14	1,0568	1,0573	1,0577	1,0581	1,0585	1,0589	1,0594	1,0598	1,0603	1,0607
15	1,0611	1,0615	1,0620	1,0624	1,0628	1,0633	1,0637	1,0641	1,0646	1,0650
16	1,0654	1,0659	1,0663	1,0667	1,0672	1,0676	1,0680	1,0685	1,0689	1,0693
17	1,0698	1,0702	1,0706	1,0711	1,0715	1,0719	1,0724	1,0728	1,0733	1,0737
18	1,0741	1,0746	1,0750	1,0755	1,0759	1,0763	1,0768	1,0772	1,077	1,0781
19	1,0785	1,0790	1,0794	1,0799	1,0803	1,0807	1,0812	1,0816	1,0821	1,0825
20	1,0830	1,0834	1,0839	1,0843	1,0848	1,0852	1,0856	1,0861	1,0865	1,0870
21	1,0874	1,0879	1,0883	1,0888	1,0892	1,0897	1,0901	1,0905	1,0910	1,0914
22	1,0919	1,0924	1,0928	1,0933	1,0937	1,0942	1,0946	1,0951	1,0955	1,0960
23	1,0965	1,0969	1,0974	1,0978	1,0983	1,0987	1,0992	1,0997	1,1001	1,1006

ESTUDIO COMPARATIVO DE POLIFENOLES EN RONES AÑEJADOS DE FORMA CLASICA CON RON UTILIZANDO AÑEJAMIENTO ACELERADO.

Autores: María D. González Flórez, Miguel A. Vázquez García, Delfa Redondo Denis.

ICIDCA. Vía Blanca No. 804 y Carretera Central. Fax (537)338236. E-Mail: icidca@ceniai.inf.cu y mdora@icidca.edu.cu

ABSTRACT

In this paper, we examined the differences in phenolic compounds , furfurol and gallic acid in rums that had been aged in oak barrels based on traditional wood charring for 6 months to 25 years and a rum that had been aging based on accelerated technique with a considerably shorter stay in barrils.

RESUMEN

En el presente trabajo, se examinan las diferencias que presentan los compuestos fenólicos , furfural y acido gálico en rones que han sido añejados en barriles de roble, basados en la forma tradicional por períodos de 6 meses a 25 años y ron que ha sido añejado utilizando un sistema acelerado con un corto tiempo en barriles.

Palabras claves
Rum,
Phenolic compounds
Furfurol

Key words
Ron
Compuestos fenólicos
Furfural

INTRODUCCION

El ron es una bebida destilada, que cuando es fresco recuerda a la materia prima utilizada, este aroma varía durante la etapa de reposo en recipientes de roble (Quercus alba) por tiempo determinado, que en general oscila entre dos a 15 años. Este tiempo se conoce como tiempo de añejamiento. En el añejamiento ocurren procesos de acción disolvente por la mezcla hidroalcohólica de los componentes de la madera, reacciones de oxidación y de interacción entre los componentes originales del destilado y de los aportados por la madera.

Aunque son muchos los factores que influyen en las diferencias en composición, tales como la especie de la madera (Masson y col. , 1995 y 1997), la edad de la madera (Masson y col. , 1996),, la región geográfica donde crecen los árboles (Masson y col., 1995; Sefton y col., 1993; Mosedale y col. 1996), los procesos utilizados para la confección de los barriles (secado y tostado de la madera) (Giménez-Martínez y col., 1996 ; Categrel y col. ,1997), inclusive la región donde se seca la madera. Sin embargo entre los principales compuestos que aporta la madera se encuentran: la lignina, taninos, hemicelulosas y lactonas. La lignina se extrae por el ron (alcohólisis) y posteriormente experimenta procesos de degradación por hidrólisis y acidosis o pirólisis durante el calentamiento, introduciendo a la bebida fundamenalmente alcohol coniferílico y alcohol siríngico. A su vez estos se oxidan produciendo al final vainillina, ácido siríngico y ácido vainíllico. (Rodriguez, 1985 ; Puech ,1982). El papel que juegan los compuestos

polifenoles en la creación del sabor y olor de las bebidas destiladas ha sido muy bien expuesto por muchos autores.(Puech y Rabier ,1990; Delgado, 1990)

Los fenoles de las bebidas varían desde sustancias relativamente simples hasta complejas, formadas durante el añejamiento por extracción de la madera de roble o por formación durante los diferentes estadíos de producción de las mismas (Monedero 1995). Elevadas temperaturas y ciertos microorganismos pueden descarboxilar los ácidos fenólicos para producir fenoles volátiles. Estos también pueden formarse por microorganismos y en metabolismos de aminoácidos aromáticos (Jounela-Erikson , 1981).

Los Taninos son compuestos amorfos, que se encuentran en ciertas plantas. En el roble aparecen y le comunican al destilado un sabor astringente, constituyendo los polifenoles el 12 % aproximadamente del total de los taninos y le infieren a la bebida un sabor astringente (Puech y col. 1999). El quemado de la madera produce degradación térmica de los taninos hidrolizables, dando lugar a la aparición de los ácidos gálico y elágico (Ribereau ,1976; Giménez, R. Y col. , 2000). En el proceso de quemado de la madera también se incrementa el contenido de furfural a partir de la hemicelulosa. (Boidron, 1988).

La fracción de polisacáridos de la madera es responsable del enriquecimientos de las bebidas con compuestos volátiles

El objeto del presente trabajo consiste en valorar las concentraciones de fenoles, furfural y ácido gálico en rones que han sido añejados en barriles de roble, en forma tradicional por períodos de 6 meses a 25 años y ron que han sido añejado utilizando un sistema acelerado con un año de añejamiento en toneles (Vázquez 1996)

MATERIALES Y METODOS

Se utilizó Metanol HPLC para la disolución del Acido Gálico y el Furfural, el resto de los patrones se disolvieron en la mezcla terciaria Acido Sulfúrico 0.01 N, Metanol, Propanol (180:30:5 V/V). El Furfural fue recién destilado, el Acido Gálico, Aldehido Protocatequico, Acido P-Hiroxi Benceno, Acido Vainíllico, Acido Siríngico, Siringaldehido y Acido P-Cumárico de la firma SERVA y la Vainillina que fue de la firma ANALAR. El cromatógrafo HPLC de la firma Knauer con detector de longitud de onda Diode Array Detector 2800 de la Knauer. Columna Hypersil 5 ODS (250 mm; 4.6mm d.i.; 5µ). Flujo 1 ml/min. Longitud de onda 280 nm. La determinación se realizó de forma isocrática con la fase movil terciaria descrita anteriormente, utilizando un lazo de 20µl . Los cromatogramas fueron procesados por el software ChomGate. Los tiempos de corrida de cada análisis fueron de 65 minutos (Redondo 1999)

Se preparó una curva patrón para el ácido Gálico y el Furfural, además se obtuvo una mezcla de los demás patrones Las muestras fueron tomadas de ron añejo producido por la tecnología de añejamiento acelerado desarrollada por el ICIDCA y posterior envejecimiento en toneles de roble , muestras de rones bases patrones del Ministerio de la Alimentación y un ron de 25 años obtenido por añejamiento clásico. La inyección en las columnas se realizó directamente previa filtración por membrana de Nylon de 0.45 µm

RESULTADOS Y DISCUSION

Los compuestos estudiados en las muestras reales fueron identificados por la comparación de sus espectros UV-Vis entre 220 y 500 nm, con los que se encontraban en la librería del equipo, recopilados

previamente y además comparados con los reportados por otros autores. (Matti, 1983 y Barroso y col. 1996),. Además se calcularon los tiempos de retención (TR) , longitudes de onda de los máximos de absorción de los patrones de los compuestos estudiados, longitudes de onda utilizada y relación de la medida de absorbancia de 275 y 300 nm, de los patrones y de los observados en las muestras de rones, comparándolos con los reportados por Matti (1983)

Tabla I:Tiempos de retención (TR) de fenoles, longitudes de onda de los máximos de absorción de los patrones de los compuestos estudiados, longitudes de onda utilizada y relación de la mediada de absorbancia de 275 y 300 nm.

Compuestos	TR	Absorción max. nm	Longitud de onda utilizada nm	Relación A_{275}/A_{300}
Acido Elágico	2.47	275	280	1.98
Acido Gálico	3.32	270	280	2.2
Pirogalol	3.76	265	280	--
Furfural	4.58	274	280	6.2
Acido Vainíllico	9.80	260 y 290	280	1.4
Acido Siríngico	10.73	270	280	2.3
Vainillina	12.27	280	280	1.1
Siringaldehido	13.68	306	280	0.4
Acido p-Cumárico	21.00	310	280	1.9
Acido Ferúlico	24.60	320	280	0.6

Como se observa en la tabla I, para la identidad de los compuestos estudiados en los rones se utiliza el tiempo de retención , la coincidencia de los espectros de absorción en UV-Vis y además las relaciones existentes entre la absorción a 275 y 300 nm.

En la tabla II reportamos las concentraciones en rones de diferentes edades añejados en toneles de roble americano de forma tradicional y rones obtenidos mediante añejamiento acelerado (Vázquez 1996) combinado con el sistema clásico

Tabla II. Concentración de los compuestos detectados en rones obtenidos mediante añejamiento clásico y rones obtenidos con añejamiento acelerado y posterior añejamiento en solera por un corto tiempo.(Las concentraciones se expresan en ppm)

Compuestos	Rones obtenidos mediante añejamiento clásico años						Rones obtenidos mediante sistema acelerado y combinado con añejamiento clásico años				
	0.5	0.75	2	5	6	25 comercial	1	1.1	1.2	1.3	1.4
Acido Gálico	-	-	-	-	-	-	0.5	0.4	-	-	0.8
Furfural	0.3	0.2	0.6	0.8	1.4	0.6	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7
Acido Vainíllico	0.6	0.6	1.2	2.7	4.3	1.2	1.1	0.6	0.9	1.4	1.6
Acido Siríngico	0.9	0.8	2.4	3.9	8.7	1.9	2.9	3.1	3.0	4.1	3.8
Vainillina	0.4	0.4	1.0	2.9	3.6	2.4	2.1	2.3	2.5	2.3	1.9
Siringaldehido	1.0	0.9	2.7	5.2	8.5	2.5	7.1	7.0	7.0	7.0	7.5
Acido p-Cumárico	0.3	0.3	-	0.2	-	-	-	-	-	-	0.4
Acido Ferúlico	0.7	-	-	-	0.3	0.3	-	-	-	-	-

En los valores reportados en la tabla No. II se puede observar un incremento creciente en los rones obtenidos por añejamiento clásico hasta los 6 años, sin embargo en el ron comercial de 25 años se presenta una sensible disminución en las concentraciones de: ácido Vainíllico, ácido Siríngico y Siringaldehído. En el caso de los ácidos solo puede explicarse su disminución por una posible descarboxilación. Sin embargo el Siringaldehido debe experimentar oxidación a ácido en el tiempo.

En el caso del ácido Gálico junto con el ácido Elágico debe ser objeto de posteriores estudios para determinar el comportamiento de los Taninos en el sistema de añejamiento acelerado en comparación con el clásico.

CONCLUSIONES.

1. Se realizó una buena identificación de los compuestos en el cromatograma de los rones estudiados mediante la utilización de los TR, los espectros de absorción en el UV-Vis y la relación entre las absorciones a 275 y 300 nm.
2. Se estudiaron las evoluciones de las concentraciones de ácido Gálico, Furfural, ácido Vainillico, ácido Siríngico, Vainillina, Siringaldehido, ácido p-Cumárico y ácido ferúlico en rones añejados de forma clásica en toneles de roble americano, comparándolos con un ron comercial de 25 años de añejamiento clásico y 5 rones obtenidos mediante añejamiento acelerado y tiempos de añejamiento en toneles de roble americano entre 1 y l.4 años.
3. Se demuestra que los rones obtenidos por el sistema acelerado tienen concentraciones similares de los compuestos estudiados entre los rones clásicos de 5 y 6 años.
4. El ron comercial de 25 años tiene concentraciones, de los compuestos estudiados, similares a un ron de 2 años de añejamiento
5. Es necesario continuar en el estudio de los ácidos Gálico y Elágico, debido a que permiten determinar la evolución de los taninos en las bebidas añejadas.

REFERENCIAS.

1. Broidron, J.N.; Chatonnet, P.; Pons, M. (1988). Conn Vigne. Vin 22(4). 275-294.
2. Cantegrel, R.; Snakkers, G.; Nepveu, G.; Keller, R. (1997) “Quelques caracéristiques des merrains en fin de maturation en charentes. Variabilité recontrée, differences entre tonnelleries, corrélations entre caractéristiques”. Revue des Oenologues et des Techniques Vitivinicoles el Oenologiques, núm. 84, 7– 13.
3. Giménez-Martínez, R.; López-García, H.; Villalón, M.; Quesada, J.; Martínez, M.C. (1996). “Influence of wood heat treatmen temperature and maceration time on vanillin, syringaldehide and gallic acid contents in oak wood and wine spirits mixtures”. Am J. Enol. Vitic., 47 (4), 441 – 446.
4. Giménez, R.; Villalón, M.; López, H.; Navarro, M.; Cabrera, C.; Olalla, M.; Quesada, J.J.; López, M.C. (2000) “Determination of Gallic Acid in Commercial Brandies using High Performance Liquid Chromatography. Cienc. Tecnol. Aliment. Vol. 3 No. I, pp 13-20.
5. Jounela-Erikson, P.; Lehtone, M.; “Phenols in the aroma of destilled beverages. (1981). Ed. Amademy Press, Ind., Finland.
6. Masson, G.; Moutounet.M.; Puech J.L. (1995). “Ellagitannins content of oak wood as a funtion of species and of sampling position in the tree”. Am. J. Enol. Vitic., 46 (2), 262- 268.
7. Masson, G.; Puech. J.L.; Baumes, R.; Moutounet, M. (1996) “Extractible constituents of oak wood. Relation betwen age and composition of the wood. Aroma impact of certain compound extracted by wine”. Revue des Oenologue et des techniques vitivinicoles et Oenologiques, núm. 82, 20-23

8. Masson, G.; Baumes, R.;Puech, J.L.; Razungles, A. (1997). “Demostration of the presence of carotenoids in wood: qualitative study of cooperage oak”. J.of the agric. Food Chem. 45 (5), 1644 - 1652.
9. Monedero, L.A.; Tesis de grado, “Influencia del envejecimiento acelerado sobre el contenido polifenólico en vinos sometidos a crianza oxidativa”. (1995) .Universidad de Granada
10. Mosedale, J.R.; Ford. A. (1996) “Variation of the flavour and extractives of European oak wood fron two French forest”. J. Sci. Food Agric.. 70 (3), 273- 287.
11. Sefton, M.A.; Spillman, P.J.; Pocock, K.F.; Francis, I.L.; Williams, P.J. (1993) “ The influence of oak origin, seasoning an other industry practices on the sensory characteristics and composition of oak extracts and barrel aged white wine.” Autralian Grapegrover & Winemaker, núm. 355, 17 - 25
12. Redondo, D.; Romero, N.. (1999). “Método sencillo de separación y determinación cuantitativa de fenoles mediante una técnica de HPLC”. Revista “Sobre los Derivados ICIDCA.No.3, Vol. 33,
13. Ribereau, J.; Peynaud, E.; Saudraud, P.; Ribereau, P. (1976). “Sciences et techniques du vin”. Tome 1. Ed. Dunod, París.
14. Rodriguez, J.L.; Villareal A. “ Sobre Añejamiento y Composición Química de las Bebidas Alcohólicas Destiladas”. Publicación interna Ministerio de la Industria Alimenticia de Cuba. (1985)
15. Puech. J.L.; Leanté, R.; Elot, G. Etude de la lignine et de ses produits du degradation daus les eaux-de-vie du cognac. (1982), Bull. Groupe Poliphenol., (11), 605-611
16. Puech. J. L.; Fevillat, F. ; Mosedale, J. R., (1999). “The Tannins of Oak Heartwood Structure, Properties, and Their influence on Wine Flavor. Am. J. Enol. Vitic., Vol. 50, No. 4.
17. Vázquez, M.A; González, M.D. (1996). “Tecnología para la producción de Rones Cubanos con nuevos procesos de depuración y añejamiento”. Academia de Ciencias de Cuba.

FRACTIONATION OF SUGAR CANE SPIRITS WITH SUPERCRITICAL CO_2

A. Alvarez Delgado*,A.Garcia*,A.de Lucas**,I.Gracia**,M.D.Gonzalez**

**ICIDCA, Institute of Sugar Cane Byproducts, La Habana, via Blanca 804, C.P. 11000 Cuba, albertg@icidca.edu.cu*
***Chemical Engineering Departament.Castilla la ManchaUniversity.13071.Ciudad Real.Spain.*

ABSTRACT

The extraction of the minor components presents in sugar cane spirits was investigated in supercritical conditions with CO_2 at temperatures from 40^0 C to 60^0 C and various pressures ranging from 100 to 250 bar. Residence times ranged from 1 to 6 hours. The percentage of extract recovered was found to be from 6,5 to 71,0% when a complete extraction was attained. The solubility of 75^0 GL distillate –sugar cane spirit- was measured under 3 different temperatures at the pressure of 250 bar. The gas chromatography and mass spectroscopic analysis showed the occurrence of more than 30 minor components in the SC – CO_2 soluble extracts separated from the samples of crude, aged sugar cane spirit and head alcohol at 40^0 C and 100 bar. The occurrence of many of these volatile species in sugar cane spirit and head alcohol is reported for first time and comprised higher molecular weight aromatic compounds; terpenoids, mequinol, as well as long chain esters, acids and alcohols, and also furans.

Key words: supercritical fluid extraction, carbon dioxide extraction, sugar cane spirit, aroma extraction with CO_2

INTRODUCTION

SFE has been most successful for the isolation of plant aroma and fragance componunds. Several studies have focused on the SFE of aroma compounds in fruits, *Kerrola et al (1994),* but research of SFE of aroma compounds in wines and spirits is scanty. Nevertheless, these liquors are potentially a source of flavour and fragances in pharmaceuticals, foods, perfumery and other applications. It is clear that the most natural and true-tasting extracts are obtained by techniques which utilize low temperature and avoid degradative heat processes and reactive solvents. Carbon dioxide extraction is considered to be the best of these techniques*, Modey (1996).*

In addition to ethanol and water, spirits from sugar cane molasses contain a variety of compounds that are produced during fermentation and/or aging. These compounds impart many of the flavour and aroma characteristics familiar in rums and at very low levels have different odors. Traditional methods, such liquid extraction and fractional distillation have been employed for the concentration of these components. The use of supercritical CO_2 for the extraction of aroma components from alcoholic wines is reported in autoclave batch *Krukonis (1985)* and in countercurrent column, *Señoráns (2000).* The best yield of aromas are reached under low operation pressure (100-150 bar) and temperatures up to 70^0 C. The potential advantages offered with the supercritical extraction of alcoholic distillates rich in aromatic components are extensive when used in countercurrent in order to attain higher volumes of extracts. These include it's non-toxicity, rapid removal of solvent at low temperature, and the ability to alter density, so selectivity of the solvent extraction.

Purification and extraction from low concentration pose some special problems. These minor components, when are present in aqueous media, can be stripped and concentrated with dense gases (CO_2) free of water and other compounds such as colorants and sugars.

The work now being carried out has generated information for further experiments on the recovery of high valuable components from products and byproducts streams of ethanol distilleries based on sugar cane molasses fermentation. In other hand, this report shows for first time the occurrence of new species in alcoholic distillates from sugar cane molasses until now ignored.

EXPERIMENTAL

Materials

The liquors for extraction were supplied from the Minaz-Havana Distillery:

1. Sugarcane spirit 75^0GL
2. Aged Sugarcane spirit 75^0GL
3. Head alcohol 78^0GL

The sugarcane spirits are used for the products of rums. The head alcohol, a by product of the production of superfine alcohol, is mixed with second class alcohol and diesel oil for the formulation of cooking fuel ethanol, the so called Formula-5 in the cuban market.

Experimental equipment

The equipment is showed in Figure 1.

The operation pressure of the equipment is reached through a high pressure pump (Thermo Separation Products, Constametric 3200 P/F that feeds the carbon dioxide. The specifications of pressure and flowrate were 400 atm and 475 ml/hr.

The extractor has a volume of 730 ml (stainless steel 316L) filled with glass balls in order to enhance the mass transfer between the SC CO_2 and the liquid phase. The temperature of extraction is reached by means of a termostated baith in which is submerged the extractor, and is controlled by a Eurotherm Corporation 808 electronic device.

An open/shut valve V2, and a micrometric valve, VM, (Sepharex) were located after the extractor to control the flowrate. The extract was recovered in a cooled glass trap and the flowrate was measured in a rotameter.

Extraction Tests. Effect of pressure, temperature and quality of the liquor.

In Table I are recorded the first experiments conducted at constant temperature of 40^0 C and three levels of pressure, employing sugar cane spirit 40^0 GL. The influence of temperature was verified also in the next trials described in Table I, where the pressure is kept constant at 250 Kg/cm^2 and temperature ranged from 40 to 60^0C

To asses the influence of the liquor aging in the extraction yield, in Table II are showed the experiments conducted under constant pressure and temperature (100Kg/cm^2 and 40 ºC) using sugar cane spirit crude and aged and head alcohol. The measurments of the solubility were performed according to the criteria og *Gracia et al (1999),* and is reported in Table III under various temperatures (apparent solubility). The yield of extraction was measured by the weight of the fraction collected. The solvent flowrate at working conditions was 1ml/min.

GC analysis conditions

The analysis of the volatiles present in the extracts were performed through gas chromatography coupled with mass spectrometry . A high resolution gas chromatograph, Fisons instruments, type MD 800 with autosample device Thermo Quest modell AS 2000 and equipped with a column DB-624 30m length, 0.25 internal diameter and 1,24µm was used this study. The initial oven temperature was programmed at 50^0C for 10 minutes, with a heating velocity of 5^0C/min, and finally raised to 225^0 C and then kept for 15 minutes.

The injection temperature was 225^0C and the splitless injection mode

was used. The mass spectrometric analysis was developed with electronic impact emission at 70eV at the scan mode at mass range between 13 and 300umas. The solvent delay was 5 minutes and the power supply temperature was of 225^0C.

TABLE I

Yield of the supercritical fluid extraction of sugarcane spirit at different pressures and temperatures (gr extract/100 gr of liquor)

Extraction Trials	Yield of Extraction (%)				
	1h	2h	3h	4h	5h
40^0 C-100 kg/cm^2	6,50	16,29	21,75	32,55	40,24
40^0C-150 kg/cm^2	7,57	27,50	36,79	49,88	53,78
40^0C-250 kg/cm^2	9,52	36,26	53,08	61,33	63,98
40°C-250 kg/cm^2	9,01	32,50	45,05	58,30	62,50
50°C-250 kg/cm^2	18,37	38,32	57,48	60,25	61,25
60°C-250 kg/cm^2	17,37	39,66	62,97	69,43	71,05

TABLE II

Yield of the supercritical fluid extraction of sugarcane spirit and head alcohol at 100 kg/cm^2 and 40^{0}C (gr extract/100 gr of liquor)

Liquor	Yield of extraction (%)				
	1h	2h	3h	4h	5h
s.c. spirit 75 ^{0}gl	5,758	14,070	24,246	35,098	39,08
s.c. spirit aged 75^{0}gl	2,996	9,335	15,666	23,208	26,800
Head alcohol 78^{0}gl	4,680	11,45	17,90	29,65	41,10

TABLE III

Solubility of sugar cane spirit 75^{0}GL in supercritical CO_2

Test condition (Kg/cm^2) / ^{o} C	Density (g/cm^3)	Solubility mg/g CO_2	Solubility mg/ml CO_2
250/40	0.891	9.204	8.201
250/50	0.841	22.619	19.022
250/60	0.798	24.150	19.272

RESULTS AND DISCUSSION

Effect of temperature, pressure and aging of the spirits in the extraction yields

Test were performed initially to ascertain the effect of separation conditions on the extraction yield. These experiments were conducted from 1 to 5 hours of extraction time. Over the range of pressure and temperature investigated it is clear that at the lowest extraction conditions is possible to reach a yield of 40% of the soluble fraction. All the extracts were completely colorless, transparent and with strong and deep aroma, meanwhile the residue remained in the extraction vessel had turbid and dark appearance, olorless. This dark color was enhanced in the aged spirit where all the colorant matter is not soluble in the solvent. Moreover, the water content of the extracts separated at 40^0 C and 100 bar were lower than 8%, and the residue left after 5 hours of extraction contained more than 50% of water, determined by the Karl Fischer method.

This result is consistent with that found by other researches that show similar behaviour for the solubility of water in supercritical carbon dioxide in liquid matrixes, *Stahl (1978).*

At all studied conditions described in Table I a pressure increase produces an increase in the extraction yield. While at 100 bar the extraction yield is of 40%, at 250 bar the extract increases enormously. This behaviour is due to the increase in carbon dioxide density that enhances the solubility of ethanol and other volatiles in the solvent.

No significant differences was observed for the effect of temperature between 40 and 50^0 C. However, over 50^0 C and 250 bar the effect of temperature is clear and almost 70% of the liquid matrix is solubilized in the solvent.

The result of the comparison of the solubility of crude and aged sugarcane spirit and head alcohol in SC CO_2 is showed in Table II. Aged sugarcane spirit in white oak barrels between 6-12 months is less soluble that the spirit (crude) collected directly from the stripping column, and stored in stainless steel vessels. A large number of chemical changes occur in these spirits during storage, which affect their final properties. The formation of new aroma compounds, together with variations in the amounts of other existing components may take place, and thus the different CO_2 solubility of each ethanol matrixes.

Analysis of the extracts by GC mass analysis

In order to get preliminary data on the composition of the extracts separated at the mildest conditions of the trials, 40^0C and 100 bar, samples of the extracts of sugarcane spirits and head alcohol under the above experiments were analyzed by GC mass spectometry.

The minor compounds identified together with the major volatile analyzed by direct injection gave rise to a set of 10 identifying variables for sugar cane spirit and 23 for the aged sugarcane spirit, as represented in Table IV and V. In Table VI are shown the compounds that appear in the extract from the head alcohol.

In Tables IV, V and VI are compared the coincedence index of the mass spectra of the identified compounds with the library **(FOR)** and the coincidence index of the library with the one of the compound detected in the sample **(REV, Reverse Fit Factor).** The RF value is reported for each one of the peaks of the species identified.

As represented in Tables IV and V it can be stated that the chemical composition of the CO_2 soluble fraction from the crude sugar cane spirit showed significant differences in relation with the CO_2 soluble fraction from the aged sugar cane spirit. The changes within of 6-12 months of storage of these liquors were relevant. The formation of new aroma compounds together with variations

in the amounts of other existing components may take place, affecting the overall quality of the extract. Isoamyl alcohol (1-butanol, 3-methyl) for example, is an aroma component in rum. At very low levels, this compound has pleasant odor. At high levels, the aroma of isoamyl alcohol is unpleasant, and was not detected in the SFE extract of the aged sugar cane spirit (Table V).

CONCLUSIONS

From the previous discussion, it can be concluded that products from ethanol distillation factories such as aged sugar cane spirit and head alcohol could provide a source for the isolation of aromatic substances of commercial interest.

Supercritical fluid extraction with CO_2 is proved to be useful for the separation of non polar compounds and according with the findings of these research, aroma and flavour substances were concentrated in the extracts soluble in the solvent. Although the amounts of the compounds was not calculated in this work, some of them were not reported until now in the literature.

REFERENCES

Kerrola, K., Althonmaki, P. Determination of carvone and limonene in caraway fruits by on-line SFE-GC¨. Proc. 5th Int. Symp. Supercrit. Fluid Chromatogr. Extr., Jan 11-14, E2-E3. Baltimore, MA (1994).

Modey, W.K., Mullholand, D.A., M.W. Raynor. Analytical Supercritical Fluid Extraction of Natural Products. Phytochemical Analysis, Vol. 7, 1-15 (1996).

Val J.Krukonis. Supercritical Fluid Extraction in flavour applications, Supercritical Fluid Extraction (1985) 154-175.

F. J. Señoráns et al. Countercurrent supercritical fluid fractionation of spirits. Proceeding of the 7th meeting on Supercritical Fluids, (2000)(2) 705-710.

Gracia, I. Obtención de aceite de orujo mediante extracción con fluidos supercríticos. Tesis de Doctorado, Universidad de Castilla-la Mancha , Facultad de Ciencias Químicas (1999).

E. Stahl, K.W. Quirin, D. Gerard. Dense Gases for Extracción and Refining. Springer-Verlag Berlín Heidelberg (1988)

TABLE IV
Compounds identified in the sugar cane spirit 75^{0}GL extract
(soluble fraction in CO_2 at 100 bar and 40^{0}C)

Chemical and odor	FOR	REV	CAS	RT
1-propanol **(alcoholic)**	924	958	71-23-8	5.767
1-butanol, 3-methyl **(whiskey)**	929	942	123-51-3	11.935
methyl butenol	780	895	60766-00-9	6.651
1-propanol, 2-methyl **(wine)**	854	915	78-83-1	7.217
acetic acid **(sour)**	791	880	64-19-7	7.734
1-butanol, 2-methyl-, (s)	785	889	1585-80-6	12.085
3(2H)-furanone, dihydro-2-M	440	812	3188-00-9	14.986
ethanedial dioxime	424	571	557-30-2	29.474
nonanoic acid,eth. ester **(cheese)**	706	819	123-29-5	40.126
nonadecanoic acid, ethyl	433	711	18281-04-4	49.713

TABLE V
Compounds identified in the aged sugar cane spirit 75^{0}GL extract
(soluble fraction in CO_2 at 100 bar and 40^{0}C)

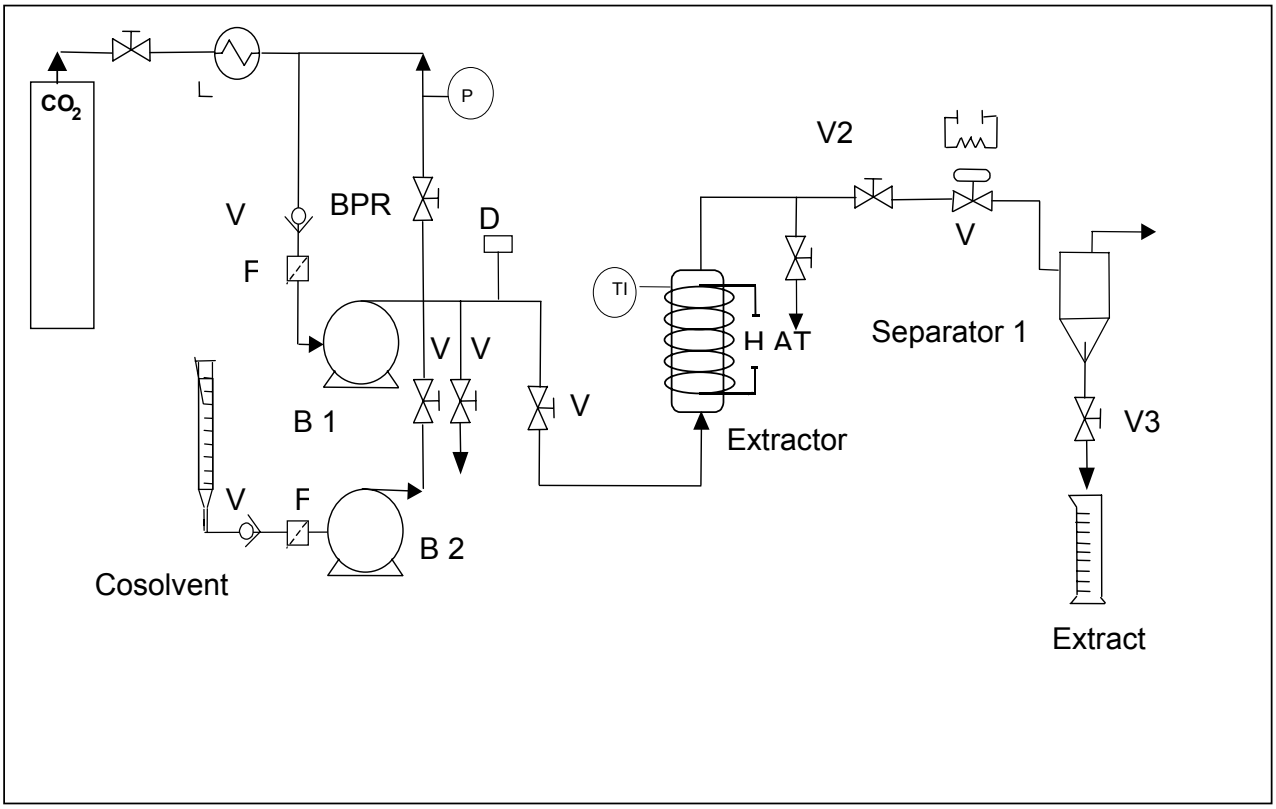
Chemical and odour	FOR	REV	CAS	RT
Acetic acid, ethoxy-, 1-methylethyl ester**(pinneaple)**	794	805	54063-13-7	5.717
1-propanol, 2-methyl **(wine)**	929	943	78-83-1	7.201
1-butanol, 2-methyl	899	900	123-51-3	12.202
1-buten-1-ol, 3-methyl**(herb)**	723	839	556-82-1	13.303
3(2H)-furanone, dihydro-2-methyl	899	946	3188-00-9	14.636
propanoic acid, 2-methyl	546	706	79-31-2	15.520
pentanoic acid **(sweat)**	607	812	109-54-4	16.987
1-butanol, 3-methyl-, acetate	388	726	123-92-2	17.653
hexanoic acid **(sweaty up)**		486	678 142-62-1	19.320
pentanoic acid, 2-methyl	486	701	97-61-0	22.371
butanoic acid, 3-methyl-ethyl ester **(ethereal)**	568	784	108-64-5	22.771
butanoic acid, 2-ethyl-3-oxo, methyl ester	598	717	51756-08-2	24.939
butanoic acid, 2-ethyl**-(apple)**	834	860	88-09-5	25.072
propane, 1,1-diethoxy	694	849	4744-08-5	25.405
1-penthyn-3-ol, 4-methyl-	515	667	565-68-4	26.689
mequinol	537	705	150-76-5	27.323
phenylethyl alcohol **(honey)**	837	862	60-12-8	28.506
octanoic acid, ethyl ester **(fruity)**	868	891	106-32-1	29.473
decanoic acid, ethyl ester**(grape)**	823	858	110-38-3	34.975
nonanoic acid	866	885	112-05-0	35.858
nonanoic acid, ethyl ester **(waxy)**	896	922	123-29-5	40.143
tridecane, 3-methylene-	785	877	19780-34-8	41.360
butanoic acid, 3-methyl-, 2-phenylethyl ester	533	786	140-26-1	46.528

TABLE VI

Compounds identified in the Head alcohol 78^{0}GL extract (soluble fraction in CO_2 at 100 bar and 40^{0}C)

Chemical and odour	FOR	REV	CAS	RT
Acetic acid, ethoxy-, 1-methylethyl ester **(pinneaple)**	772	783	54063-13-7	5.884
1-propanol, 2-methyl **(wine)**	912	935	78-83-1	7.334
1-butanol, 3-methyl **(whiskey)**	941	942	123-51-3	12.152
1-butanol, 2-methyl,(s)	966	968	1565-80-6	12.219
1,6-heptadien-4-ol	757	798	2883-45-6	13.586
hydroperoxide, pentyl	771	824	74-80-6	13.936
3(2H)-furanone, dihydro-2-		880	929 3188-00-9	14.619
pentane **(alkane)**	708	843	109-66-0	14.919
formic acid, methyl ethylester	705	817	625-55-8	15.586
propane, 1-methoxy-2-methyl	466	644	625-44-5	19.338
2-butanol. 3-methyl	651	729	598-75-4	19.671
ethanone, 1-(2-furanyl)-	505	733	1192-62-7	20.571
hydroperoxide,-heptyl	608	704	764-81-8	22.922
pentanoic acid **(sweat)**	646	797	109-52-4	24.422
3-hexanol,2,4-dimethyl	752	795	13432-25-2	25.039
2-methyl-2-vinyloxirane	570	790	1838-94-4	26.673
mequinol	564	667	150-76-5	27.307
phenylethyl alcohol **(honey)**	723	745	60-12-8	28.507
hydroperoxide, heptyl	718	873	764-81-8	29.457
hexanoic acid **(sweaty up)**		381	869 142-62-1	30.491
butanoic acid,2-ethyl	778	810	88-09-5	35.125
nonanoic acid ethyl ester **(grape)**	844	874	123-29-5	40.126
cyclopentaneundecanoic acid	629	776	142-62-1	40.643
tricyclo 5.1.0.002, 4 0ctane-5-	426	632	74810-39-2	43.497

Figure 1. SFE experimental unit.



DIMENSIONAMIENTO Y PARAMETROS DE OPERACION DE UNA COLUMNA DE INTERCAMBIO IONICO, PARA LA DESMINERALIZACION DEL RON PREVIO A SU ENVASE.

DIMENSIONALESS AND PARAMETERS OF OPERATION OF A COLUMN OF IONIC EXCHANGE FOR THE DESMINERALIZATION OF THE RUM, PREVIOUS TO THEIR CONTAINER.

AUTORES: DR. ING. LUIS GOMEZ RODRIGUEZ.
ING. MILDREY MARTINEZ GARCIA
TECNICO: ANGEL MOLLINEDA.

INSTITUCION: UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS.

E-MAIL: lugo@qf.uclv.edu.cu

RESUMEN:

En el presente trabajo se establece una metodología para el dimensionamiento de una columna de Intercambio Iónico para la desmineralización del ron, previo a su envase, que le permita disminuir su contenido de Ca y Mg, causantes de la formación de sedimentos, durante su almacenamiento.

Se extrapolan los resultados de pruebas a escala de laboratorio hasta el nivel industrial y se ofrecen parámetros de operación para las mejores condiciones hidrodinámicas de trabajo en la columna y regeneración de la resina cuando esta se agota.

Se incluye además una valoración económica del rechazo del ron embotellado, debido a la presencia de sedimento en el mismo.

Palabras claves: Ron, Intercambio Iónico, Desmineralización, Sedimentos.

SUMMARY:

In the present work settles down a methodology for the dimensionaless of a column of Ionic Exchange for the desmineralizatión of the rum, previous to its container that allows him to diminish its content of Ca and Mg, causing of the formation of silts during its storage.

The results of tests are extrapolated to laboratory scale until the industrial level and they offer operation parameters for the best hydrodynamic conditions of work in the column and regeneration of the resin when this it is drained.

It is also included an economic valuation of the rejection of the bottled rum, due to the silt presence in the same one.

Key words: Rum, Ionic Exchange, Desmineralizatión, Silts.

INTRODUCCION:

Los complejos coloidales formados entre los silicatos, azúcar, caramelos y taninos, con los iones calcio y magnesio, cuando la concentración de estos alcanza niveles elevados, son los causantes de la aparición de sedimentos en el ron durante su almacenamiento, con afectaciones negativas a su calidad y mercado.

Un análisis diagnóstico realizado por Gómez y otros (2000), a partir de la secuencia tecnológica seguida en el proceso de elaboración del ron, permite poner de manifiesto las posibles causales de la aparición de sedimentos en rones almacenados, quedando estas enmarcadas, como sigue:

.- El agua empleada en el proceso, directamente en la formulación de los rones e indirectamente en el hinchado de los toneles que se utilizan para el añejamiento.
.- Adición de sustancias que incorporan componentes azucarados y oxalato de calcio o que promueven su formación.
.-Los medios filtrantes empleados en la filtración del ron.
.-El cristal de los envases.

Es por ello que con el propósito de que el contenido de calcio y magnesio en el ron destinado a la etapa de envase, contenga bajos niveles de tales iones al llegar a esta , surge la necesidad de buscar alternativas que permitan la desmineralización del ron y con ello eliminar o al menos disminuir tal situación, lo que constituye el aspecto central del presente trabajo, en el que se persigue como objetivo: ESTABLECER UNA METODOLOGIA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA COLUMNA DE INTERCMABIO IONICO PARA LA DESMINERALIZACION DEL RON PREVIO A SU ENVASE, ASI COMO LOS PARAMETROS HIDRODINAMICOS PARA SU OPERACIÓN.

CONSIDERACIONES GENERALES:

Fabricación de ron.
La producción de rones en Cuba se lleva a cabo siguiendo patrones tradicionales en su tecnología, ya sean estos en etapas iniciales como la fermentación alcohólica y la destilación o en etapas más avanzadas como son el añejamiento y las mezclas de bases añejas, en busca de determinadas características sensoriales. Este proceso tecnológico brinda como resultado la calidad del producto, el que llega a alcanzar fama mundial con diferencias bien marcadas frente a bebidas similares de otros orígenes. (Queris Hernández, Oscar. 1998)

Presencia de sedimentos en rones.

Los rones al igual que otras bebidas destiladas, experimentan cambios en su composición durante el añejamiento; debido a reacciones en orden consecutivo o en paralelo. Un número considerable de sustancias fenólicas y carbohidratos son extraídos de la madera, los cuales a su vez experimentan transformaciones en el medio hidroalcohólico, reaccionando con los compuestos originales del destilado. Muchos de estos compuestos tienen pesos moleculares relativamente altos y en ocasiones se comportan como coloides.
Según estudios de rones en la destilería de Santiago de Cuba, se determinaron sedimentos formados por reacciones entre taninos y proteínas, taninos con metales y complejos de proteínas y polisacáridos.
Para evitar los sedimentos se utilizan resinas catiónicas fuertes para eliminar los iones metálicos, adición de ácido láctico, etc. (González Flores, María D. 2000).

Tipos de rones cubanos.

El ron cubano en la actualidad, constituye ya un tipo definido de producto dentro de la familia de los rones mundiales; sus características generales lo identifican como un ron ligero de aroma muy fino y

sutil, sabor ligeramente dulzón y apropiado para tomar tanto solo, como mezclado con bebidas refrescantes o cócteles.
El aroma de los rones cubanos difiere sustancialmente de los del tipo Jamaica, Demerara y los rones de melazas de remolacha; en tanto que estos tienen aroma intenso y penetrante, en los rones cubanos el aroma es menos intenso y poco penetrante, aunque en sentido general muy perdurable. (Rodríguez, José L. 1987)
Atendiendo al color, al grado de añejamiento, al dulzor y a otras características menos definibles, los rones cubanos pueden dividirse perfectamente en diferentes clases (Rones Añejo, Rones Carta Blanca, Rones Carta oro, Rones refinos, Rones Palmas, Rones Viejos o Extra Secos, Rones Vinados, Rones Caña).
La forma de tipificar los rones para alcanzar las características específicas a las que el consumidor se ha habituado, se logra mediante una complicada mezcla de materias primas, en la cual la proporción y la edad del aguardiente es muy importante. (Fleites, José M. 1969)

Calidad del ron.

El ron como producto terminado debe cumplir una serie de exigencias que garantizan su calidad; entre ellas:Olor y sabor: característicos del tipo y grado y libre de olores y sabores extraños.
Aspecto:traslúcido, libre de turbiedad, partículas en suspensión y sedimentos.
Color: característico del tipo que se trate.
Además, a cada tipo de ron en particular se le determina: grado alcohólico, acidez total, contenido de ésteres, aldehídos, alcoholes superiores, extracto seco, metanol. (NC 83-01. 1984)

PARTE EXPERIMENTAL:

Teniendo en cuenta que son varias las etapas del proceso a través de las cuales se incrementa el contenido de los iones metálicos, en el ron que se va a envasar, surge la necesidad de plantear como una de las alternativas tecnológicas a aplicar, la desmineralización de ese producto (ron), previo a su etapa de embotellado, para lo que se propone, incorporar a la tecnología existente, la etapa de DESMINERALIZACIÓN EN UNA COLUMNA DE INTERCAMBIO IONICO, con una Resina de Intercambio Catiónico fuerte, de operación en ciclo sódico.

A fin de experimentar los resultados que se obtendrían con una columna de intercambio iónico, con la resina del tipo mencionado, con vistas a su escalado o extrapolación, se realizaron experiencias a escala de laboratorio en dos columnas y a dos alturas diferentes de lecho, trabajándose a tres valores de flujo en cada una de ellas, con Ron Añejo 7 años, caracterizando el mismo antes y después de su paso por la columna.

Los valores de altura del lecho fueron: 3.0 y 6.0 cm, en tanto que los valores de velocidad del fluido a través de estos, a los cuales se experimentó, fueron: 10 m/h, 6.18 m/h y 4.12 m/h, realizándose de forma preliminar 6 corridas (A,B,C,D,E,F), tomando como referencia la muestra original. Los resultados de las determinaciones realizadas tanto a la muestra original como a las muestras tratadas, con vistas a su caracterización, se exponen a continuación:

Los análisis realizados arrojaron los resultados que se muestran en las TABLAS I y II.:

TABLA I. RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS PRELIMINARES EN COLUMNAS A DIFERENTES CONDICIONES DE TRABAJO ESTABLECIDAS, SEGUN LA LITERATURA.

Corrida	Patron	A	B	C	D	E	F
Cont. de Ca (ppm)	1.921	0.419	1.386	0.314	0.441	0.379	0.164
Cont. de Mg (ppm)	0.573	0.201	0.175	0.142	0.194	0.059	0.039
Cont. de Fe (ppm)	0.189	0.219	0.186	0.189	0.193	0.200	0.209
Cont. total (ppm)	2.683	0.839	1.747	0.645	0.828	0.638	0.412
% Remoc.	–	68.72	34.88	75.95	69.13	76.22	84.64
Color	0.8489	0.819	0.798	0.804	0.8083	0.7665	0.8036
Turbidez	0.0128	0.017	0.018	0.012	0.0085	0.0049	0.0072

Teniendo en cuenta primeramente el porciento de remoción y cuidando además de que la variación en los demás parámetros no afecte la calidad del ron, se seleccionaron como mejores variantes la C, E y F.

Replicándose éstas tres corridas se obtuvieron los resultados siguientes:

TABLA II. REPLICA DE LOS RESULTADOS DE LAS MEJORES EXPERIENCIAS PRELIMINARES EN COLUMNAS, DE LA TABLA I, A DIFERENTES CONDICIONES DE TRABAJO ESTABLECIDAS, SEGUN LA LITERATURA.

Corrida	Original	C	E	F
Contenido de Ca (ppm)	1.512	0.638	0.741	0.447
Contenido de Mg (ppm)	0.531	0.224	0.240	0.084
Contenido de Fe (ppm)	0.294	0.201	0.133	0.137
Contenido total (ppm)	2.337	1.063	1.114	0.668
% Remoción	–	54.51	52.33	71.41
Color	0.6261	0.5711	0.6246	0.6254
Turbiedad	0.0343	0.0348	0.0307	0.0321
Brix (%)	13.3	12.6	13.3	13.3
I. Refracción	1.3530	1.3520	1.3530	1.3530
Ph	4.24	4.64	4.55	4.36
Conductividad *100 μs	0.669	0.693	0.692	0.695

Otras determinaciones realizadas a las corridas:
Pruebas organolépticas:
Las tres corridas arrojaron iguales resultados.
Olor: Agradable, característico.
Sabor: Característico.
Aspecto: Traslúcido, típico.
Se observa en la tabla que la variante F conserva una alta remoción, siendo en ésta también donde se obtienen los mejores resultados en las propiedades medidas al ron.

Estrategia Metodológica para el Dimensionamiento de la columna de intercambio iónico.

Los parámetros fundamentales de la columna, asi como la estrategia metodológica para el dimensionamiento sobre la base de los resultados experimentales obtenidos en estudios anteriores a escala de laboratorio, se ofrecen a continuación.

Datos para el diseño:

Flujo a procesar: $Q = 1.575\ m^3/h$ Velocidad ficticia de operación: $V_0 = 4.12\ m/h$
$H_{lecho} / D_{interior} = 2.84$ Remoción: 71 – 84 %

Datos ofrecidos por la empresa comercializadora de la resina: (Documentación Técnica Comercial.1996)

Tipo de resina: Purolite C-100
Contralavado:
- Tiempo: Tc = 20 min.
- Volumen de agua a utilizar: $Va = 1.33\ m^3/m^3$ de resina
- Expansión de la cama: E = 50%

Regeneración:
- Tipo de regenerante: Solución de NaCl al 8% (60 g/l)
- Nivel de regeneración: N = 4.88 Kg de NaCl / m^3 de resina
- Tiempo: Tr = 15 min.

Enjuague:
- Tiempo: 30 min.
- Volumen de agua a utilizar: $Va = 2.0\ m^3/m^3$ de resina

Los cálculos del diseño realizado permitieron arribar a los siguientes resultados:

Área del lecho: $A = 0.382\ m^2$
Diámetro del lecho: $D = 0.697\ m$
Altura del lecho: $Hl = 1.979\ m$
Volumen del lecho: $Vl = 0.755\ m^3$
Altura total de la columna: $H_{total} = 2.96\ m$

Contralavado:
Flujo de agua: $Fa = 3.012\ m^3/h$

Regeneración:
Flujo de regenerante: $Fr = 0.252\ m^3/h$

Enjuague:

Flujo de agua: $Fa = 3.02\ m^3/h$
Diámetro de los orificios de la parrilla: $do = 0.28*10^{-3}m$
Material de construcción de la columna:

Se necesita un material que sea resistente tanto al alcohol etílico (41% v/v), como como a la solución regenerante. Se debe utilizar acero inoxidable especial con aproximadamente un 17% de cromo y pequeñas cantidades de titanio o molibdeno. De acuerdo a lo anterior se proponen los aceros 316 y 321
.

Verificación de las condiciones hidrodinámicas de trabajo durante la fluidización del lecho.

Durante la regeneración y el enjuague la columna trabaja como un lecho fijo, pero en el contra lavado opera como un lecho fluidizado.
Para la operación como lecho fluidizado se hace necesario verificar el cumplimiento de las condiciones hidrodinámicas, a partir de:
Velocidad ficticia: Vo = $1.14*10^{-3}$ m/s
Velocidad crítica: V_{OC} = $3*10^{-5}$ m/s
Velocidad de arrastre: $V_{OA} = 2.5*10^{-3}$ m/s
Demostrándose que se cumple que: $V_{OC} < V_O < V_{OA}$. Por consiguiente se trabajará en lecho fluidizado, sin que ocurra el arrastre.

Propuesta del sistema de flujo asociado a la columna.

La instalación de la columna de intercambio iónico trae consigo una modificación al sistema de flujo que actualmente existe.

La introducción de la columna en el sistema se facilita porque esta tecnología cuenta con muchas conexiones móviles, mediante mangueras y presillas de seguridad y utilizando la bomba que actualmente existe en este sistema, la que tiene capacidad suficiente para contrarrestar el incremento de caída de presión que se introduciría con la Columna de Intercambio Iónico.

Datos para el cálculo:

Longitud de tubería: L = 39 m Diámetro nominal: 3/4"
Diámetro interno: D = 20.93 mm Material de la tubería: Acero Inoxidable
Accesorios:
3 codos de 45^0 4 codos de 90^0
5 válvulas de globo (completamente abiertas)
Propiedades del fluido:
$\mu = 1.6*10^{-3}$ Pa.s $\rho = 935$ Kg/m^3
Flujo del sistema: 1.575 m^3/h
Lecho de intercambio iónico:
Vo = 4.12 m/h = $1.14*10^{-3}$ m/s h = 1.979 m

Parrilla:
$\phi_P = 0.025$ e = $1*10^{-3}$ m do = $0.28*10^{-3}$
Partículas esféricas:
$\varepsilon = 0.4$ $\phi = 1$ Dp = $0.75*10^{-3}$ m
Caída de presión en los filtros:
ΔP_{FP} = 30397.5 Pa ΔP_{UF} = 7599.37 Pa
Carga nominal de la bomba: 20m (Según datos de chapa)

$$H = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho * g} + \frac{\Delta\alpha * V^2}{2 * g} + hp_{total} \qquad \Delta P = 0 \qquad \Delta V = 0 \qquad \alpha \cong 1$$

$H = \Delta Z + hp_{total}$ $\Delta Z = 1.4$ m

$hp_{total} = hp_{tubería} + hp_{filtros} + hp_{columna}$

$hp_{tubería} = 9.08$ m

$hp_{filtros} = \frac{\Delta P_{FP}}{\rho * g} + \frac{\Delta P_{UF}}{\rho * g}$ $hp_{filtros} = 4.146$ m

$hp_{columna} = hp_{lecho\ fijo} + hp_{parrilla}$

$hp_{lecho\ fijo} = 0.0058$ m $hp_{parrilla} = 0.00034$ m $hp_{columna} = 0.00614$ m

$hp_{total} = 9.08 + 4.146 + 0.00614$ $hp_{total} = 13.23$ m

$H = 1.4 + 13.23$ $H = 14.63$ m

Se cumple que: $H_{sistema} < H_{bomba}$

Por consiguiente como ya se expuso la bomba actual es adecuada para el nuevo sistema de flujo que se propone.

Además del sistema de flujo principal para la operación, la columna lleva asociado un sistema auxiliar para el mantenimiento del lecho.

A continuación se ofrece una propuesta del sistema auxiliar.

El mantenimiento del lecho consta de tres etapas: contralavado, regeneración y enjuague.

El contra lavado se realizará con agua tratada, bombeada a la columna desde el tanque de almacenamiento de agua ; a través de una conexión móvil con la bomba empleada para la recepción del aguardiente y el alcohol. Esta bomba trabaja esporádicamente, su capacidad ($11 m^3/h$) se ajusta al requerimiento y cuenta con varias entradas y salidas, una de ellas libre actualmente.

La solución regenerante se preparará en un tanque plástico elevado, del cual fluirá por gravedad, a través de una tubería del mismo material, hacia la columna. Debido a las características de la solución ($0.063\ m^3$ al 8%), la preparación de la misma se realizará de forma manual. El tanque a utilizar es un envase reciclado de los aditivos importados para el ron; tiene una capacidad de $0.1\ m^3$ y es de PVC, material resistente a la corrosión salina.

El enjuague se realizará con la misma bomba utilizada para el contra lavado, pero esta vez se tomará el agua tratada de un tanque habilitado con este fin; lo que permitirá no afectar el volumen de agua destinado a la producción. El tanque mencionado se encuentra en la ronera, ya que antiguamente se utilizaba en la confección de la maceración de pasas; aditivo que hoy en día se importa. Dicho tanque es de acero inoxidable y tiene una capacidad de $1.58\ m^3$.

Tanto el agua como la solución de desecho saldrán de la columna por tuberías plásticas, hacia la zanja de desagüe.

Los aspectos de diseño de la columna de Intercambio Iónico y las posibilidades de su inclusión en el sistema de flujo actual, ponen de manifiesto la factibilidad técnica de la propuesta realizada, para la que se propone a continuación su análisis económico, a fín de demostrar también su factibilidad económica.

ANÁLISIS ECONOMICO DE LA VARIANTE TECNOLÓGICA PROPUESTA.

Para la introducción de la columna de intercambio iónico en la tecnología actual de producción del ron Mulata, se necesitan los siguientes recursos:

Material PVC:

- Tanque de capacidad 0.063 m3
- 11 m de tubería
- 3 válvulas

Material acero inoxidable:

- Tanque de capacidad 1.5 m^3
- 7 m de tubería
- 3 válvulas de cuña
- 2 té
- 2 codos de 90^0

Mangueras especiales: 6 m

De dichos recursos sólo se deben comprar las tuberías y accesorios de acero inoxidable; ya que los demás se encuentran en el almacén de la ronera.

De lo anterior el costo estimado de inversión será: $CI = C_{columna} + C_{tuber.\ y\ acces.} + C_{resina}$

<u>Costo de la columna:</u>

Para la construcción de la columna se debe utilizar acero 321, por ser el más barato de los dos materiales propuestos.

Los parámetros de la columna son: H = 3.0 m D = 0.7 m $e = 1*10^{-3}$ m

$V_{material\ a\ utilizar} = V_{material\ cilindro} + V_{material\ parrilla}$

$V_{material\ cilindro} = 0.00736\ m^3$ $V_{material\ parrilla} = 0.384*10^{-3}\ m^3$

$V_{material\ a\ utilizar} = 0.00774\ m^3$

Precio del acero (en 1992): P_{acero} = 1700 libras esterlinas/ T = 2570.91 $/T

$M_{acero} = \rho_{acero} * V_{material\ a\ utilizar}$ $\rho_{acero} = 7812.65\ Kg/m^3$

$M_{acero} = 60.469$ Kg

Costo del acero = $P_{acero} * M_{acero}$ Costo del acero = $ 155.46

Costo actual = $Costo.original * \dfrac{I_{COSTO.ACTUAL}}{I_{COSTO.ORIGINAL}}$ $I_{COSTO.ACTUAL} = 389.2$

$I_{COSTO.1992} = 358.2$

Costo actual del acero = $ 168.83

Costo de construcción, instalación y montaje del equipo: $ 79.35

$C_{columna}$ = $ 248.18

<u>Costo de tuberías y accesorios:</u>

Tubería:

7m * 2.2 $/pie * 1 pie/0.304 m = $ 50.65

Accesorios:

Válvulas: 3*($ 55.0) = $ 165.0 Codos: 2*($ 3.5) = $ 7.0

Té : 2*($ 7.0) = $ 14.0

$C_{tuber.\ y\ acces.}$ (en 1967) = $ 236.65 $I_{COSTO\ 1967} = 109.1$

$C_{tuber.\ y\ acces.}$ (Actualizado) = $ 844.21

<u>Costo de la resina:</u>

$V_{resina} = 0.8\ m^3 = 25.05\ pie^3$ $P_{resina} = 72.42\ \$/pie^3$

$C_{resina} = V_{resina} * P_{resina}$ C_{resina} = $ 1814.12

CI = $ 2906.51

Se estima que la resina debe regenerarse cada tres meses; por lo que el costo anual del regenerante será:
Cantidad de regenerante: $M_{regenerante}$ = 3.793 Kg de NaCl
Precio del regenerante: $P_{regenerante}$ = 0.39 $/Kg
$C_{regen.} = (M_{regenerante} * P_{regenerante}) * 4$ veces/año $C_{regen.}$ = 5.92 $/año
El costo de la mano de obra no se afecta, ya que para encargarse de la operación de la columna no es necesario un nuevo empleado; sino que será atendida por los que existen actualmente en la ronera.
A continuación se ofrecen algunos datos que demuestran los beneficios que puede traer la instalación de la columna de intercambio iónico.
Cantidad de producto rechazado hasta el momento, por sedimentación (en un intervalo de tiempo de un año):

1 lote de 420 cajas; 1 lote de 130 cajas; 1 lote de 137 cajas
(cada caja contiene 12 botellas) por lo que el total es de: 8244 botellas

Cantidad de dinero perdido:

Tapa: $ 0.12
Etiqueta: $ 0.80
($ 0.92 por cada botella)

total: $ 7584.48

Es decir, el ron rechazado fue necesario volverlo a filtrar y embotellar, perdiéndose $ 7584.48 solo por concepto del tapado y el etiquetado. Esto, sin incluir el ligero incremento del costo de filtrado y a largo plazo el deterioro de las placas de los filtros, que tienen un valor de $ 1.0 cada una.

Se observa que el dinero perdido en un año debido a los rechazos de ron sedimentado es 2.6 veces superior al costo de inversión de la variante tecnológica propuesta.

CONCLUSIONES:

1. Teniendo en cuenta el incremento del contenido de Ca y Mg en el ron a traves de diferentes etapas del proceso tecnológico para su elaboración, causantes de la formación de sediemntos durante su almacenamiento, resulta necesario una etapa de desmineralización que permita niveles en el contenido de calcio y magnesio, muy inferiores al valor límite que se establece de 1 ppm, para asegurar que en el incremento del mismo, debido al material de los envases, durante su almacenamiento, no sobrepasar el límite que se establece.
2. Las experiencias de laboratorio en columnas de intercambio con Resina Purolite C-100, ponen de manifiesto la efectiva remoción de iónes (Calcio y Magnesio) en el Ron, sin afectación a sus propiedades organolépticas, permitiendo establecer además la metodología a seguir para el cálculo de las relaciones geométricas e hidrodinámicas y parámetros de operación, para su extrapolación al diseño de columnas a otras escalas.
3. Al emplear una columna de intercambio iónico operando con la resina catiónica fuerte Purolite C-100, se disminuye considerablemente el nivel de iones metálicos en el ron; sin afectar las propiedades organolépticas del mismo.
4. La variante tecnológica propuesta para la producción de ron Mulata es factible tanto técnica, como económicamente.

RECOMENDACIONES:

1. Realizar un estudio en el laboratorio de la ronera con el objetivo de establecer el tiempo óptimo en que puede trabajar la resina sin agotarse.
2. Realizar el hinchado de los toneles con agua tratada.
3. Utilizar en la etapa de filtración y ultrafiltración un medio filtrante inerte.
4. Construir una columna desmineralizadora de ron, cargada con resina Purolite C-100, acorde a las especificaciones obtenidas del diseño, que se brindan, e instalarla en el actual sistema de flujo.

BIBLIOGRAFIA:

1. Gómez R.L., Martínez G.M., Lugo F., Abrahantes O., (2000). Trabajo presentado en la I Conferencia Internacional de la Facultad de Química y Farmacia de la UCLV. Cuba. .
2. Queris Hernández, Oscar; (1998). Tratamientos con carbón activo de los aguardientes de caña; Tesis presentada en opción al título académico de PhD en tecnología de los alimentos; Universidad Politécnica de Valencia; 1998; pág. 1.
3. González Flores, María D. (2000) Ponencia presentada en el VI Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña; La Habana; Cuba. Junio del 2000.
4. Rodríguez, José L.(1987). Curso de tecnología de las bebidas destiladas; I.I.I.A.; Ciudad Habana; pág. 5, 6.
5. Fleites, José M. (1969). El ron de Cuba; Revista Industria Alimenticia; Vol.1, # 1;
6. NC 83-01. (1984); Especificaciones generales de calidad para los diferentes tipos de rones.

"EL ALCOHOL COMO COMMODITY INTERNACIONAL"

"FUEL ALCOHOL AS AN INTERNATIONAL COMMODITY"

Heidy Rodriguez Ramos
Teléfono: (011) 3061-2950
Dirección: Rua Oscar Freire 1961, apto 124, São Paulo – SP, CEP: 05409-011
E-mail: heidyramos@hotmail.com

Resumen

En el presente trabajo se trata la cuestión de la transformación del alcohol en *commodity* internacional. Para ello, se requieren dos condiciones fundamentales, en primer lugar, la creación de una Bolsa que comercialice contratos futuros de alcohol entre países, siendo de extrema importancia para que Brasil se inserte en este contexto como un gran exportador de este producto. En segundo lugar, es imprescindible la producción de alcohol por diversos países, para que sea eliminada la inestabilidad e inseguridad con relación a la oferta del producto. De esta manera, los países consumidores, productores y exportadores de alcohol, constituyen uno de los pilares para que se creen tales mercados. Para entender mejor la experiencia de Brasil, se presenta un recuento del sector azucarero desde el siglo XIX, evidenciando las experiencias y procesos por los cuales atravesó el país hasta la actualidad. Es de destacar, el Programa Nacional de Alcohol – Proálcool, como la principal estrategia del gobierno para la utilización del alcohol a gran escala. Seguidamente, se señalan algunas particularidades sobre las experiencias brasileñas en el proceso tecnológico de producción de alcohol. Se hace un breve análisis de los factores que llevaron a Brasil a ser el mayor productor de alcohol del mundo, destacándose las principales fuerzas que inciden en esa transformación y cómo ellas actúan para que el país entre en este nuevo contexto internacional.

Palabras clave: Alcohol, commodity, sector sucro-alcoholero, Proálcool.

Abstract

In this paper, the transformation of alcohol into an international commodity is discussed. Two main conditions being required for that . The first one is the creation of a stock exchange that trades future contracts of alcohol. This is extremely important for Brazil to be inserted in this context as a great exporter. Secondly, alcohol must be produced by several countries, to eliminate the instability and insecurity of its offer. Therefore, the consuming, producing and exporting countries are the basis for the creation of these markets. For a better understanding of Brazil´s experience, a review of the sugar sector history since eighteenth century is presented. We remark that the "National Alcohol Program" – best known as "Proalcool" - was the main strategy of Brazilian Government to use alcohol in a large scale. Some interesting points about the Brazilian experience on the technological processes for its production are also presented. In a brief analysis, we explain the main reasons that led Brazil to be the greatest producer and relate them on the transformation of alcohol into a commodity, as well as the insertion of Brazil in this new international context.

Keywords: commodity, alcohol, sugar sector, Proálcool

1. INTRODUCCIÓN

La experiencia de Brasil a lo largo de muchos años produciendo alcohol, ofrece hoy al país una enorme habilidad y un gran potencial para promover este mercado a nivel internacional. Es por eso la importancia y la necesidad de que el alcohol sea un *commodity* comercializado en alguna Bolsa internacional.

El creciente interés de los países en este producto es justificado principalmente por los efectos favorables al medio ambiente, aspecto que hoy es altamente discutido en todas las esferas y constituye una gran preocupación para innúmeros países, entre ellos Estados Unidos, la Unión Europea y Japón. Acorde a eso, el protocolo de Kyoto ratifica el comprometimiento de los países en controlar las emisiones de dióxido de carbono, el cuál fortalece la viabilidad del alcohol, por ser un combustible limpio y renovable.

Es importante destacar como otra ventaja, la disminución de la dependencia de la importación de petróleo, proporcionando a los países mayor autonomía en sus matrices energéticas, mediante los inherentes riesgos económicos y políticos actuales.

Para esto, la creación de un mercado internacional de futuros, será la consecuencia del desarrollo de nuevos países productores y exportadores de alcohol. Por otro lado, la iniciativa del Gobierno y de las Empresas brasileñas, será fundamental, no solo desde el punto de vista de inversiones, como también en una planificación bien estructurado para que eso se torne viable.

2. EL SECTOR SUCRO-ALCOHOLERO EN BRASIL

La tradición de Brasil en la producción de azúcar y alcohol, se remonta a fines del siglo XIX. En esta época, el alcohol ya tenia un papel importante como principal subproducto del azúcar, aunque no formaba parte de la matriz energética del país. Su uso se limitaba solamente al consumo doméstico.

A partir de 1930, ocurrió un importante avance en relación a la concepción del alcohol y su utilidad, pasando a ser adicionado a la gasolina en pequeñas proporciones. En esta época también sucedieron importantes transformaciones en el sector sucro-alcoholero. La más importante de ellas, fue el surgimiento del Instituto de Azúcar y Alcohol – *IAA*, en 1933, con la principal función de controlar la producción de azúcar, expandir la producción de alcohol y perfeccionar las tecnologías del sector, con el objetivo de aumentar las exportaciones brasileñas de azúcar.

En la segunda mitad de la década de 70, el alcohol pasó a tener una mayor importancia en la política energética de Brasil, debido a la vulnerabilidad del país frente al aumento del precio del barril de petróleo, por los países miembros de la OPEP, ocurrido en 1973. Por tal motivo, la utilización del alcohol como combustible, se tornó la principal alternativa para disminuir el desequilibrio en la balanza comercial del país, que importaba 80% del petróleo consumido.

La principal medida fue la creación del Programa Nacional de Alcohol – *Proálcool*, en el año de 1975, basado en diversos estímulos y subsidios por parte del gobierno, tanto para los azucareros como para la industria automovilística, todo esto con la finalidad de viabilizar el programa que prometía ser el propulsor de la utilización en gran escala del alcohol.

De acuerdo con Moraes(2000), en el proceso de implementación del programa, son delimitadas dos fases. La primera corresponde al periodo de 1975 a 1978, que destaca la obligatoriedad de la adición de alcohol anhidro a la gasolina comercializada (en un 20%, pasando después a 22%[1]), la construcción de destilerías anexas con el objetivo de aumentar la producción de alcohol y el desarrollo de motores de alcohol anhidro, por parte de la industria automovilística.

La segunda fase del *Proálcool*, iniciada en 1979 con la segunda crisis del petróleo, corresponde a la producción de alcohol hidratado en gran escala, para su utilización en carros movidos exclusivamente con ese combustible. Consecuentemente, a partir de 1980, el mercado de carros con esas características se expandió, de modo que en 1984, los carros de alcohol representaban el 94.4% de la producción de las

[1] UNICA, "Combustível limpo e renovável".

montadoras[2]. Entre 1983 y 1988, constituyen más del 80% de las ventas, principalmente por la oferta de combustible y vehículos subsidiados por el gobierno, con el objetivo de disminuir el consumo de gasolina.

La *desregulación de la economía*[3], iniciada en el año de 1988, provocó una enorme crisis en el sector, que todavía es apreciada en la actualidad, con relación a la separación del gobierno de las políticas del sector, eliminándose paulatinamente todos los subsidios, financiamientos, estímulos y reglamentaciones. Para agravar todavía más la situación, el precio internacional del petróleo en estos años disminuyó, reduciendo el diferencial de precio entre la gasolina y el alcohol, ahora no tan ventajoso. Además de eso, el aumento del precio internacional del azúcar entre 1989 y 1990, le dio a los azucareros la oportunidad de vender en dólar en el mercado internacional, minimizando la producción y oferta de alcohol, agravada por la falta de competitividad del producto en el mercado interno. Por tal motivo, hubo escasez del combustible en el mercado, influenciando negativamente en la producción y venta de carros de alcohol, provocando una disminución de la producción del 63% en 1988 hasta llegar a 0.09% en 1998[4].

En los últimos años se evidencia una retomada en la preocupación de estimular el uso del alcohol como combustible. Un indicador es el aumento en la producción de carros de alcohol, que fue de 18.335 unidades en 2001 para 56.068 en 2002[5].

3. PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ALCOHOL Y LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS

Básicamente, el alcohol etílico (etanol) es producido a partir de vegetales ricos en carbohidratos, como caña de azúcar, remolacha, maíz, etc.

La productividad de cada materia prima depende de sus propias características, de los factores climáticos, de la tecnología empleada en su plantación y cultivo, y del proceso de producción final.

Podemos clasificar las materias primas del alcohol etílico en cuatro grupos:

1. Caña de azúcar, remolacha y sorgo sacarino (ricos en sacarosa) y pulpa de frutas (rica en glucosa y fructosa): son los llamados *directamente fermentables*.
2. Yuca, boniato, maíz, cereales, babaçu[*] y papa inglesa (ricos en almidón), madera, bagazo de la caña, paja de arroz, cáscara de maní y maíz (ricos en celulosa): son conocidos como *indirectamente fermentables*, es decir, necesitan de un tratamiento químico o biológico para la transformación del almidón o celulosa en azúcares fermentables;
3. Gases de petróleo y de hidrocarburo no saturados como el eteno; producción que se realiza en petroquímicas (Ej. Arábia Saudita);
4. Carbón mineral (Ej. África del Sur);

Abordaremos apenas los dos primeros grupos de materias primas, cuya obtención de alcohol es realizada a partir de un proceso llamado de *fermentación*.

La *fermentación*, es la forma más común para la fabricación del alcohol, es un proceso compuesto por las siguientes etapas:

1. *Preparación del sustrato* – Es obtenido un caldo mediante la molida de la materia prima, en el caso de las fuentes *lignocelulósicos*, el caldo es obtenido por un proceso de hidrólisis; se puede también usar la miel final que es un subproducto de la fabricación de azúcar.
2. *Tratamiento del caldo* – Se eliminan las impurezas mediante un tratamiento químico y térmico de la mezcla, obteniendo el llamado mosto, un caldo rico en azúcares listo para la fermentación.

---

[2] Idéntico.
[3] Moraes.
[4] UNICA, "Combustível limpo e renovável".
[5] Panorama Brasil.
[*] Planta que produce aceite.

3. *Fermentación* – Se obtiene el alcohol etílico en contenidos bajos a partir de reacciones químicas del mosto (catalizadas por las levaduras); otros subproductos también son obtenidos en esta etapa como dióxido de carbono, alcoholes superiores, glicerina, ácido láctico, acetonas, entre otros.
4. *Centrifugación* – Se realiza la separación entre el mosto y la parte sólida (esta etapa puede ser eliminada en algunos casos).
5. *Destilación* – Se separa el alcohol etílico por destilación, se obtiene el alcohol hidratado cuyo contenido es de aproximadamente 94°GL y, además de aplicaciones domésticas y otras utilidades, es usado en carros movidos exclusivamente a alcohol; por un proceso de deshidratación, se obtiene el llamado alcohol anhidro, que es prácticamente 100% alcohol y puede ser adicionado a la gasolina hasta un 25%, (según la experiencia brasileña).

4. ALCOHOL COMBUSTÍVEL PARA BRASIL Y OTROS PAÍSES.

Brasil es el mayor productor de alcohol del mundo con aproximadamente 14,4 billones de litros en la zafra 2003/04, de los cuales, 12,9 son aportados por la región Centro-Sur. Una muestra del crecimiento de esta región es que, en las últimas 6 zafras, las 10 mayores empresas sucro-alcoholeras aumentaron su participación en la fabricación de alcohol de 20% para más de 30%. Vea la Tabla No. I para más detalles.

Tabla No. I – Brasil: Producción de alcohol ***(en billones de litros)***

Años	*Norte-Nordeste*	*Centro – Sur*	*TOTAL*
1997/98	2,1	13,3	15,4
1998/99	1,6	12,3	13,9
1999/00	1,4	11,6	13,0
2000/01	1,5	9,1	10,6
2001/02	1,3	10,2	11,5
2002/03	1,4	11,2	12,6
2003/04	1,5	12,9	14,4

Fuente: Revista de Agronegócios Feb/04

Para la próxima zafra se prevé un mayor volumen de producción, en función de las inversiones realizadas por las empresas en nuevas áreas cañeras, por medio de adquisiciones y sociedades, ingenios reactivados, construcción de nuevas instalaciones, y como resultado de un buen nivel de tratamientos culturales. Por otro lado, hubo entrada de capital extranjero con la FDA, Coimbra, Glencore y Béghin-Say.

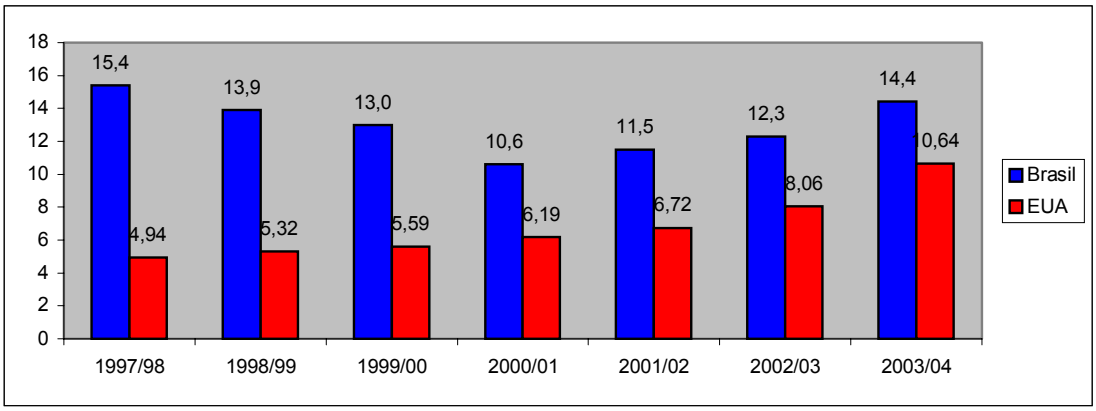
Según la opinión del presidente de la UNICA, Eduardo Pereira de Carvalho, el gobierno brasileño podría ayudar en la definición del papel del alcohol combustible en la matriz energética de Brasil. Además de jugar un papel importante en las negociaciones internacionales, con el objetivo de crear y expandir el mercado mundial de alcohol carburante; en los proyectos que se están desarrollando, como es el de biodiesel y el de la mezcla de alcohol anhidro al diesel, siendo ambos muy importantes para expandir el mercado, en la medida que pueda satisfacer las diversas necesidades de los países.

Con relación al mercado mundial de alcohol, los resultados son muy alentadores, teniendo en cuenta la evolución constatada en los últimos años. Según las proyecciones de la F. O Licht, en 2003 la producción fue de 37,8 billones de litros, evidenciándose un aumento del 15,6% en comparación con el año de 2002, en el que se registró una producción de 32,7 billones de litros. De acuerdo con estos resultados, se calcula un crecimiento del 9% en el 2003 con relación al 2002 y 6% en el 2002 con relación al 2001.

Entre los países que se destacan por tener un mayor crecimiento y que a su vez han contribuido decisivamente en la expansión de este mercado, se encuentran Estados Unidos con un crecimiento del 36%, al cual le sigue Brasil con un 10% , la Unión Europea con 9% y China con un 8%.

Aunque en la actualidad Brasil mantiene su posición de líder, es de señalar que el crecimiento de la producción en Estados Unidos lo coloca cada día más cercano a los niveles de producción del primero. Como resultado se produjo un incremento notable en la producción mundial. Vea el siguiente gráfico que compara la producción de Brasil y de Estados Unidos a partir de 1997.

***Gráfico 1 - Brasil y Estados Unidos: Producción de alcohol** (en billones de litros)*

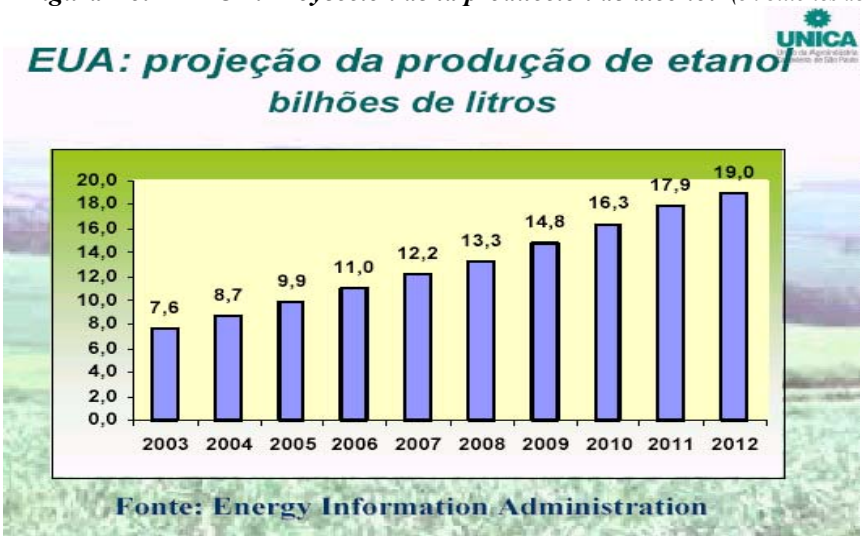


Fuente: Autora con datos de la Revista de Agronegócios Feb/04

El crecimiento de este mercado en los Estados Unidos, el cual es evaluado en USD$ 760 millones, puede explicarse teniendo en cuenta que el número de plantas industriales en los últimos tres años aumentó para 74 unidades. El país cuenta con una capacidad anual de producción de 13,8 billones de litros, lo que representa un incremento del 26,6%, cuando se compara con el año anterior, que fue de 10,09 billones de litros.

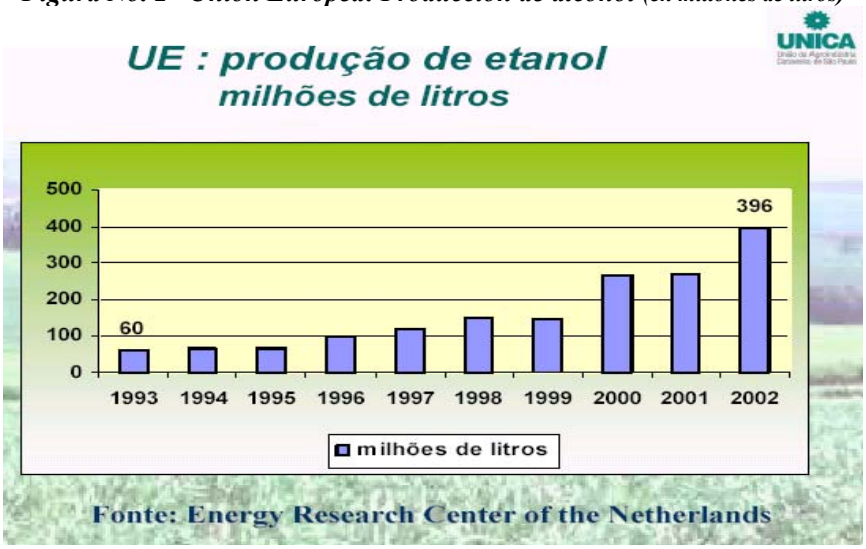
La siguiente figura muestra las proyecciones de crecimiento en los Estados Unidos para los próximos años.

***Figura No. 1 – EUA: Proyección de la producción de alcohol** (en billones de litros)*



La Unión Europea (UE), desarrolló un programa para la mezcla del 2% de alcohol a la gasolina hasta el año 2006 y 5,75% hasta el año 2111. Este programa demanda una necesidad de alcohol etílico carburante de 88,5 billones de litros en su primera etapa y 14,0 billones en la segunda etapa. Es de esperar que una buena parte sea adquirida mediante importaciones, debido a la pequeña capacidad actual de producción, lo cual se muestra en la siguiente figura.

***Figura No. 2– Unión Europea: Producción de alcohol** (en millones de litros)*



El mayor potencial de producción de alcohol en la Unión Europea, está concentrado en España, Francia y Suecia. El potencial medio está en Alemania, Italia, Reino Unido, Holanda y Finlandia , por su parte Bélgica, Dinamarca, Austria, Grecia, Irlanda, Portugal y Luxemburgo son los países que tienen una producción muy pequeña o inexistente.

Asia es una región de alto potencial de crecimiento en el consumo y producción de alcohol etílico carburante. China tiene una flota de 14 millones de vehículos que crece a un ritmo de 10% al año. El país comenzó a tomar decisiones con relación a la mezcla del alcohol a la gasolina y está estudiando las posibilidades de su mezcla con el diesel.

Japón también es un mercado con extraordinarias perspectivas, donde ya se están tomando decisiones sobre el uso del etanol. Un ejemplo es la ley creada en octubre del pasado año por el Ministerio de Medio Ambiente, que reglamenta la adición del 3% de alcohol a la gasolina. Esta ley tiene un carácter experimental, válida para las regiones de Osaka e Isla Hogaido y se considera que a partir de 2005 sea generalizada para todo el país.

Una característica del mercado japonés, es que es el único país que tiene previsto la importación total de alcohol carburante, para satisfacer su demanda potencial. En el caso de que Japón establezca obligatoria la mezcla de alcohol a la gasolina, para Brasil participar como suministrador de este mercado tendrá que invertir más de R$ 2,5 billones para atender la demanda anual japonesa de 1,8 billones de litros de alcohol, considerando una mezcla del 3%.

Para poder exportar alcohol anidro para Japón, Coimex Trading y Mitsui Corporation criaron una joint-venture y llegaron a acuerdos con los tres mayores grupos de Brasil: Copersucar, Cosan y Crystalserv.

De acuerdo con el consultor André Beer *"si Japón implementa ese proyecto en todas sus flotas de vehículos, habría un potencial de consumo de alcohol que excedería toda la actual producción brasileña".* Además de eso, explica que Brasil tiene todas las condiciones ideales para incrementar la producción de alcohol para el mercado externo, sin prejuicios al medio ambiente y a la producción de alimentos.

Otros programas de producción y consumo de alcohol etílico como combustible se iniciaron en países tradicionalmente productores de caña de azúcar, como la India y Tailandia.

Figura No. 3 – Mercado internacional de alcohol

En general, se aprecia un gran interés mundial con relación al uso del alcohol como combustible, lo que se evidencia en los esfuerzos realizados por diversos países en participar en esta dirección, que sin duda, se muestra como la mejor alternativa.

5. - ALCOHOL COMO *COMMODITY* INTERNACIONAL

El término inglés *commodity* es usado para designar mercancías con las siguientes características:

1. Son producidas en gran escala y en diversos lugares;
2. Tienen calidad y características standarizadas;
3. Son negociadas en mercados con una alta liquidez;

Algunos ejemplos de *commodities* son: café, soya, azúcar, petróleo, acero, aluminio y cobre.

Los *commodities* pueden ser negociados en mercados derivativos a través de la compra y venta de contratos futuros y de opciones. Esos mercados, altamente pulverizados, competitivos y con alta liquidez, no se caracterizan por la comercialización física de la mercancía. Funcionan básicamente como intermediarios entre los productores y los consumidores finales, auxiliándolos a través de la reducción de los riesgos generados por la alta volatilidad de los precios.

La Bolsa de Mercancías & Futuros (BM&F) de São Paulo, negocia algunos *commodities* en Brasil, dentro de ellos, el alcohol anhidro.

Algunos *commodities* son comercializados en mercados internacionales como por ejemplo, el petróleo, el oro, el café y el azúcar. Las principales bolsas que negocian tales mercancías son la Bolsa de New York y la Bolsa de Londres.

El alcohol, que es un combustible renovable con grandes ventajas ambientales, todavía no es un *commodity* internacional, o sea, todavía no es negociado en ninguna Bolsa internacional, aunque en breve se espera su comercialización en la Bolsa de New York (CSCE).

La transformación del alcohol en *commodity* internacional tiene mucha importancia para los principales agentes vinculados a este mercado, o sea, para los productores, exportadores, importadores y consumidores finales del producto. Además de eso, esa transformación también tiene gran relevancia estratégica para los países productores, como Brasil, y para los países que dependen de la importación de petróleo. Por otro lado, la necesidad de la existencia de un gran número de países productores de alcohol y de un mercado de alta liquidez, todavía es un problema en este proceso de transformación.

Pocos países tienen capacidad para producir alcohol para exportar. Grandes productores como los Estados Unidos, China y la India, a pesar de producir en volúmenes importantes, tienen que abastecer sus mercados internos crecientes. Muchas veces, la propia producción es insuficiente, teniendo que recurrir a importaciones.

Es en este contexto que Brasil aspira a ser un gran exportador. Además de ser el gran productor de alcohol en el mundo, posee productividad y potencial de crecimiento para exportar a otros países. Pero, para que se cree una bolsa internacional de alcohol, es necesario que otros países fabriquen ese *commodity* en cantidades suficientes para colocarlas en el mercado externo. De esta forma, se destaca la

importancia de que Brasil realice acuerdos con países como Australia, Cuba, Tailandia, Colombia, entre otros, con el objetivo de hacer inversiones en nuevos ingenios, exportando tecnologías y equipamientos, para que estos países tengan condiciones para producir y exportar alcohol.

La baja disponibilidad de alcohol en el mercado externo provoca una cierta inseguridad con relación a su oferta para los países que necesitan importar. Por otro lado, los productores acaban por no recibir garantías y subsidios necesarios a su producción. Ese mecanismo, es un círculo vicioso, y ha impuesto restricciones a la expansión del mercado mundial de alcohol y ha dificultado la creación de una bolsa internacional.

6. FACTORES RELACIONADOS

Diversos son los factores relacionados a la transformación del alcohol en *commodity* internacional. Brasil, con el mayor potencial de exportación de alcohol del mundo, tiene un papel de gran importancia en ese proceso. Se comentan a continuación, algunos factores positivos y negativos de esta posible transformación.

6.1 Factores Políticos y Económicos Externos

Las barreras proteccionistas, impuestas principalmente por los Estados Unidos y la Unión Europea, han dificultado las importaciones de alcohol de Brasil e impedido el desarrollo de esta producción en otros países cañeros. Los países desarrollados (EEUU, UE, Japón, etc), que tienen gran interés en utilizar alcohol como combustible por razones ambientales, proporcionan muchos subsidios a su producción, que es hecha a partir de materias primas de baja productividad y elevados costos, como el maíz y la remolacha.

Los sucesos del 11 de septiembre en New York, evidenciaron aún más los problemas de un orden económico excesivamente basado en un único energético, el petróleo, cuyas fuentes productoras están en regiones políticamente inestables, siendo bien clara la tendencia de crecimiento de los costos políticos y militares, para garantizar el abastecimiento del producto. Además, la comunidad científica afirma, que el petróleo ya inició su período de "agotamiento", caracterizado por una demanda superior al ritmo de descubrimiento de nuevas fuentes.

Los bajos precios del azúcar en el mercado internacional, debieran estimular también la producción y exportación del alcohol. Se trata de que, en los períodos de precios bajos del azúcar, la presión internacional de los países exportadores (Brasil, Australia, etc) contra los subsidios de los países desarrollados, pudiera aliviarse en la medida que se viabilice el uso de la caña para fabricar alcohol en lugar de azúcar.

6.2 Factores Ambientales

Los beneficios ambientales del alcohol usado como combustible, son de diferente carácter, todos ellos de gran importancia actual y sobre todo de grandes perspectivas.

De un lado está su contribución a los problemas ambientales “locales”. El alcohol etílico es un combustible de los llamados “oxigenados” por la elevada relación Oxígeno / Carbono de su molécula, lo cual le proporciona una menor emisión de monóxido de carbono durante la combustión. Este es un tema de primera importancia para el control de la calidad del aire en los grandes centros urbanos, afectado fundamentalmente por las emisiones gaseosas del transporte automotor.

De igual modo, la adición de alcohol etílico anhidro a la gasolina, le hace mejorar su “índice de octano”, en tal grado, que viabiliza la eliminación total del uso del Plomo Tetraetilo como mejorador, sustancia ésta de elevada toxicidad y de alto riesgo a la salud humana.

En Brasil se dispone de una extensa experiencia sobre el efecto del uso del etanol en la calidad del aire en las grandes ciudades como São Paulo. Diversos estudios muestran que el aumento del contenido de alcohol en la gasolina redujo sensiblemente la contaminación en São Paulo[6].

Por otra parte, está la contribución que el alcohol puede significar para resolver uno de los problemas "globales" de mayor interés actual. Se trata del llamado "efecto invernadero" que significa el progresivo aumento de la temperatura del planeta como resultado de la acumulación de gases en la atmósfera. El uso del alcohol, producido de una fuente vegetal como la caña de azúcar, en la medida que sustituye un combustible fósil como la gasolina, contribuye a la emisión neta de gases de "efecto invernadero" en este caso el dióxido de carbono. Los acuerdos internacionales alrededor de esta materia, en particular el llamado Protocolo de Kyoto, establece metas concretas para que los países reduzcan sus emisiones y, en esa dirección, el alcohol carburantes, se muestra como una alternativa importante.

En el caso de Brasil, con una utilización de alrededor de 13 millones de metros cúbicos de alcohol combustible, se estima que hace un aporte de siete (7) millones de toneladas de carbono equivalente dejadas de emitir a la atmósfera, cada año. En este cálculo, Czapski parte de un balance energético completo, en el que se tiene en cuenta toda le energía fósil empleada para la producción de la caña y su transformación en alcohol.

Son justamente estos beneficios ambientales, los que impulsan un interés creciente en todo el mundo por la utilización del alcohol como combustible automotor.

6.3 Factores Tecnológicos

La tecnología básica para producir alcohol etílico a partir de la caña es simple y antiguamente conocida. Lo interesante es que el perfeccionamiento tecnológico de los últimos años permite obtener hoy más de 80 litros de alcohol por tonelada de caña, lo que significa un potencial de más de 6.500 litros por hectárea y por año de ese combustible.

Desde el punto de vista de su utilización internacional como combustible, el principal potencial e interés está en el uso del alcohol como aditivo de la gasolina, sobre lo cual existe amplia experiencia de adicionar hasta 25% sin que para ello se requieran cambios en los motores. Esta aplicación requiere la deshidratación total del alcohol, para obtener el llamado alcohol anhidro o absoluto. En esa dirección, en la actualidad se cuenta con diferentes tecnologías de gran eficiencia para la deshidratación, como la de Etileno-Gilcol o la de Tamiz Molecular, cualquiera de las cuales sustituye a la tecnología tradicional que empleaba una sustancia tóxica para la deshidratación, el benceno.

Por su parte, la reciente entrada al mercado del motor bi-combustible (*flex-fuel*) que funciona con alcohol, gasolina o cualquier mezcla entre los dos combustibles abre una perspectiva aún mayor para el alcohol como producto de mercado. Esa tecnología ofrece al consumidor una opción alternativa en el momento de abastecer el vehículo, de acuerdo con la oferta y el precio de los combustibles[7].Téngase en cuenta que estos motores "flex" encuentran una aplicación inmediata casi únicamente donde ya existen sistemas de abastecimiento de alcohol, que son Brasil y algunos estados de los EUA.

Pensando más a largo plazo, las células de combustible a hidrógeno pueden llegar a jugar un papel importante. El alcohol, siendo una de las alternativas más interesantes como fuente para la obtención de hidrógeno, podrá tener una buena perspectiva en este contexto.

Sobre las fuentes para la adquisición de tecnologías, existen diversas alternativas en Europa, EUA y sobre todo Brasil, con la mayor experiencia en los últimos años. Incluso esas tecnologías de fabricación de plantas de alcohol, comienzan a ser transferidas para otros países. Es el caso de la empresa brasileña Dedini S/A Indústria de Base, que está negociando con empresas de la India, la venta de tecnología, se estima un movimiento de hasta US$ 21 millones[8] en los próximos dos años.

---

[6] Murgel
[7] Garrido
[8] Brito

6.4 Factores Naturales

Investigaciones recientes indican que el petróleo no podrá ser ofertado a precios viables por mucho tiempo y el alcohol, como combustible renovable, es un fuerte candidato a sustituir los combustibles fósiles utilizados en gran escala.

Otra cuestión importante es el carácter temporal de la producción de alcohol, directamente relacionado con la zafra de caña de azúcar. Por un lado, la oferta de alcohol puede sufrir fuertes cambios con el decorrer del año, siendo necesario mantener estoques reguladores para los periodos entre una zafra y el inicio de la siguiente. Por otro lado, la zafra ocurre en el período de seca, cuando la producción en las hidroeléctricas es insuficiente por la escasez de agua, (para países de producción hidroeléctrica como Brasil). En estos casos la quema del bagazo de caña molida puede servir para equilibrar la oferta de energía eléctrica en esa etapa. En otros países, esta coincidencia de la zafra cañera con el período seco, puede ser importante ante la pobre disponibilidad de piensos para la alimentación animal, que pueden ser sustituidos por subproductos de los ingenios.

6.5 Factores Geográficos y Logísticos

Al contrario del petróleo, las materias primas del alcohol (caña de azúcar, maíz, remolacha, celulosa, etc.), pueden ser producidas en muchos locales del mundo. Esto no solamente reduce la dependencia de los países que importan petróleo, como también facilita su distribución entre los locales productores y consumidores, disminuyendo sustancialmente los costos de transporte.

6.6 Factores Políticos Internos

La posición de los gobiernos de países productores de alcohol para la exportación, como Brasil, resulta fundamental para el desarrollo de la agroindustria alcoholera a través de políticas de estímulos y subsidios (financiamientos con intereses más bajos, reducción de impuestos de exportación, etc.) y, principalmente, dando credibilidad al sector, mediante la garantía del abastecimiento de los mercados consumidores, ya sean internos o externos.

Por otra parte, la adopción de medidas que incentiven la producción de alcohol, estarían plenamente justificadas en los países, por razones tanto ambientales como sociales, de generación de empleo, etc.

6.7 Factores Económicos Internos

La disminución de la importación de petróleo representa una gran economía de divisas para muchos de los países cañeros que estarían en condiciones de producir alcohol. En el periodo de 1976 a 2002, se estima que Brasil economizó aproximadamente USD $ 115 billones[9], considerando los intereses de la deuda externa. Además de eso, la exportación de alcohol también puede tener una fuerte relevancia para la balanza de pagamentos de los países productores. Contratos recientes con Japón, China[10] y otros países miembros del protocolo de Kyoto, prometen una gran entrada de dólares en Brasil en los próximos años.

El sector alcoholero representa una gran oportunidad para inversiones de capital de riesgo de los empresarios y esto podría ser viabilizado a través de la comercialización do alcohol en una Bolsa internacional.

La quema del bagazo de la caña de azúcar, además de generar energía eléctrica suficiente para el propio consumo de los ingenios productores de alcohol, podrá suministrar hasta 15% de la energía consumida en el país[11].

---

[9] Bertelli, L. G, "Várias opções de combustíveis", UNICA.
[10] Último Segundo.
[11] Revista Gleba, 2001.

6.8 - Factores Sociales

La agroindustria del alcohol, que va desde la siembra de la materia prima hasta la distribución final del combustible, genera una cantidad de empleos muy superior que el petróleo. Además de eso, se crean nuevos empleos indirectamente, como por ejemplo, en la industria automovilística y en la industria de máquinas agrícolas.

Este es un factor importante en muchos países cañeros, donde los problemas de la falta de empleo es uno de los temas de importancia decisiva. Este es también el caso de Brasil, donde la agroindustria cañera hace un aporte importante al generar alrededor de 1,3 millones de empleos[13]. De esos, más de 250 mil se sitúan en el campo,[14] proporcionando una mejor distribución de riquezas y controlando la presión sobre los grandes centros urbanos.

[13] Carvalho, E. P, "O vigor econômico da cana-de-açúcar", UNICA.
[14] Silva.

7. CONCLUSIONES

Es inevitable la sustitución de combustibles fósiles en lo que se refiere a la cuestión ambiental. Los países desarrollados y de altos niveles de contaminación al medio ambiente, tendrán que modificar sus matrices energéticas y buscar alternativas en los mercados externos. Un ejemplo de ello, es el estudio hecho por Japón, en el cuál se demuestra que la adición de 10% de alcohol a la gasolina y 15% al diesel, permitirá al país adecuarse al Protocolo de Kyoto, cuyo objetivo es la reducción de las emisiones de los gases causadores del efecto estufa.

Además de eso, la inseguridad que representa la oferta del petróleo, concentrado en apenas algunos países, ha preocupado a los gobiernos que buscan nuevas alternativas y soluciones para la energía.

Brasil, como mayor productor a nivel mundial, tiene gran interés en este proceso de transformación del alcohol en *commodity* internacional. Es por eso que su principal estrategia es expandir este mercado, el cual muestra un volumen de exportación bastante modesto, 5% de la producción nacional. La existencia de contratos futuros representan una seguridad muy grande para los otros productores, principalmente tratándose de la comercialización externa.

Una posición mas agresiva del gobierno brasileño en el ámbito internacional, sería fundamental para que otros países pasen a producir, consumir y exportar alcohol en gran escala. La adopción de líneas de créditos de Brasil a países interesados para la adquisición de tecnologías y equipos para producción de alcohol, no solo contribuiría a dicho objetivo, sino que tendría un aporte importante en la exportación del país.

REFERENCIAS

Brito, A, "Dedini vai exportar tecnologia de usina", Gazeta Mercantil,
Disponible en: http://www.udop.com.br/economia/materias/eco_24_02_35.htm

Czapski, S. (2004). Uso de etanol reduz emissão de carbono na atmosfera. Jornal Valor Econômico, suplemento 16 de Febrero, p. 12.

Garrido, J. (2004). Sucesso dos motores flexíveis pode acabar com carro monocombustível. Jornal Valor Econômico , suplemento 16 de Febrero, p. 7.

Informativo Técnico. (2001) - Revista Gleba "*Cana-de-açúcar. Agricultura poderá gerar energia limpa e barata*", no. 177, Ano 46.

Moraes, M A F D de. (2000). A desregulamentação do setor sucroalcooleiro no Brasil. Americana, SP: Caminho Editorial, pp. 68 - 85

Murgel, E M. (1990). Veículos Automotores. O Proálcool e a qualidade do ar. Rio de Janeiro, CNI, COA – SE.

Panorama Brasil. (2003). Oferta de álcool cresce menos que a demanda.
Disponible en: http://www.nocampo.com.br/news/enviar.asp?codigo=816

Revista de Agronegócios de Fundação Getúlio Vargas (2004) – Vol. 24 – Nº 2 - Febrero.

Silva, R M Altenfelder. (2002). "Insistir no acerto", Jornal Estado de São Paulo.

Último Segundo. (2003).
Disponible en: http://ultimosegundo.ig.com.br/useg/cidadebiz/artigo/0,,1261637,00.html

UNICA, Disponible en: http://www.unica.com.br

"PROPUESTA DE UN PLAN ESTRATÉGICO DE PRODUCCIÓN Y USO DE ALCOHOL CARBURANTE EN CUBA"

"A PROPOSAL OF AN STRATEGIC PROGRAM FOR THE PRODUCTION AND USE OF FUEL ALCOHOL IN CUBA"

Heidy Rodriguez Ramos
Teléfono: (011) 3061-2950
Dirección: Rua Oscar Freire 1961, apto 124, São Paulo – SP, CEP: 05409-011
E-mail: heidyramos@hotmail.com

Resumen

Tomando en consideración, que tanto para Cuba como para Brasil, la Agroindustria Azucarera es un sector de especial importancia, se estudian las peculiaridades de las agroindustrias de ambos países. En el caso de Cuba, por diversos factores, principalmente económicos, el sector se vio sumergido en una crisis que persiste hasta los días de hoy; y es por ello, que resulta interesante evaluar la conveniencia técnico-económica de la transferencia de tecnologías de Brasil, principalmente en lo que se refiere al uso del alcohol combustible. También se analiza las principales tendencias y países productores de alcohol combustible, su productividad en correspondencia con las materias primas disponibles, así como las perspectivas, que se evidencian en numerosos esfuerzos realizados, para potenciar las condiciones necesarias para el crecimiento de este mercado. Se concluye con la aplicación de un nuevo modelo de Planificación Estratégica, que propone los elementos básicos para el diseño de un programa de desarrollo del sector azucarero cubano, considerando las tecnologías y la experiencia de Brasil en la producción y uso de alcohol combustible.

Palabras claves: Planificación estratégica, alcohol carburante, sector sucro-alcoholero.

Abstract

The sugar agro-industry sector is of extreme importance for Brazil and for Cuba. We study its peculiarities in both countries. In Cuba, by several economical reasons, the sugar sector has been suffering crisis which perist even in the present days. Therefore, it is important to evaluate the technical and economical convenience to transfer technologies from Brazil, mainly the applications of alcohol as a fuel. We also analyze the main tendencies of the producer countries, their productivity corresponding to different stocks, and the efforts done to increase their international market. Making use of a new Strategic Planning model, the paper presents the basic elements for the design of a program of development in the Cuban sugar sector, based on the technologies and experiences of Brazil in the production and use of fuel alcohol.

Keywords: strategic planing, fuel alcohol, sugar sector

I) INTRODUCCIÓN

Tomando en cuenta que en Cuba la agroindustria de la caña de azúcar tiene un significado especial, debido a su importancia económica y social, así como por su íntima vinculación con las tradiciones históricas y culturales del pueblo cubano.

Por estas razones, el conocimiento de que también en Brasil la agroindustria azucarera, por su extensión territorial y elevados volúmenes de producción, tiene una importancia considerable en la generación de empleos y en las exportaciones, surgió la idea de estudiar la posibilidad de que algunas de las experiencias y tecnologías brasileñas, puedan ser trasferidas y aplicadas en Cuba.

Esto adquirió mayor interés, al conocer que, por una parte, el desarrollo de la agroindustria azucarera de Brasil, en los últimos tiempos, se relaciona de forma decisiva con un panorama de gran valor ambiental y estratégico, que es la producción de alcohol carburante, y por otra parte, que en Cuba la importación de petróleo y otros combustibles líquidos, representan una carga de gran peso en las importaciones del país.

Una formulación más precisa de las ideas abordadas, se logró mediante entrevistas directas con diversas autoridades y técnicos del sector azucarero de Brasil y de Cuba. Entre as entrevistas realizadas, resultaron de especial utilidad las de Alfredo Hondal y Nelson Labrada, Vice-Ministros del Ministerio del Azúcar de Cuba, y la de Antonio Padua, Director de la ÚNICA (União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo).

A partir de las consideraciones apuntadas, fueron establecidos los siguientes objetivos:

- ✓ Estudiar las características tecnológicas y enfoques estratégicos de la agroindustria de la caña de Brasil e identificar cuáles serían los factores que pueden resultar de mayor interés para aplicar en Cuba, considerando de manera especial la producción y uso de alcohol etílico carburante.
- ✓ Estudiar la situación y tendencias más recientes de este sector en Cuba, para evaluar las posibilidades y ventajas de aplicar los conocimientos de Brasil, fundamentalmente en lo que se refiere al alcohol carburante.
- ✓ Proponer los elementos básicos para el diseño de un PLAN ESTRATÉGICO de producción y uso de alcohol carburante en Cuba, considerando otros factores asociados, como el mayor aprovechamiento energético, y las ventajas para el medio ambiente.
- ✓ Utilizar una herramienta moderna de Planificación Estratégica, siendo seleccionado para esto, el Modelo de Planificación Estratégica del Prof. Dr. Martinho I. Ribeiro de Almeida, profesor de la Facultad de Economía, Administración y Contabilidad, de la Universidad de São Paulo, FEA-USP.

II) LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA DE CUBA

La industria azucarera fue tradicionalmente el sector principal de la economía cubana desde principio del siglo XVI, hasta mediados de la década de los años 90, constituyendo la principal fuente de ingresos del país.

La crisis de los 90 (fin del socialismo en Europa y la intensificación del bloqueo norteamericano), tuvo un impacto negativo en la evolución de la agroindustria azucarera cubana. Al inicio, el mayor efecto fue provocado por la reducción de los precios de comercialización externa del azúcar, resultando una disminución considerable de las ganancias que eran recibidas históricamente de este sector. Esta situación agudizó sustancialmente las tensiones existentes en las finanzas externas, y en general, en la capacidad financiera del país.

Posteriormente, la disminución considerable de la disponibilidad de combustible, fertilizantes y herbicidas, afectó sensiblemente el desempeño productivo de la agroindustria, que sufrió reducciones

sucesivas a partir de 1993, disminuyendo también la producción obtenida a partir de esta fecha, la cual se mantuvo hasta hoy en el orden de dos a cuatro millones de toneladas.

Las consecuencias negativas relacionadas con la disminución de los volúmenes de producción de azúcar, tuvieron un mayor impacto, debido a la incidencia de factores como: (1) encarecimiento constante de los recursos a los cuales tuvo acceso el país en este periodo, (2) deterioro creciente de las relaciones de los términos de intercambio, (3) atención insuficiente a la cultura de la caña y a la producción de alimentos en este sector y (4) se mantuvo una lógica de dirección de la agroindustria similar a la existente antes de la crisis, es decir, dando prioridad a los aspectos materiales en lugar de los financieros.

Por lo expuesto anteriormente, el sector azucarero cubano enfrenta, en la actualidad, una situación muy compleja. Por un lado, no hay posibilidades objetivas de que, a corto plazo, ocurra un crecimiento elevado en la agricultura azucarera, que garantice la recuperación efectiva de esta industria. De la misma manera, la reducción constante de los precios internacionales del azúcar, atentan contra el hecho de que esta industria pueda desempeñar, en el futuro, un papel activo en la consolidación del proceso de reinserción externa de la economía cubana.

Por otra parte, en la estructura de consumo de los combustibles líquidos en Cuba, el mayor peso económico está en el diesel, utilizado para el transporte de cargas, ómnibus, así como para las propias operaciones agrícolas. De igual forma, en la agroindustria azucarera, el consumo de diesel tiene una elevada importancia económica y estratégica, para la transportación, tanto de la caña como del azúcar, hasta las terminales de exportación. Adicionalmente, más del 70% de la cosecha de caña es realizada en Cuba de forma mecanizada, lo que implica consumos adicionales de combustible diesel.

Tomando en consideración la experiencia de Brasil en el uso como combustible del alcohol etílico, producido a partir de la caña de azúcar, puede ser una alternativa interesante para la sustitución parcial de estos combustibles (gasolina y diesel) con ventajas, tanto económicas como medio ambientales.

De esta forma, el desarrollo de un programa de alcohol combustible, basado en la tecnología brasileña, se muestra como una contribución importante para enfrentar la crisis actual del sector y del país en general, siendo la misma una estrategia no solamente de Cuba, sino de muchos países, que tienen gran interés ambiental y reconocen las propiedades del alcohol como combustible limpio y renovable. Sin contar con otros factores, como la excesiva dependencia de un sólo energético, el petróleo, cuyas fuentes productoras están en regiones políticamente inestables. Además de eso, la comunidad científica afirma que el petróleo ya inauguró su período de *"agotamiento"*, caracterizado por una disminución progresiva de las reservas conocidas

III) LA EXPERIENCIA DE BRASIL

La experiencia de Brasil durante más de 20 años en la producción de alcohol carburante a partir de la caña de azúcar, permite disponer de una tecnología altamente eficiente y suficientemente demostrada para la producción de este combustible. De igual forma, en Brasil existe una extraordinaria infraestructura de industrias metal-mecánicas, principalmente en el Estado de São Paulo, capaz de suministrar la totalidad de las máquinas y equipamientos requeridos La existencia de más de 300 unidades de producción de azúcar y alcohol en el país, que producen anualmente en el orden de 14 millones de metros cúbicos de ese combustible, todas ellas construidas con tecnología y equipamiento brasileño, demuestran la potencialidad de Brasil en esta esfera.

De igual modo, los niveles de eficiencia alcanzados por Brasil en la producción de alcohol de caña, que se reflejan en los costos de producción inferiores a 0,20 US$ por litro, un rendimiento de más de 80 litros de alcohol por tonelada de caña, indican la eficiencia de la tecnología brasileña.

Esa experiencia tecnológica, no se refiere apenas a la producción de alcohol, sino también a su uso como combustible. Durante más de 20 años en Brasil, se ha adicionado alcohol a la gasolina consumida en el país, en proporciones que varían entre 15 y 25%.

Por otro lado, durante varios años se viene desarrollando investigaciones y evaluaciones de campo, con resultados muy positivos, en lo que se refiere a la adición de alcohol al diesel, utilizado en camiones y ómnibus. Estas experiencias se están ejecutando en los Estados de Paraná, São Paulo y Mato Grosso, con resultados favorables tanto en las flotas vinculadas a la agroindustria azucarera como para el transporte público.

Una característica de la industria sucro-alcoholera de Brasil, que difiere de los otros países, es la producción de forma simultánea de azúcar y alcohol, empleando para este último, no directamente la miel final como ocurre en el resto de los países, sino enviando a las destilerías anexas tanto jarabes ricos en azúcar, con purezas en el orden del 55%, como caldo de filtros y caldo diluido de las moliendas.

De esta forma, una parte de la caña se destina a la producción de azúcar y el resto a la producción de alcohol, lo que brinda al sector una gran flexibilidad para enfrentar las variaciones en los precios de estos productos en el mercado. Actualmente, la caña se distribuye aproximadamente en 50% para azúcar y 50 % para alcohol.

IV) MODELO DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA

El modelo de Planificación Estratégica que será implementado en el siguiente trabajo, será el modelo del Prof. Almeida (2003). En este modelo, son considerados los diversos aspectos de una Planificación Estratégica.

Figura No. 1 - Modelo de Planificación Estratégica de Almeida (2003)

Fuente: Almeida (2003), p.42

En este modelo, las cuatro primeras actividades para orientar la realización de la estrategia son:

1) **Análisis de los aspectos internos:** Es en esta actividad en que ocurre una conciencia de los puntos fuertes y débiles. Ellos visualizan el presente y solo dependen de la organización.

- ✓ *Identificación de los factores críticos de suceso (FCS)*, que son los factores llaves y cuyo desarrollo será esencial y el principal responsable para que una empresa se destaque con relación a las otras.
- ✓ *Comparación de los FCS con los de los competidores*, para verificar aquellos que son superiores, inferiores o semejantes con las organizaciones comparadas.
- ✓ En esta comparación serán identificados los puntos en que la organización se encuentra mejor o peor con relación a los competidores, siendo identificados los *Puntos Fuertes y Débiles.*
- ✓ Se concluye *determinando las estrategias* para aprovechar los Puntos Fuertes y reducir los Puntos Débiles.

2) **Análisis del ambiente:** Es una actividad que visualiza el futuro y como difícilmente la organización puede mudarla, cabe a la entidad apenas tomar medidas para prepararse para el futuro.

- ✓ *Identificación de las oportunidades y amenazas*, que son las principales condicionantes de la eficacia organizacional.

3) **Comparación de la orientación con el campo de actuación:** Lo cual debe estar en sintonía con la Vocación o Misión de la empresa. Del análisis aparecen actividades que deben ser eliminadas por no estar en la Vocación o Misión y actividades que podrán introducirse, pues forman parte de la Misión o Vocación y no están en el Campo de Actuación.

- ✓ Identificación de la *misión,* que es la razón de ser de la entidad y sirve para delimitar su campo de actuación, como también para indicar las posibilidades de expansión de sus acciones. El concepto de misión incluye los valores de la organización, que también forman las estrategias de la empresa. La vocación está vinculada al individuo, y engloba el gusto y la facilidad de ejecutar determinada actividad.
- ✓ Identificación de la *visión*, que representa cómo será vista la empresa en relación a: su importancia, su participación en el mercado, su desempeño; dejando claro los macro objetivos de la empresa en la posición futura, que será alcanzado de tal forma que las actividades y las acciones desarrolladas por la empresa a lo largo del tiempo, estén en sintonía con esos objetivos.

4) **Establecimiento de la estrategia vigente:** Con la intención de no haber una discontinuidad, es necesario identificar la estrategia que la entidad está siguiendo, para tratar de no cambiar radicalmente el rumbo; evitándose incurrir en prejuicios para la misma. Para identificar la estrategia de la organización, pueden ser identificadas las actividades que son consideradas más importantes y las que representen un mayor impacto económico, en un período corto de tiempo (máximo un año).

5) **Viabilidad estratégica**

- ✓ *Establecimiento de los objetivos*: Constituye una de las peculiaridades de este modelo, ya que a diferencia de varios autores que a partir de los objetivos, establecen las estrategias; en este caso, son identificadas primero las estrategias y a partir de ellas, se establecen los objetivos.
- ✓ *Elaboración de las demostraciones financieras*: La proyección de las demostraciones financieras sirve para verificar si es viable lo que se propone realizar. Son solicitadas definiciones de estrategias de Capital de Giro. Como resultado se tienen las

demostraciones proyectadas, índices y un gráfico que muestra la posible proyección de los resultados.

V) IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

A continuación, se presenta un esbozo preliminar para la elaboración de una planificación estratégica para el sector sucro-alcoholero cubano, basado en el Modelo de Planificación Estratégica del Profesor Martinho Isnard Ribeiro de Almeida, de la Facultad de Economía, Administración y Contabilidad de la Universidad de São Paulo.

Los criterios utilizados con relación a las estrategias del MINAZ, fueron basados en la Revista Mais y Mais, 14 edición, pp. 26 – 31, en el artículo *"Oportunidades de negocios en la industria azucarera cubana"*, así como en otras informaciones suministradas por el Ministerio del Azúcar de Cuba (MINAZ).

1) Análisis de los aspectos internos

- ✓ Identificación de los *factores críticos de suceso (FCS)* y *comparación de los FCS con los de los competidores.*

Factores Críticos de Suceso del Sector	**Comparación con el Sector**
Sector sucro-alcoholero de Cuba	*Sector sucro-alcoholero de Brasil*
Flexibilidad de la Tecnología	peor
Sociedades Estratégicas	peor
Calificación de la fuerza de trabajo	mejor
Conocimiento del Negocio	igual
Capacidad financiera	peor
Rendimientos agrícolas	peor
Mecanización de la cosecha	mejor
Inversiones tecnológicas	peor
Diversificación de la producción azucarera	mejor
Producción de Alcohol carburante	peor

- ✓ Identificación de los *Puntos Fuertes y Débiles*

Puntos Fuertes:

Dominio de tecnologías de derivados para obtener productos de mayor valor agregado

Puntos Débiles:

Limitaciones financieras para hacer inversiones tecnológicas y adquisición de insumos para la producción.

- ✓ *Determinación de las estrategias* para aprovechar los Puntos Fuertes y reducir los Puntos Débiles.

1 - El amplio desarrollo de los derivados de la caña de azúcar de Cuba, permite amplias posibilidades de negocios con Brasil.
2 - Sociedades y transferencias tecnológicas en automatización de ingenios de azúcar en Brasil.
3 - Transferencia de la tecnología brasileña para la producción de alcohol como combustible en Cuba.
4 - Producciones cooperadas para la producción de insumos y equipamientos para el

	sector sucro-alcoholero cubano.
5 -	Transferencia de tecnologías más flexibles de Brasil para la producción de azúcar y alcohol en Cuba.
6 -	Desarrollo de proyectos conjuntos entre ambos países que permitan la adquisición de créditos por parte del BNDES (Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social)

2) Análisis del ambiente

✓ *Identificación de las oportunidades y amenazas.*

Variables políticas y económicas significativas	Futuro de las variables	Oportunidades y amenazas
Volatilidad del precio del azúcar en el mercado internacional.	Disminución de los precios	Aumento del margen de contribución.
Volatilidad del precio del alcohol en el mercado internacional.	Aumento de los precios	Disminución del margen de contribución
Bloqueo económico	Intensificación	Dificultades financieras para el desarrollo económico del país y del sector.
Acceso a créditos internacionales	Mayor grado de dificultad	Dificultades financieras para el desarrollo económico del país y del sector.
Relaciones comerciales Cuba-Brasil	Crecimiento	Incremento de las exportaciones e importaciones para ambos países.
Mercado interno	Estable	Poco riesgo para la inversión extranjera.
Costos de los recursos financieros	Alto	Dificultades financieras para el desarrollo económico del país y del sector.
PIB	Crecimiento	Desarrollo económico del país.

3) Comparación de la orientación con el campo de actuación

Misión

"Producción de caña, azúcar, derivados y otros productos agropecuarios con calidad y eficiencia, generando empleos y beneficios sociales para los trabajadores del sector y sus familias, así como lograr la inserción de Cuba, en el mercado internacional, altamente competitivo"

Vocación

Diversificación de las producciones de derivados de la caña, con el objetivo de desarrollar productos de mayor valor agregado.

Visión

Inserción de los productos del MINAZ en el mercado internacional y nacional, ofreciendo productos de alta calidad y de mayor valor agregado

Actividad	Campo de Actuación	Vocación		Misión	Directrices Superiores	Visión	Clasif. de la Activ.
		Activ. que le gusta	Activ. que tiene facilidad				
Producción a gran escala de derivados de la caña de azúcar, tales como el alcohol combustible.				X			activ. faltando
Producción de productos de calidad.				X		X	activ. faltando
Búsqueda de créditos internacionales	X						activ. excedente
Producción de productos competitivos				X			activ. faltando
Inserción en el mercado internacional	X			X		X	activ. encuadrada
Reorganización de acuerdo con las condiciones internacionales	X				X		activ. encuadrada
Diversificación de la producción de los derivados de la caña de azúcar	X		X				activ. encuadrada

4) Establecimiento de la estrategia vigente.

Considerando el impacto económico y estratégico que tiene para el sector azucarero cubano, y los adelantos alcanzados en los diversos intercambios entre los dos países, tanto en el ámbito empresarial como gubernamental, a continuación son presentadas algunas de las estrategias que pudieran ser consideradas:

- Desarrollar la producción de alcohol como combustible en Cuba, usando la tecnología brasileña, con el objetivo de aumentar la flexibilidad en la matriz energética del país, disminuyendo las importaciones de petróleo y propiciando mejorías en las condiciones ambientales con el uso de un combustible limpio y renovable.
- Continuar estimulando las inversiones de Brasil en Cuba para la producción de alcohol carburante, así como la cogeneración de electricidad a partir del bagazo de la caña de azúcar.
- Aprovechar las condiciones políticas favorables entre ambos países, para propiciar las transferencias de tecnologías, inversiones y producciones cooperadas, para la producción de insumos y equipamientos para el sector sucro-alcoholero cubano.
- Continuar estimulando inversiones y/o producciones conjuntas en el área agropecuaria, siendo el desarrollo del ganado bovino y porcino en Cuba a partir de subproductos de la caña de azúcar, un aspecto que deberá ser priorizado.

VI) CONSIDERACIONES FINALES

- La inestabilidad del mercado azucarero, las barreras proteccionistas impuestas por los países desarrollados y las implicaciones de la globalización para los países, llevan a la necesidad de una redefinición de la organización empresarial, considerando la flexibilidad frente al mercado, los problemas del medio ambiente, la responsabilidad social, la difusión de la información y la gestión del conocimiento.
- El sector sucro-alcoholero puede y debe implementar un programa de crecimiento, donde la segmentación por clientes, la incorporación de tecnologías en todos los procesos organizacionales, el alto nivel de productividad y calidad, la capacidad de respuesta a los cambios y el lanzamiento de productos más rápidamente, son factores determinantes para el mercado.
- En la elaboración de un plan estratégico para el sector, es fundamental considerar los siguientes aspectos:
  - ✓ Introducción de nuevos productos y servicios atendiendo a los requerimientos del mercado, como por ejemplo, el desarrollo de los derivados y el aprovechamiento de subproductos azucareros, con el objetivo de incrementar su valor agregado.
  - ✓ Segmentación y explotación de nichos de mercado.
  - ✓ Sistemas integrados de automatización e información, tanto para el proceso tecnológico como para la contabilización de los costos.
  - ✓ Adaptación al ritmo y dinámica de la demanda, tal es el caso del crecimiento en el uso del alcohol combustible y el impacto del azúcar orgánico en los países europeos.
  - ✓ Acciones permanentes que permitan racionalizar los costos y programas que garanticen la elevación de la calidad de los productos y servicios.
  - ✓ Flexibilización de normas y de los papeles desempeñados por las personas en la organización y adopción de colaboradores responsables por todo el proceso organizacional.
- La industria azucarera cubana fue tradicionalmente el sector principal de la economía, manteniéndose durante más de 30 años al frente de la estrategia de desarrollo económico de Cuba, hasta mediado de los años 80, cuando se decide desarrollar intensamente el turismo y paralelamente, propiciar el fomento de la industria farmacéutica y de la biotecnología.
- La agroindustria de la caña de azúcar de Cuba es un sector de gran importancia económica y social para el país. La misma se encuentra enfrascada en la realización de un profundo proceso de transformación estructural que le permita sobrevivir y desarrollarse en condiciones internacionales adversas, tanto de orden político como económico-comercial.
- El gobierno cubano definió la *diversificación del sector* (que es el uso de la caña para otras producciones diferentes de azúcar y aprovechamiento de los subproductos), como uno de los pilares básicos del proceso de transformación que fue mencionado anteriormente. En esa dirección, la producción de alcohol etílico para uso como combustible, está recibiendo especial atención.
- Considerando el Protocolo de Kyoto, que prevé la limitación gradual de las emisiones de contaminantes, existe en la actualidad una conciencia global, en términos de control ambiental, de que el alcohol es un excelente reductor de los mismos.
- La experiencia de más de 20 años de Brasil en la producción y uso del alcohol de la caña como combustible, permitió acumular un conocimiento tecnológico para lograr una alta eficiencia en esa actividad. En Brasil fueron constituidas un gran número de empresas constructoras de plantas y equipamientos, para la producción de alcohol de caña de mayor nivel de desarrollo a escala mundial.
- La producción y uso del alcohol etílico como combustible a partir de la caña, presenta importantes ventajas para el medio ambiente, que hacen con que sea atractivo y pueda, en el futuro, generar estímulos económicos-financieros (mecanismo de Desarrollo Limpio). Varios países ya han iniciado

o están estudiando la importancia de programas de uso del alcohol etílico como combustible. Brasil tiene interés de estimular el avance de estos programas, tanto por la posibilidad de suministrar "know-how" y equipamientos, como por el crecimiento del mercado internacional de alcohol, donde Brasil tendrá, sin dudas, una decisiva participación.

- La internacionalización de uso de alcohol combustible en este momento, es producto de la globalización de conceptos tales como:
  - ✓ La sustitución del petróleo y derivados, así como la economía de divisas resultante.
  - ✓ Ventajas ambientales de la energía renovable.
  - ✓ Necesidad de generación de empleos y control de la migración para grandes centros urbanos
  - ✓ Aprovechamiento de excedentes agrícolas.
- Por todo lo expresado anteriormente, y dentro del marco de las relaciones económicas, políticas y culturales entre los dos países (Cuba-Brasil), adquiere una fuerte importancia el desarrollo de un programa de producción de alcohol en Cuba, en cooperación con Brasil, para el mutuo beneficio de ambas partes.

REFERENCIA

Anuário estatístico de Cuba, desde 1998 a 2001. Havana, agosto 2001.

Almeida, M.I.R. (2003). Manual de Planejamento Estratégico: desenvolvimento de um plano estratégico com a utilização de planilhas Excel. São Paulo: Atlas, pp.13-90

Jornalcana, (octubre/2003) .Ribeirão Preto, serie II, ano XI, No. 118

Jornalcana (junio/2003).Cuba quer parceria para revitalizar seu setor, pp. 28

Laurindo, J.C. (Mayo/2002). Histórico das Misturas Álcool – Diesel no Brasil. Congreso Internacional Diversificación, Havana, Cuba.

Revista Gleba - Informativo Técnico (2001). Cana-de-açúcar. Agricultura poderá gerar energia limpa e barata. no. 177, Ano 46.

Revista Mais y Mais (2002). Oportunidades de negócios da indústria canavieira cubana. Entrevista al vice-ministro cubano Nelson Labrada, 14 Edição, pp. 26

Revista Mais y Mais. (2002). O Dilema da Recuperação da indústria açucareira. Dr. Hiram Nodarse, 3 trimestre, 13 Edição, pp. 41.

Santos, M.H.C. (1993) Políticas de uma energia alternativa: o caso do Proálcool. Rio de Janeiro: Notrya.

Severino, C. (Oct/2003). Céu e o limite para o crescimento do setor. Jornalcana, pp. 32

Szmrecsanyi, T. (1979). Planejamento da agroindústria canavieira do Brasil. (1930-1975). São Paulo: HUCITEC/UNICAMP.

ANÁLISIS HAZOP EN DESTILERÍAS DE ALCOHOL

Gustavo Silvett[(2)], María Rosa Hernández[(1)], Rolando Saba[(1)], Mario Cesca[(1)]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología – Universidad Nacional de Tucumán
Av. Independencia 1800 – (4000) San Miguel de Tucumán – Tucumán - Argentina
e-mail: mcesca@herrera.unt.edu.ar

(2) Ingenio Concepción - Compañía Azucarera Concepción S. A.
Av. José Maria Paz 1 – (4109) Banda del Río Salí – Tucumán - Argentina

Palabras Clave: HAZOP, Seguridad de procesos, Operabilidad, Industria Alcoholera

Resumen

Dentro del campo de la Ingeniería de la Seguridad, HAZOP (Hazard and Operability Analysis) adquirió una relevancia notable para los procesos de la industria química. Este trabajo muestra los beneficios que proporciona esta herramienta cuando se aplica a una destilería de alcohol (Ingenio Concepción, Tucumán, Argentina).
El trabajo comenzó con el relevamiento de las instalaciones que permitió definir el sistema bajo análisis al que se separó en cuatro áreas: Recepción de la Melaza, Preparación del Meido de Cultivo y Fermentación, Separación Primaria (centrifugación) y Separación Secundaria (Destilación). Todo fue documentado mediante diagramas P&I y planillas con información de los equipos. El análisis se desarrolló para los procesos continuos, quedando para una etapa posterior el estudio de los procesos etapa batch y semibatch asociados a la preparación del medio de cultivo y la fermentación, debido a la complejidad de tal operación.
Para las áreas de procesos continuos se definieron los nodos con el objeto de practicar el análisis HAZOP. Con la ayuda de las planillas HAZOP finales se obtuvo:

- Una lista de las variables que sería importante medir para indicación, registro, control y/o alarma.
- Detalles de los sistemas de control, de enclavamiento y de alarmas requeridos para operabilidad de la planta.
- Una base de datos importante para asistencia del operador durante situaciones de operación anormal.

HAZOP ANALYSIS IN ALCOHOL DESTILLERIES

Keywords: HAZOP, Process Safety, Operability, Alcohol industry

Abstract

In the Safety Engineering field, HAZOP (Hazard and Operability Analysis) acquired a remarkable relevance for the chemical industry processes. This work shows the benefits that provides this tool when it is applied to a alcohol distillery (Ingenio Concepción, Tucumán, Argentina).
The work began with the facilities acquisition that allowed to define the studied system low analysis separated in four areas: Reception of the Molasses, Preparation of the Culture Media and Fermentation, Primary Separation (centrifugation) and Secondary Separation (Distillation). All this was documented by

means P&I diagrams and information sheets of the equipments. The analysis was developed for the continuous processes, being for a later stage the study of the batch and semi batch processes associated to the culture media preparation and the fermentation, because of the complexity of such operation.
The nodes were defined for the continuous processes areas with the aim to practice the HAZOP analysis. With the aid of the final HAZOP Sheets it was obtained:

- A list of the variables that would be important to measure for indication, registration, control and/or alarm purpose.
- Detail of the automatic control, the interlock safety and the alarm systems required for plant operability.
- An important database to operator aid during abnormal operation situations.

Introducción

El Estudio HAZOP (Hazard and Operability) es un procedimiento sistemático destinado a descubrir potenciales peligros y problemas de operabilidad. Surgido hacia fines de los años 60, adquirió especial relevancia en la industria de procesos (Swann y Preston, 1995). La cuestión básica que pretende enfocar el HAZOP es *cómo predecir lo que podría suceder en la operación de una planta de la industria de procesos a partir de una adecuada comprensión de comportamiento de tal proceso*. Pero hay que tener en claro que HAZOP no es meramente un procedimiento simple de diseño, sino una parte del diseño global que debe ser adecuadamente manejado.
El principio básico del Análisis HAZOP es que los riesgos en las plantas de proceso surgen debido a apartamento de sus condiciones normales. Un equipo de expertos (ingenieros de planta, expertos en seguridad, especialistas en sistemas, etc.) debe identificar sistemáticamente todas las posibles desviaciones y encontrar todas las potenciales causas y las consecuencias adversas de tales desviaciones. El procedimiento implica examinar los diagramas P&ID con el nivel de detalle que se requiera en el estudio y se deben analizar las todas las causas posibles con las consecuencias que conduzcan a problemas que pongan en peligro a las personas, al ambiente y al equipamiento e instalacoines. A partir de las condiciones normales, se definen cualitativamente las desviaciones a través de "palabras guía" tales como MAYOR QUE, MENOR QUE, NADA, etc. En forma adicional al análisis de las situaciones peligrosas, también se debe identificar los problemas de operabilidad que podrían causar una operación ineficiente de la planta. Una detallada descripción de la metodología del Análisis HAZOP puede encontrarse en Kletz (1999), mientras que el uso de sistemas expertos para desarrollar un análisis HAZOP de plantas complejas fue abordado por Venkatasubramanian y otros (2000).
En este trabajo se presenta el análisis HAZOP correspondiente a la Sección de Separación Secundaria (Columnas de Destilación) de una destilería de alcohol (Ingenio Concepción, Tucumán, Argentina). Este establecimiento procesa 1.600.000 toneladas de vino (filtrado del mosto fermentado) de 9.5 ºGL produciendo 160.000 toneladas de alcohol hidratado de 96-96 ªGL.

Análisis HAZOP de la Sección de Separación Secundaria

La Figura 1 muestra en forma esquemática el procedimiento para la generación del Análisis HAZOP para procesos continuos y que se corresponde con los cánones tradicionales (Swann y Preston, 1995).
La primera tarea fue la de definición del sistema a analizar. En una primera etapa se limitó el estudio al área de la separación secundaria, esto es, todo el sistema de separación por columnas de destilación. Queda para una etapa posterior el análisis HAZOP de las etapas de fermentación y de separación primaria que son más complejas en dos sentidos: por un lado hay operaciones batch que obliga a un

tratamiento especial y por el otro que la fermentación es un proceso de difícil diagnóstico a partir de las mediciones usuales de control.

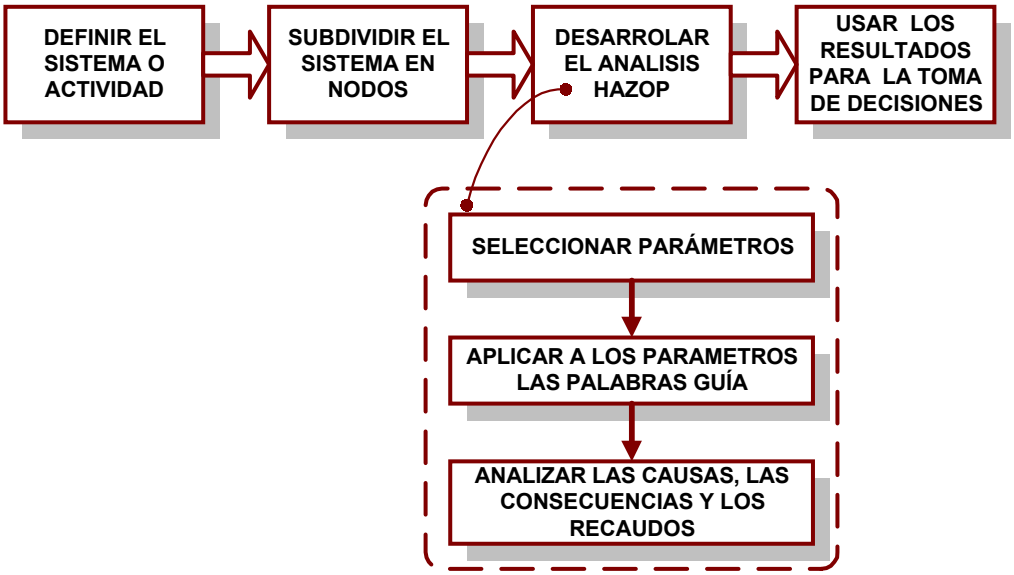


Figura 1: Procedimiento general para desarrollo del análisis HAZOP

La destilería estudiada separa el etanol empleando el clásico sistema Barbet de tres columnas, pero con la complejidad adicional de poseer tres baterías en paralelo. Para ganar en simplicidad, solo se presenta aquí un solo tren de separación, dado que los tres tienen características similares. La subdivisión en nodos se hizo teniendo en cuenta como opera el sistema y condujo a los diagramas P&I que se presentan en las Figuras 2, 3 y 4.

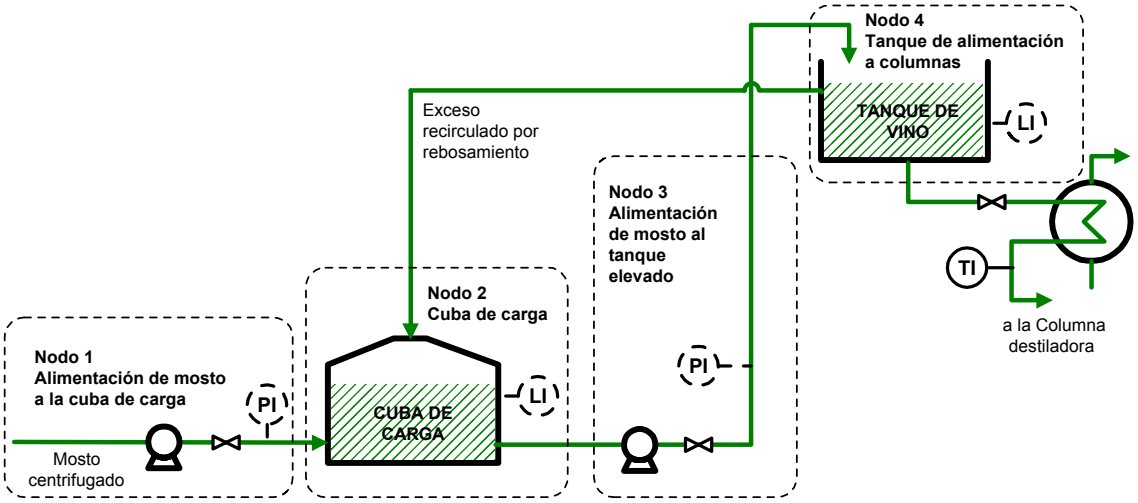


Figura 2: Diagrama P&I correspondiente al pre-procesamiento de la alimentación al tren de destilación

El desarrollo del análisis HAZOP propiamente dicho se inicia con la selección de los parámetros (variables de las que se tiene información) La toma de datos original puso en evidencia que en muchos casos no se disponía de elementos de medición de variables cuyo apartamento potencialmente podría conducir a situaciones gravosas para el proceso. Es por eso que, aparte de los dispositivos existentes, se

incorporaron al los diagramas instrumentos de medición con los que sería deseable contar (en línea de trazos).
La primera de las utilidades de este análisis fue entonces generar una lista de elementos de medición con los que se debería contar, mientras que un ulterior análisis, conduciría a un orden de prioridades de acuerdo a la necesidad que represente.

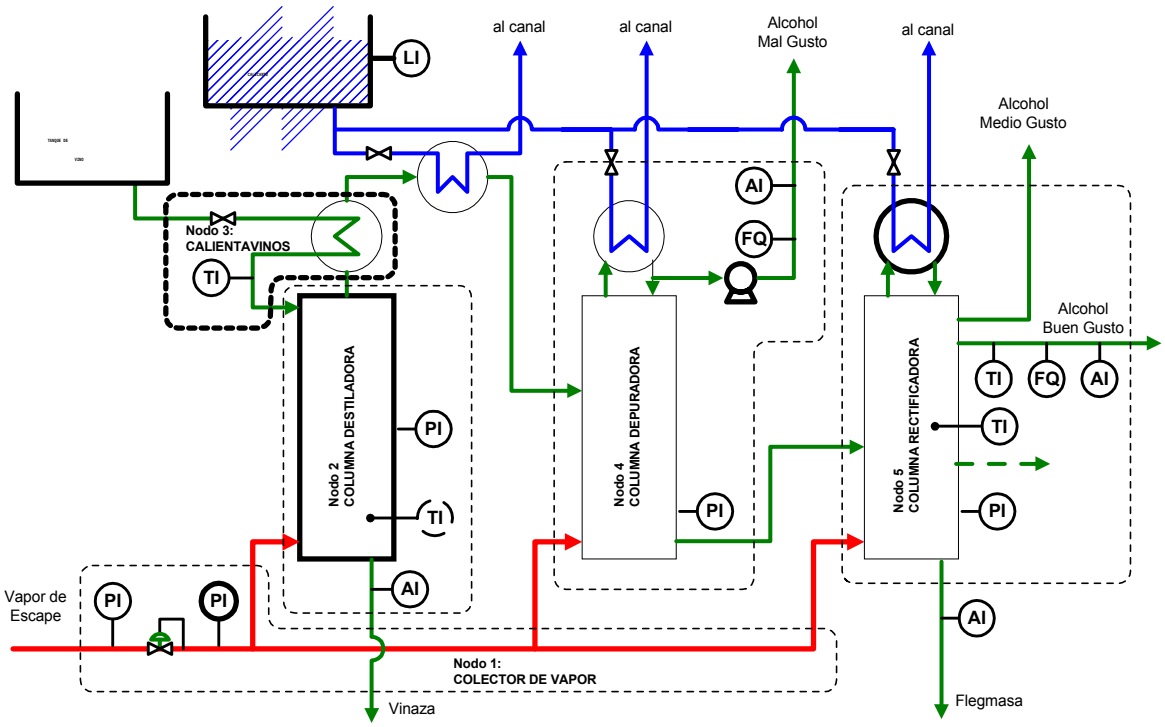


Figura 3: Diagrama P&I correspondiente al tren de destilación

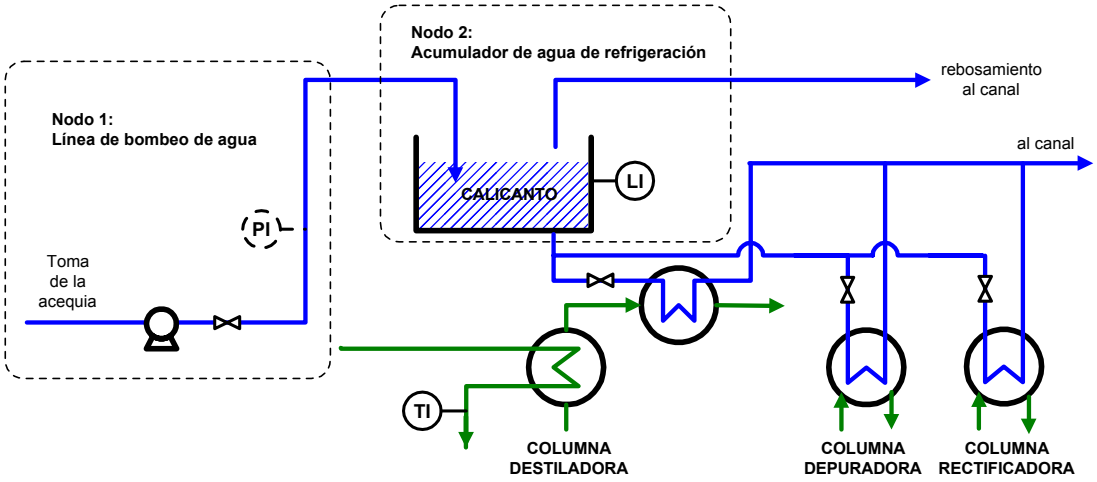


Figura 4: Diagrama P&I del circuito de agua de refrigeración

En las Tablas siguientes se presentan en forma parcial el resultado del análisis HAZOP que no puede ser volcado en su totalidad en razón del limitado espacio del que se dispone. Para cada variable, se establecieron los valores nominales y los límites que definen las categorías (Palabras Guía) **Alto** y **Bajo**.

Tabla I: Planilla del análisis HAZOP correspondiente la separación secundaria – Columnas de Destilación – Nodo 1

SECTOR: SEPARACIÓN SECUNDARIA – COLUMNAS DE DESTILACION						
NODO	**VARIAB.**	**PALABRA GUIA**	**CAUSAS**	**CONSECUENCIAS**	**ACCIONES DE SEGUIDAD**	**RECOMEN-DACIONES**
Nodo 1: COLECTOR DE VAPOR	Presión Aguas abajo de la válvula autorre-guladora	Baja	Falta de vapor de escape proveniente del ingenio	Disminución de la sepa-ración en las columnas.	Verificar la presión del colector de escape. Disminuir el caudal de alimentación de vino	Realizar un mantenimiento periódico de la válvula de autorregulación
			Mal funcionamiento de la válvula autorreguladora	Disminución de la sepa-ración en las columnas.	Aumentar el set point de la válvula autorregula-dora. Disminuir el caudal de alimentación de vino.	
			Consumo excesivo de las columnas	Disminución de la separación en las columnas.	Bajar el régimen de producción de las columnas.	
		Alta	Mal funcionamiento de la válvula autorreguladora	Aumento del consumo específico de vapor e	Disminuir el set point de la válvula autorregula-dora. Aumentar el caudal de alimentación de vino.	Realizar un manteni-miento periódico de la válvula de autorre-gulación
			Consumo bajo de vapor en las columnas	Aumento del consumo específico de vapor e	Aumentar el régimen de producción de las columnas.	
	Presión Aguas arriba de la válvula autorregu-ladora	Baja	Falta de vapor de escape proveniente del ingenio	Disminución de la disponibilidad de vapor para el tren de destilación.	Verificar la presión del colector de escape del Ingenio. Disminuir el caudal de alimentación alas columnas.	Mantener información actua-lizada sobre superávit o déficit de vapor en el Ingenio azucarero.

Tabla II: Planilla del análisis HAZOP correspondiente la separación secundaria – Columnas de Destilación – Nodo 2

SECTOR: SEPARACIÓN SECUNDARIA – COLUMNAS DE DESTILACION						
NODO	**VARIAB.**	**PALABRA GUIA**	**CAUSAS**	**CONSECUENCIAS**	**ACCIONES DE SEGUIDAD**	**RECOMEN-DACIONES**
Nodo 2: COLUMNA DESTILADORA	Presión en el plato 6	Baja	Carencia de vapor por falta del suministro o por consumo excesivo.	Disminución de la sepa-ración.	Disminuir la alimentación del vino. Aumentar el set point de la válvula autorreguladora de vapor.	
			Excesiva alimentación de vino	Disminución de la sepa-ración.	Disminuir la alimentación del vino.	
		Alta	Exceso de vapor	Aumento del consumo específico de vapor.	Disminuir el set point de la válvula autorreguladora de vapor.	
			Baja alimentación de vino	Aumento del consumo específico de vapor.	Aumentar la alimentación del vino.	Verificar el grado de incrustación del ca-lientavino.
			Aumento de la contrapresión en la columna depuradora	Aumento del consumo específico de vapor.	Aumentar la alimentación del vino.	Revisar el trabajo de los condensadores y de la alimentación de vapor a la columna depuradora
	Tempe-ratura en el plato 2	Baja	Disminución del suministro de vapor	Pérdida de alcohol en la vinaza	Disminuir la alimentación del vino.	
			Aumento de la alimentación de vino	Pérdida de alcohol en la vinaza	Disminuir la alimentación del vino.	
		Alta	Presión excesiva en el fondo de la columna	Aumento del consumo específico de vapor.	Disminuir la alimentación de vapor	
	Concen-tración Alcohol en Vinaza	Alta	Disminución del suministro de vapor	Pérdida de alcohol en la vinaza	Disminuir la alimentación del vino.	Revisar el trabajo de la válvula autorregula-dora de vapor.
			Aumento de la alimentación de vino.	Pérdida de alcohol en la vinaza	Disminuir la alimentación del vino.	

Tabla III: Planilla del análisis HAZOP correspondiente la separación secundaria – Columnas de Destilación – Nodo 3

SECTOR: SEPARACIÓN SECUNDARIA – COLUMNAS DE DESTILACION						
NODO	**VARIAB.**	**PALABRA GUIA**	**CAUSAS**	**CONSECUENCIAS**	**ACCIONES DE SEGUIDAD**	**RECOMEN-DACIONES**
Nodo 3: CALIENTA VINO	Tempera-tura de alimentac. del vino	Alta	Bajo caudal de alimentación de vino.	Cambio del trabajo hidráulico de la columna	Aumentar la alimentación de Vino a la columna	
			Excesivo caudal de vapor interno en la columna destiladora.	Mayor exigencia para el condensador.	Disminuir la alimentación del vapor a la columna.	
		Baja	Bajo flujo de vapor alimentado a la columna.	Menor separación. Mayor consumo de vapor de escape.	Aumentar el flujo de vapor en el fondo de la columna.	
			Superficie de intercambio con alto nivel de incrustaciones	Menor separación. Mayor consumo de vapor de escape.	Incorporar el intercambiador en la lista de limpieza de equipos de transferencia.	Establecer una agenda de limpieza de los intercambiadores de ca-lor compatible con un buen aprovechamiento de la superficie de intercambio.
			Excesiva alimentación de líquido.	Menor separación. Mayor consumo de vapor de escape.	Disminuir la alimentación de Vino a la columna.	

Tabla IV: Planilla del análisis HAZOP correspondiente la separación secundaria – Columnas de Destilación – Nodo 4

SECTOR: SEPARACIÓN SECUNDARIA – COLUMNAS DE DESTILACION						
NODO	**VARIAB.**	**PALABRA GUIA**	**CAUSAS**	**CONSECUENCIAS**	**ACCIONES DE SEGUIDAD**	**RECOMEN-DACIONES**
Nodo 4 COLUMNA DEPURADORA	Presión en el plato 2	Baja	Carencia de vapor por falta del suministro o por consumo excesivo.	Disminución de la separación.	Disminuir la alimentación del vino a la primera columna. Aumentar el set point de la válvula autorreguladora de vapor.	
			Excesiva alimentación de vino a la primera columna.	Disminución de la separación.	Disminuir la alimentación del vino a la primera columna.	
		Alta	Exceso de vapor	Aumento del consumo específico de vapor.	Disminuir el set point de la válvula autorreguladora de vapor.	
			Baja alimentación a la columna.	Aumento del consumo específico de vapor.	Aumentar la alimentación del vino a la primera columna.	Verificar el grado de incrustación del ca-lientavino.
			Aumento de la contrapresión en la columna rectificadora	Mayor concentración de alcohol en el flujo de Alcohol Mal Gusto	Aumentar la alimentación a la primera columna. Aumentar la extracción de alcohol de Buen y Mal gusto	
			Baja capacidad de transferencia en los condensadores por ensuciamiento.	Disminución de la separación	Emplear otro condensador que tenga limpia la superficie de intercambio.	En base a la información histórica, mantener un cronograma de limpieza de condensadores.

Tabla IV: Planilla del análisis HAZOP correspondiente la separación secundaria – Columnas de Destilación – Nodo 4 (continuación)

SECTOR: SEPARACIÓN SECUNDARIA – COLUMNAS DE DESTILACION						
NODO	**VARIAB.**	**PALABRA GUIA**	**CAUSAS**	**CONSECUENCIAS**	**ACCIONES DE SEGUIDAD**	**RECOMEN-DACIONES**
Nodo 4 COLUMNA DEPURADORA	Compo-sición del alcohol mal gusto	Alto	Bajo caudal de destilado.	Pérdida de alcohol a través de la corriente de Alcohol de Mal Gusto	Aumentar el caudal de destilado (flujo del alcohol de Mal Gusto).	
			Excesiva alimentación de vapor.	Pérdida de alcohol a través de la corriente de Alcohol de Mal Gusto	Disminuir la alimentación de vapor a la columna	
			Baja alimentación en la primera columna	Pérdida de alcohol a través de la corriente de Alcohol de Mal Gusto	Aumentar la alimentación de vino a la primera columna.	
		Bajo	Alto caudal de destilado.	Alcohol de Mal Gusto con bajo tenor en alcohol	Disminuir el caudal de destilado (flujo del alcohol de Mal Gusto).	
			Baja alimentación de vapor.	Alcohol de Mal Gusto con bajo tenor en alcohol	Aumentar la alimentación de vapor a la columna	
			Baja alimentación en la primera columna	Alcohol de Mal Gusto con bajo tenor en alcohol	Incremenrar el caudal de destilado (flujo del alcohol de Mal Gusto).	

Tabla V: Planilla del análisis HAZOP correspondiente la separación secundaria – Columnas de Destilación – Nodo 5

SECTOR: SEPARACIÓN SECUNDARIA – COLUMNAS DE DESTILACION						
NODO	**VARIAB.**	**PALABRA GUIA**	**CAUSAS**	**CONSECUENCIAS**	**ACCIONES DE SEGUIDAD**	**RECOMEN-DACIONES**
Nodo 5: COLUMNA RECTIFICADORA	Presión en el plato 3	Baja	Carencia de vapor por falta del suministro o por consumo excesivo.	Pérdida de alcohol en la flegmasa..	Disminuir la alimentación del vino a la columna destiladora. Aumentar el set point de la válvula autorreg. de vapor.	
			Excesiva alimentación a la columna.	Pérdida de alcohol en la flegmasa.	Disminuir la alimentación a la columna. Disminuir el caudal de destilado	
		Alta	Exceso de vapor	Aumento del consumo específico de vapor.	Disminuir el set point de la válvula autorreg. de vapor.	
			Baja alimentación a la columna.	Aumento del consumo específico de vapor.	Aumentar la alimentación del vino a la primera columna.	
			Baja capacidad de transferencia en los condensadores por ensuciamiento.	Pérdida de alcohol en la flegmasa Disminución del grado alcohólico del destilado	Emplear otro condensador que tenga limpia la superficie de intercambio.	En base a la información histórica, mantener un cronograma de limpieza de condensadores.
	Tempera-tura del plato de alimentac.	Alta	Extracción excesiva de alcohol en el destilado	Producto con bajo tenor alcohólico	Disminuir el caudal de destilado	
		Baja	Bajo caudal de extracción de alcohol en el destilado	Pérdida de alcohol en la flegmasa.	Aumentar el caudal de destilado	
			Alto contenido de alcohol en la alimentación.	Pérdida de alcohol en la flegmasa.	Aumentar el flujo de destilado.	Revisar las condiciones de trabajo de la columna depuradora.

Tabla V: Planilla del análisis HAZOP correspondiente la separación secundaria – Columnas de Destilación – Nodo 5 (continuación)

SECTOR: SEPARACIÓN SECUNDARIA – COLUMNAS DE DESTILACION						
NODO	**VARIAB.**	**PALABRA GUIA**	**CAUSAS**	**CONSECUENCIAS**	**ACCIONES DE SEGUIDAD**	**RECOMEN-DACIONES**
Nodo 5: COLUMNA RECTIFICADORA	Compo-sición del alcohol buen gusto	Baja	Excesivo caudal de destilado	Producto fuera de especificación Pérdida de alcohol en la flegmasa	Disminuir el caudal de destilado.	
			Baja alimentación de vapor	Producto fuera de especificación Pérdida de alcohol en la flegmasa	Aumentar la alimentación de vapor a la columna.	
			Baja capacidad de transferencia en los conden-sadores por ensuciamiento.	Producto fuera de especificación Pérdida de alcohol en la flegmasa	Emplear otro condensador que tenga limpia la superficie de intercambio.	En base a la información histórica, mantener un cronograma de limpieza de condensadores.
	Compo-sición de la flegmasa	Alta	Baja alimentación de vapor	Pérdida de alcohol en la flegmasa	Aumentar la alimentación de vapor	
			Exceso de alimentación	Pérdida de alcohol en la flegmasa	Disminuir la alimentación a la columna	
			Alto contenido de alcohol en la alimentación.	Pérdida de alcohol en la flegmasa.	Aumentar el flujo de destilado.	Revisar las condiciones de trabajo de la columna depuradora.

Aplicación del Análisis HAZOP

A partir del análisis realizado, se pudieron sacar conclusiones de utilidad en los siguientes rubros:

- Definición de las mediciones que sería necesario deponer para un adecuado monitoreo de las situaciones de riesgo
- Determinación de los sistemas de control para lograr operabilidad en la planta. Establecimiento de los sistemas de control, alarma y de enclavamiento para una operación segura.
- Conformación de la información básica para el desarrollo de asistencia en línea al operador que deba administrar una situación crítica.

Definición de puntos de medición

Si bien el análisis HAZOP se llevó a cabo a partir de la situación real, se analizaron también los comportamientos relacionados con variables que sería deseable disponer. Así surgió la lista de la Tabla VI con las mediciones adicionales, precisando el tipo de función que debe cumplir el dispositivo.

Tabla VI: Puntos de medición complementarios de los existentes

Sector	Nodo	Variable	Tipo
Separación secundaria. Circuito de alimentación de vino a las columnas	Nodo 1: Línea alimentación de mosto	Presión en la línea de impulsión	Indicación local
	Nodo 2: Cuba de carga	Nivel de la cuba de acumulación de mosto	Monitoreo (registro), alarma, control
	Nodo 3: Alimentación al tanque acumulador	Presión en la línea de impulsión	Indicación local
	Nodo 4: Tanque de acumulación de mosto	Nivel del tanque alimentación	Monitoreo (registro), alarma, control
Separación Secundaria Columnas de Destilación	Nodo 1: Colector de Vapor	Presión Aguas abajo de la válvula autorreguladora	Monitoreo, alarma
		Presión Aguas arriba de la válvula autorreguladora	Indicación local
	Nodo 2: Columna Destiladora	Presión en el plato 2	Monitoreo (registro), alarma, control
		Temperatura en el plato 2	Monitoreo (registro),
	Nodo 3: Calienta Vino	Temperatura de alimentación del vino	
	Nodo 4: Columna Depuradora	Presión en el plato 2	Monitoreo (registro), alarma, control
	Nodo 5: Columna Rectificadora	Presión en el plato 2	Monitoreo (registro), alarma, control
		Temperatura en el plato de alimentación	Monitoreo (registro),
Separación secundaria Circuito de agua de refrigeración	Nodo 1: Línea bombeo de agua	Presión en la línea de impulsión	Indicación local
	Nodo 2: Acumulación de agua de refrigeración	Nivel del acumulador de agua de refrigeración	Monitoreo (registro), alarma, control

Operabilidad de la Planta

La operabilidad es uno de los aspectos más relevantes del análisis HAZOP. Operabilidad es la capacidad que tiene una planta, con su sistema de control incluido, de lograr una operación aceptable, tanto en el aspecto estático como en el dinámico. La planta debe tener la posibilidad de responder en forma rápida y económica por acción del personal o de los sistemas de control automático. Hay dos aspectos fundamentales de la operabilidad:

- Flexibilidad: capacidad para lograr operación de estado estacionario para el conjunto de condiciones operativas de la planta.
- Controlabilidad: capacidad de lograr una performance de control aceptable (mantener las variables controladas dentro de límites), a pesar de las perturbaciones y de la incertidumbre de la planta, empleando las manipulaciones y mediciones disponibles.

Para que se pueda trabajar en forma segura en todos los estados de régimen, debe controlarse las variable que no poseen autorregulación, por lo que resulta imprescindible implementar los siguientes sistemas de control:

- Lazo de nivel de líquido en el plato del fondo manipulando el caudal evacuado
- Protección por bajo nivel en los tanques de alimentación de vino a la primera columna
- Protección de bajo nivel en tanque de agua de condensadores.

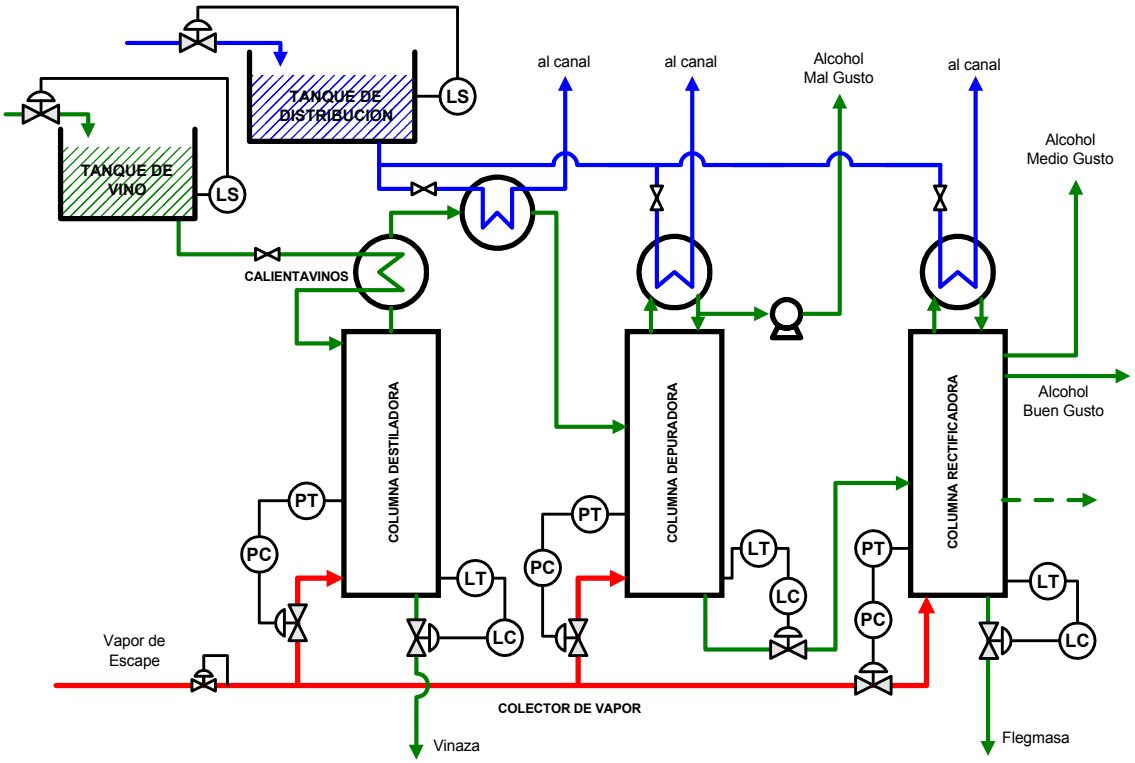


Figura 5: Sistemas de control para mejorar la operabilidad de la Sección de Separación Secundaria

Si se pretende emplear la temperatura de algunos platos como parámetro de calidad de la corriente, esto es, para inferir composición, la presión debería estar fijada ya que se trata de un sistema con equilibrio de fases. Si bien la válvula autorreguladora del colector de vapor, proporciona cierta estabilidad en los valores de presión, para una mayor constancia debería recurrirse lazos de control manipulando el caudal de vapor alimentado en el fondo (Figura 5). Si se establecen estos lazos, las conclusiones del análisis HAZOP (Tablas II, IV y V) se verían afectadas, ya que en estas circunstancias, los valores altos o bajos

de presión se adjudicarían a fallos en el lazo de control o en la presión del colector exclusivamente, mientras que las fluctuaciones de temperatura se pueden vincular a volumen y características de la alimentación líquida. En definitiva, los valores de presión y temperatura que resulten fuera de los valores normales, pueden asignarse a un número menor de causas y las recomendaciones para el operador para resolver el problema resultan de esta forma mucho más concretas.

Software de asistencia al operador

En la Tabla VI se precisan las variables que sería necesario monitorear (presiones, niveles y temperaturas). Tales variables aparecen en la planilla del análisis HAZOP. La información correspondiente a *Acciones de Seguridad* puede emplearse, mediante un software de monitoreo y control apropiado, para mostrar pantallas con tales indicaciones, cuando se produzcan los apartamientos de las condiciones normales de operación. Esta estrategia sería de fácil implementación con los programas de uso comercial que se disponen en la actualidad.

Conclusiones

En el área de Separación Secundaria de la destilería del Ingenio Concepción se desarrolló un análisis HAZOP. Con la ayuda de las planillas HAZOP finales se obtuvo:

- Una lista de las variables que sería importante medir para indicación, registro, control y/o alarma.
- Detalles de los sistemas de control, de enclavamiento y de alarmas requeridos para operabilidad de la planta.
- Se vio que la información del HAZOP permitiría generar mecanismos de asistencia al operador durante situaciones de operación anormal a través de software de adquisición de datos.

Agradecimiento

Este trabajo fue desarrollado en el marco de los Proyectos WESAP (INT/01/K07 - financiado por The Perez Guerrero Trust Fund of the Group of 77 a través del Programa de la Naciones Unidas Para el Desarrollo - PNUD) e Ingeniería de Sistemas de Procesos (auspiciado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán). El aporte de datos e información del proceso por parte del personal técnico del Ingenio Concepción (Compañía Azucarera Concepción, Tucumán, Argentina) resultó de inestimable utilidad para el desarrollo de este trabajo.

Referencias

- Kletz, T., (1999). Hazop and Hazan, IChEMI, 4ta. Ed, Londres, Gran Bretaña.
- Swann, C.D., Preston, M.L., (1995), *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 8, 349-353.
- Venkatasubramanian, V., Zhao, J. y Viswanathan, S., (2000). *Computers & Chemical Engineering*, 24, 2291-2302.

EMPLEO DEL MÉTODO HAZOP AL ÁREA DE DESTILACIÓN DE UNA DESTILERÍA DE ALCOHOL

Autores: Dr. Ing. Juan Arturo Pavón Muñoz*; Ing. Norge Garrido*; Ing. Aleida Martínez**; Ing. Juan Carlos Pérez**.

* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
e-mail: apavon@icidca.edu.cu.

** Destilería Paraíso. EA-Melanio Hernández.
e-mail: paraíso@derivados.ss.minaz

Resumen: Se describen los fundamentos del método de Análisis de Riesgos denominado "Análisis de Riesgos y Operabilidad de los Procesos (HAZOP)" y su aplicación al área de destilación de la destilería de alcohol "Paraíso" de la E.A.: Melanio Hernández, situado en la provincia de Sancti Spíritus.

Se analizan los resultados obtenidos en el empleo de este método en la identificación de los riegos potenciales que pudieran representar peligros de accidentes o de fallas en la obtención de la productividad fijada durante la operación del área y se hacen recomendaciones para su detección a tiempo y para el control de los mismos.

Se muestra el empleo del software denominado SCRI-HAZOP como herramienta en la sistematización de las tareas ha realizar y en el ordenamiento de la información que se obtiene como resultado del trabajo.

Tomando en consideración los resultados obtenidos en la aplicación del HAZOP se analizan las posibilidades de utilizar estudios de estas características como uno de los elementos básicos en el establecimiento de la estrategia a seguir en el diseño de los Sistemas de Monitoreo y Control de los Procesos Tecnológicos en cualquiera de las áreas de operación en una destilería,, así como la posibilidad de la elaboración de un software, que incorporado al sistema de alarma propio del esquema de automatización de la instalación, sea capaz de alertar al operador ante las posibilidades de que ocurra una situación de riesgo operativo o, ante la ocurrencia del mismo, sugiera que medidas deben tomarse.

Summary: In this paper, the principles of the Risks Analysis Method Known as Hazard and Operability Analysis (HAZOP) and its application to the area of distillation colunms in "Paraíso" Cuban distillery belonging to the sugar factory Melanio Hernandez, located in Sancti Spíritus province are described..

The results obtained by employing this method in the identification of potential risks which could represent accidents or faults dangers to obtain the fixed productivity set during the operation of the area are analysed. Recommendations for detection and control in time of them are made too.

The use of the software SCRI-HAZOP, as a tool in organization of the necessary tasks to carry out and in the classification of the information obtained as a result of the work, is shown.

Taking into consideration the results obtained with the application of HAZOP, the possibility of using these kings of studies as an element in the establishment of the design strategy for the Supervision and Control Systems of the Technological

Processes in any distillery operation area is analysed. Besides, is analysed the possibilities of developing a program to be incorporated to the proper installation alarm system, in order to alert the operator when an operative risk situation will takes place or to suggest him what to do if the situation have happened.

1.- **Introducción.**

El modo en que se operaran las plantas industriales se establece considerando el objetivo de obtener una producción definida en cantidad y calidad, acorde con los parámetros de diseño, en condiciones seguras y con el máximo de eficiencia.
Por otra parte toda instalación está sometida a diferentes eventos o perturbaciones que tienden a cambiar el estado operacional establecido provocando situaciones de riesgos de accidentes que dañen a seres humanos y/o produzcan problemas operacionales que provoquen pérdidas de carácter económico.
El proceso de obtención de alcohol en una destilería se caracteriza por un alto grado de peligrosidad en la operación de algunas de sus áreas al existir vapores alcohólicos en el medio ambiente, por una operación combinada de procesos discontinuos y continuos en el flujo de obtención de los diferentes productos con una estrecha interdependencia que dificulta la operación, por tener una dinámica compleja en algunas de las variables de operación debido a las características del equipamiento y el proceso tecnológico, además debemos de considerar que los aguardientes y alcoholes obtenidos, que forman parte de bebidas de consumo humano, son afectados significativamente en su calidad por diferentes problemas operacionales.
El estado en que se encuentra la operación de un proceso tecnológico se conoce y controla mediante las mediciones de diferentes magnitudes que gobiernan el proceso. Cualquier cambio en el mismo se refleja en estas mediciones.
Actualmente los operadores de las diferentes áreas en una destilería de alcohol, ante una señal de alarma tecnológica, se enfrentan solos, sin ningún sistema de ayuda, a la problemática de determinar que medidas tomar para atenuar los efectos nocivos que puede provocar la salida del régimen operacional establecido, deben determinar las causas que lo han provocado y decidir que hacer para restablecer la normalidad y ejecutar las decisiones tomadas, todo esto en un lapso de tiempo lo más pequeño posible para disminuir los riesgos que se puedan derivar. Si esto ocurre con más de una variable al mismo tiempo, la situación se complica no solo por multiplicarse las acciones a tomar sino, además, por tener que decidir cual de ellas tomar primero de acuerdo con el grado de peligrosidad de la perturbación producida y la cuantía de la pérdida económica que puede provocar.
Es nuestro propósito elaborar un software, que en principio denominamos de alarma inteligente, que sirva de asistente al operador, al momento de producirse la alarma, en la determinación de las causas que provocan la alarma tecnológica, que le sugiera que medidas tomar y le sirva para controlar la respuesta del proceso a las medidas tomada. Además, del análisis de la situación operacional, sea capaz de alertar al operador de tendencias que puedan llevar a crear una situación de alarma en alguna de las variables de operación.
La etapa inicial de nuestro trabajo ha estado encaminada a identificar los problemas potenciales que pudieran dar como resultado situaciones de riesgo operativo, determinar sus posibles causas y consecuencias y analizar en cada caso que medidas pueden tomarse para enfrentar la situación creada en el área de destilación de la destilería Paraíso de la EA: Melanio Hernández en Sancti Spíritus.
Para ello hemos utilizado el método de Análisis de Riesgo denominado "Análisis de Riesgos y Operabilidad de los Procesos". (HAZOP, por sus siglas en idioma inglés, de Hazard and Operability Analysis)
En la Industria Azucarera Cubana tenemos como antecedente del empleo de este método el trabajo realizado en la planta de generación de vapor del Complejo Agroindustrial "30 de Noviembre" (Montero, Bejerano y Torres, 1994)[1].
El reporte que le exponemos a continuación tiene el propósito de mostrarles los resultados obtenidos en la aplicación del HAZOP.

2.- Materiales y Métodos.-

El estudio realizado en el área de destilación de la destilería "Paraíso" estuvo basado en el empleo del método conocido como "Análisis de Riesgo y Operabilidad de los Procesos" (HAZOP) y en la utilización del software SCRI-HAZOP de la firma Mexicana Dinámica Heurística para el procesamiento de la información obtenida.

Veamos a continuación las características más importantes de los mismos.

2.1.- Análisis de Riesgo y Operabilidad de los Procesos. (HAZOP)

El HAZOP es uno de los métodos empleado en los estudios de análisis de riesgos.
De acuerdo con lo establecido por la Oficina Internacional del Trabajo (OIT)[2] el Análisis de Riesgos tiene como objetivo identificar y evaluar las condiciones de seguridad de las instalaciones y/o el proceso de productos peligrosos, así como identificar los posibles riesgos y las consecuencias de los accidentes que pueden derivar de sus actividades.
El método HAZOP, concebido para realizar los estudios de seguridad en procesos industriales, tiene como objetivo identificar los posibles riesgos y problemas en la operación de la instalación, analizando sus causas y características, determinando el tipo y consecuencias de los accidentes que pueden dar por resultado fallas en la obtención de la productividad diseñada, definir las posibles medidas a tener en cuenta para garantizar una operación segura, estableciendo el control de las desviaciones que puedan conducir a accidentes y los procedimientos para reestablecer las condiciones normales de operación.
En el HAZOP se realiza solo una estimación cualitativa de la frecuencia de los accidentes sin considerar valoraciones cuantitativas con el fin de calcular la frecuencia del riesgo.
En nuestro caso la aplicación del HAZOP se encamino fundamentalmente a identificar y analizar las posibles desviaciones de los valores establecidos de todas las variables de operación y la forma de contrarrestar sus consecuencias.

2.2.- Metodología de Aplicación del HAZOP.

Para la investigación sobre las desviaciones de las variables del proceso se conforma un grupo de especialistas con experiencia en diferentes áreas tales como: ingenieros tecnólogos, químicos, de mantenimiento, etc.
El grupo es guiado, en un proceso estructurado de tormenta de ideas, por un especialista que crea, con la ayuda de documentación previamente elaborada, una estructura de discusión sobre la base de palabras guías (mas, menos, no, etc.) aplicadas a las variables del proceso para analizar las desviaciones que se producirían al salir estas de sus condiciones normales de operación y así se lleva a cabo en cada sección o área y subsecciones (que llamamos nodos) en que se divide la fabrica. Estas palabras guías se aplican de manera sistemática y en todas las combinaciones posibles a las diferentes variables en el nodo, por ejemplo, mas temperatura, menos presión, no flujo para identificar las posibles causas y consecuencias de estas desviaciones.
Finalmente, la identificación de las situaciones de riesgos conlleva la recomendación de las acciones a tomar. Estas pueden indicar la realización de acciones operativas, modificaciones en la instalación, elaboración de documentos normativos, una mayor investigación, etc.
En nuestro caso los resultados se registraron en planillas con los títulos y contenidos siguientes:

Área.- Sección de la fabrica que se analiza.

Nodo.- Una de las subsecciones del área que se analiza. En cada nodo deben establecerse claramente sus limites con relación al resto del equipamiento tecnológico.

Diagrama PID.- Diagrama de tubería e instrumentación correspondiente al nodo. El diagrama debe mostrar todo el equipamiento tecnológico, la instrumentación que posee y las válvulas que se utilizan en la operación.

Variable.- Nombre de la variable que se analiza en el nodo. Se confecciono previamente un listado con todas las variables que se pueden encontrar en el área de acuerdo con las características del proceso.

Palabra guía.- Caracteriza el tipo de desviación. El método HAZOP considera un amplio listado de palabras guías.

Como se detecta la desviación.- Medios y/o métodos con que se cuenta para detectar que se ha producido la desviación de la variable que se analiza.

Posibles causas.- Describe las distintas causas que pueden conducir a que se produzca la desviación.

Consecuencias.-Se describen las consecuencias que se producirán por efecto directo de la desviación.

Otras consecuencias producto de las posibles causas.- Se determina si las posibles causas que motivan la desviación que se analiza, a su vez, pueden provocar otras consecuencias.

Respuesta de Control.- Se indican los mecanismos automáticos existentes capaces de responder ante la ocurrencia de las posibles causas y de las consecuencias. Se explica la acción que se realiza.

Señalización.- Se indican los medios de detección de la desviación, o de las posibles causas que puedan provocarlos, o de las consecuencias que puedan producirse.

Acciones a tomar.- Propuestas de medidas a tomar de acuerdo con las consecuencias identificadas. De la aplicación del HAZOP en Paraíso pudimos agrupar las acciones a tomar en cuatro categorías:

AMC -- Acciones para mitigar o eliminar las consecuencias.
ADC -- Acciones para determinar las causas.
AED -- Acciones para eliminar las desviaciones.
AD -- Acciones dobles, determinan las causas y eliminan las desviaciones.

Comentarios.- Se incluye aquí las observaciones que complementen o apoyen algunos de los elementos reflejados en los incisos anteriores y que pueden ser de interés para el análisis y en la toma de decisiones futuras.

También debemos anotar si la desviación de la variable que se analiza provoca desviaciones de otras variables (efecto domino) ya sea en el m mismo nodo o en nodos diferentes y especificar de que tipo son. Lo mismo debe hacerse si se produce algún efecto cinegético con otras desviaciones.

2.3.- Software "Simulación de Contaminación y Riesgos en Industrias" (SCRI-HAZOP.

El sistema SCRI-HAZOP (Dinámica Heurística)[3] es un software asistente que organiza y facilita los estudios de análisis de riesgos utilizando la metodología del HAZOP. Se basa en la integración de ayudas, estructuras e información en una interfase amigable que permite elaborar, en una forma rápida, la documentación sobre los nodos.

Las bibliotecas del SCRI-HAZOP son bases de conocimientos de la metodología, variables del proceso, palabras guías, desviaciones, causas, componentes de los procesos (válvulas, equipos, etc.) con sus posibles desviaciones, que en forma interactiva se seleccionan y organizan en diferentes categorías en una forma rápida y eficiente para conformar las diferentes partes del análisis.

Finalmente, en el sistema se generan reportes que contienen los resultados de la aplicación de la metodología.

El uso del SCRI-HAZOP estuvo limitado debido a que, de acuerdo con los objetivos que se perseguían, en algunos casos se trataban aspectos que no estaban incluidos en el programa.

3.- Resultados y Discusión.

Los resultados obtenidos en la aplicación de las diferentes etapas del Hazop al área de destilación de la destilería Paraíso se resumen a continuación:

3.1.- Definición del grupo de Expertos.

Se constituyo el grupo de trabajo con técnicos de la destilería y el ICIDCA en las especialidades de Ingeniería de Procesos, Mantenimiento, Instrumentación y Control de la Calidad.

3.2.- Definición de las áreas de trabajo.

La planta se dividió en 5 áreas tecnológicas:

- Almacenaje y Preparación de Mieles
- Fermentación.
- Destilación.
- Columna de Aguardientes.
- Almacenaje y Despacho de Alcoholes.

y tres áreas de servicios:

- Suministro de Vapor.
- Suministro de Agua.
- Suministro de Electricidad.

3.3.- <u>División del Área de Destilación en Subsistema o Nodos.</u>
El estudio lo comenzamos por el área de Destilación por ser esta la más compleja desde el punto de vista operacional y tener un peso importante en los resultados técnico-económicos de la fabrica.
Los nodos que constituyen esta área son:

- Nodo 1.- Alimentación de la baticion.
- Nodo 2.- Columnas destiladoras y rectificadoras.
- Nodo 3.- Columna Depuradora.

3.4.- <u>Elaboración de los Diagramas de Tubería e Instrumentación.(PID)</u>
Se confeccionaron los diagramas de Tubería e Instrumentación de cada nodo considerando en cada uno de ellos todos los equipos tecnológicos, los instrumentos de medición y control automático y las válvulas de operación.
Como ejemplo mostramos en la Fig. 1 el esquema PID del nodo1.

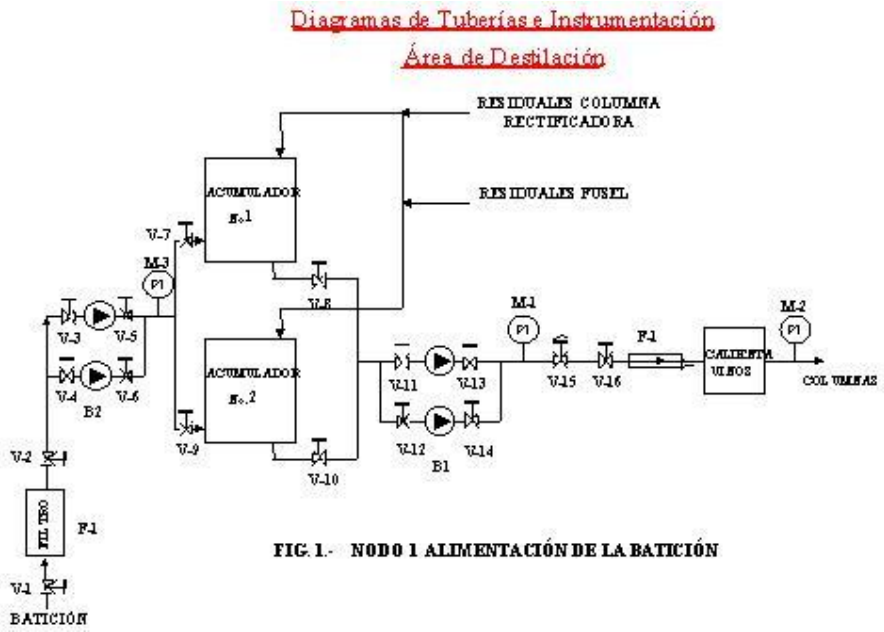


FIG. 1.- NODO 1 ALIMENTACIÓN DE LA BATICIÓN

3.5.-<u>Análisis de las Situaciones de Riesgo.</u>
Para cada nodo se definieron las diferentes variables en que una desviación de las mismas pudieran provocar situaciones de riesgosa y utilizando el PID correspondiente se aplico al análisis previsto según las planillas confeccionadas.
A manera de ejemplo veamos a continuación la información elaborada con la variable Flujo de Batición cuando esta disminuye de sus valores normales de operación.

<u>Nodo1</u>.- Alimentación de la Batición

<u>Variable</u>.- Flujo <u>Palabra guía:</u> Menos

<u>Desviación de la variable</u>.- D1.1.- Disminución del flujo de batición.

<u>Como se detecta la desviación</u>.- DD-1.- Mediante el Flujómetro F1.
DD-2.- Mediante el manómetro M2.

Posibles causas de la desviación.- C1-1.- Cierre parcial de V-16.
C1-2.- Flujómetro F1 no funciona bien.
C1-3.- Bajo nivel en tanque acumulador de batición.
C1-4.- Obstrucción mecánica de alguna de las válvulas V-8, V-10, V-11, V-12, V-13 y V-14.
C1-5.- Calienta vino incrustado.
C1-6.- Mal funcionamiento de la bomba F1.
C1-7.- Obstrucción mecánica de alguna de las válvulas V-15, V-16.

Posibles consecuencias producto de la desviación de la variable D1.1.-
D11-1.- Se corre el plato de la extracción de amílicos.
D11-2.- Desalcoholización de la columna.
D11-3.- Se pierde el sello de la paila de la columna de destilación.
D11-4.- Se sueltan o aflojan las cazuelas de la columna rectificadora.

Posibles consecuencias de las diferentes causas.-
C13.1.- Rotura de las bombas B1
C15-1.- Caída de temperatura a la entrada de la columna destiladora.

Respuesta de control.- No hay control automático del flujo de la batición.

Señalización.- Indicación del flujo de batición en el lugar mediante F1 y en el panel central en CD-600.

Acciones a tomar.- AD-1.- Revisar y abrir V-16 para ver si se restablece el flujo.
AMC-2.- Cambiar estado de operación de la columna disminuyendo presión de vapor (Cierre de la válvula V-18)
ADC-3.- Determinar si la bomba B1funciona adecuadamente.
AED-4.- Avisar a mantenimiento.
ADC-5.- Determinar cual es la causa de tener baja presión en M2 y Baja presión en M1 mediante el nivel del acumulador.
AED.- Restablecer presión en la base de la columna.

Recomendaciones.- R1.- Establecer control de relación entre flujo de alimentación de la batición y la presión de vapor en la base de la columna destiladora.
R2.- Ver en que forma se puede determinar cuando la causa es C1-4 o C!-6 y C1-5 o C1-7.

4.- Conclusiones y Referencias.

De la aplicación del método HAZOP en el análisis de los riegos operacionales que se presentan en el área de destilación en la destilería "Paraíso" de la EA: Melanio Hernández en Sancti Spiritus podemos concluir:

4.1.- El HAZOP demostró ser un método adecuado en el estudio de los riesgos operacionales que se tienen en una destilería de alcohol, identificando estos y analizando sus causas y consecuencias lo que nos permite establecer una metódica de actuar ante ellos en caso de su ocurrencia.

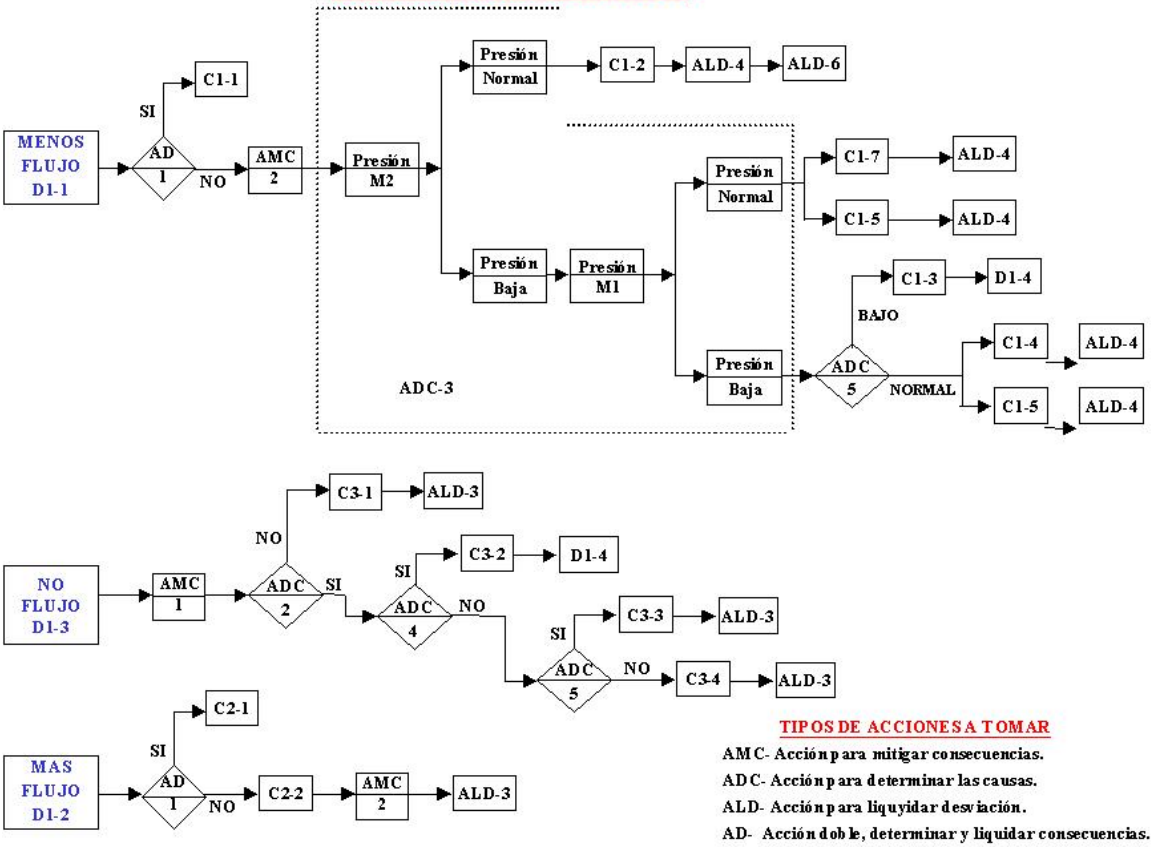
4.2.- Su empleo constituye una herramienta útil en el diseño de los esquemas de medición y control automático y en la revisión de aquellos ya establecidos al analizar, en cada variable, los efectos que sobre el proceso tienen sus desviaciones y por tanto la necesidad de detectar a tiempo las mismas y determinar las medidas que deben tomarse para su no ocurrencia o eliminación. La valoración de las consecuencias sobre los resultados técnico-económicos de la fabrica y la posible frecuencia de ocurrencia de las desviaciones nos permite justificar la magnitud de las inversiones que seria necesario realizar para su eliminación

4.3.- Como resultado del análisis de riesgo aparecen o se ven con mas claridad las deficiencias de los equipos tecnológicos en si mismo y en su interrelación con las diferentes corrientes del proceso, tuberías, equipos de bombeo, valvulerias, etc., producto de la perdida de sus características de diseño o de los cambios efectuados en equipos o medios técnicos de un área sin considerar sus efectos sobre otras.

4.4.- El detallado análisis que se realiza de cómo operar la fabrica ante cualquier desviación de las variables de operación permite actualizar las normas de operación existentes en la destilería.

4.5.- El análisis efectuado en cada nodo nos lleva a la confección de un modelo operacional del nodo como el que mostramos en la Fig. 2, si acoplamos los nodos entre si obtendremos el modelo del área tecnológica y con estos el modelo de la fabrica en su conjunto.
Esto puede ser la base de conocimiento para la elaboración de un software de adiestramiento para los operadores donde estos, actuando en forma interactiva en un esquema en pantalla del área, tengan que responder a las diferentes situaciones de riesgo que el sistema le vaya presentando, evaluando sus respuestas en tiempo real.

FIG. 2.- MODELO DE OPERACIÓN ANTE DESVIACIONES DEL FLUJO DE BATICIÓN



4.6.- Resumiendo, los resultados alcanzados hasta el momento en la aplicación del HAZOP al área de destilación indican que es factible proponernos trabajar en alcanzar objetivos como los siguientes:

1. La elaboración de un sistema de alarma inteligente que asesore al operador en las acciones a tomar en caso de ocurrencia de una alarma por desviación de los variables de operación.

2. Elaboración de un software de entrenamiento y actualización en la operación de técnicos y operadores de las diferentes áreas de la destilería.
3. Desarrollar un programa asistente para la realización de Análisis de Riesgo en una Destilería de Alcohol considerando nuestros objetivos y peculiaridades
4. Elaboración de una metódica que permita utilizar los resultados del estudio para evaluar la situación operativa de la fabrica considerando todos los factores que intervienen en ella.
5. Elaboración de una metódica para utilizar los resultados del estudio como elementos en la revisión del sistema de medición y control automático existente en la fabrica que permita su evaluación y proyección.
6. Confeccionar una metódica que facilite la actualización de las normas de operación de la instalación.

Referencias:

1.- Montero, R; Bejerano, N; Torres, J. (1994), Ingenieria Indusgtrial, Vol. XV, No. 1, 69-75.
2.- Oficina Internacional del Trabajo. http://www.proteccion civil.org/centrodoc
3.- Dinámica Heurística, S.A. de C.V. http://www.heuristicos.com

SIDEL: SISTEMA DE DISEÑO Y SIMULACIÓN DE DESTILERÍAS

Ing. Norge A. Garrido Carralero

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 esq. Carretera Central. San Miguel del Padrón. Ciudad Habana.

EMAIL: ngarrido@icidca.edu.cu

SUMMARY

The present work, is supported in EXCEL, allows leaving of the data of an existent distillery or for the projection of a new one to rich the necessary information. In the first case, it offers us the diagnosis of the technical-productive state of the whole installation and in the second case, bring basic information to carry out the preliminary technological design. It calculates also the value of the investment, as well as the of recovery time depending on the case.

The analysis of the information offer to us by the program, allows to carried out the study of economic feasibility of the investment.

INTRODUCCIÓN

El ICIDCA, ha trabajado desde inicios de la década del 90 en desarrollar un sistema para la simulación de destilerías, en aquel entonces se utilizó el paquete de programas TK Solver, pero por la complejidad del sistema fermentación – destilación los resultados no fueron buenos.

En la actualidad en el mundo se trabaja en el desarrollo de sistemas computacionales con este fin. Tenemos referencias de trabajos desarrollados en Italia, Brasil y Estados Unidos.

El presente trabajo esta desarrollado en base EXCEL(4), el mismo nos posibilita realizar el balance de masa y energía de la destilería permitiéndonos realizar los cálculos del equipamiento tecnológico, servicios auxiliares, así como el costo aproximado de la inversión y su tiempo de recuperación. Los cálculos para el ejemplo se desarrollaron para una destilería de 500 HL/d de capacidad.

DATOS GENERALES		
Capacidad	**500**	**HL/d**
Tiempo de Operación	240	Días
Capacidad Central	**7000**	t/d
Tiempo de Zafra	120	Días
Indice de Consumo de Miel	380	kg/HL

DESARROLLO

El paquete de simulación (**SIDEL**), está conformado por distintos bloques de cálculos tecnológicos y otros aspectos tanto de diseño como económicos. Estos bloques son:

- Fermentación
- Recuperación de Levadura (centrifugación y secado)
- Destilación
- Servicios auxiliares
- Aspectos económicos.

Bloques tecnológicos

1. Fermentación

Con la información inicial de la destilería objeto de análisis como son (3,5,6) ,índice de miel ,ART., Nº. de fermentadores ,grado alcohólico en batición, volumen de los fermentadores ,etc. Calcula el volumen de vino a fermentar, la cantidad de Prefermentadores, Intercambiadores, Bombas, así como las características fundamentales de estos equipos: área, volumen, capacidad, etc.. Además calcula el volumen de agua de enfriamiento en los fermentadores.

Fig. No. 1- Datos de Salida Area de Fermentación

AREA FERMENTACION		
Volumen prefermentador	40	m3
No. Pre-fermentadores	3	
Volumen Cultivador	4	m3
No. Cultivadores	2	
Volumen Útil de los Fermentadores	190	m3
Brix	18.05	%
Volumen Jugo Filtros	0.00	m3/d
Alcohol en Batición	57.51	t/d
Producción CO2	34.95	t/d
Area total Intercambiadores	198	m2
Area/ Intrcambiador	50	m2
No. de Intercambiadores	4	
Grado Alcohólico Batición	7.18	ºGL
Coeficiente R/I (Azúcar Res. / Infer.)	1.12	
Rendimiento Alcohólico	58	kg./m3
Azucares Necesarios a Fermentación	98.80	t/d
Azucares Aportadas/ Miel	98.80	t/d
Azucares Aportadas/Jugo a Fermenta	0.00	t/d

2. Recuperación de levadura (Centrifugación y secado)

En este bloque, el paquete calcula las características que deben tener los equipos para la capacidad de diseño de la destilería, como número de centrífugas y capacidad de estas, así como los datos fundamentales del secador y el consumo de vapor en este. Calcula la cantidad de levadura seca o en crema producida por día.(3,5)

Fig. No. 2- Datos de Salida Area de Centrifugación y Secado

AREA CENTRIFUGACION Y SECADO		
Capacidad de la Centrifuga	28.00	t/d
Capacidad del Secador	4	t/d
Producción de Levadura (BS.)	3.54	t/d
Levadura Crema 2da Separación al 60 %	12.21	t/d
Levadura en Batición (BS)	4.67	t/d

3. Destilación

Partiendo de la cantidad de los productos finales y la calidad de cada uno de ellos, calcula el diámetro de las columnas, así como el consumo de vapor, volumen de vinazas, datos fundamentales para el diseño del Intercambiador de fondo, separador de óleo Fusel, condensadores y bombas. (1,7)

Además calcula los volúmenes de agua a utilizar en los condensadores de las distintas columnas

Fig. No. 3- Datos de Salida Area de Destilación

AREA DESTILACION		
Flujo Vapor al Fondo de la Columna	139.78	t/d
Flujo de Vinazas	851.13	t/d
Relación V/P	1.70	
Intrcambiador Fondo Columna	41	m2
Oleo Fusel	0.67	HL/d
Eficiencia Destilación	93.63	%
Eficiencia Total Destilería	74.90	%
Consumo Total de Vapor	161.44	t/d
Diámetro Columna Destiladora	1.57	m
Diámetro Columna Rectificadora	1.53	m
Diámetro Columna Hidroselectora	0.00	m
Diámetro Columna Depuardora	0.00	m
Diámetro Columna Aguardiente	0.00	m
Area Condensador C-01	179	m2
Area Condensador C-02	183	m2
Area Condensador C-03	188	m2

4. Servicios Auxiliares

Calcula la demanda de vapor, electricidad, aire y agua en la destilería objeto de análisis, la capacidad de la caldera, turbo, compresor, así como el consumo de combustible en la generación de vapor.(3,6)

Fig. No. 4- Datos de Salida Area de. Servicios Auxiliares

SERVICIOS AUXILIARES		
Capacidad de la Caldera	0	t/d
Capacidad del Turbo	0	kw/h
Potencia Instalada	263.38	kw/h
Flujo total aire	532.05	Nm3/min.
Petróleo (t/d)	0.00	t/d
Petróleo (Gal/HL)	0.00	Gal/HL
Flujo Agua Fría a Condensadores	1622.85	m3/d

5. Aspectos económicos

Partiendo de la capacidad de la planta, el programa calcula el costo de inversión del equipamiento tecnológico. Además con el costo de producción y precio de venta de los productos finales, aplicando como herramienta el flujo de caja, calcula los índices económicos que determinaran la factibilidad de la inversión.(1)

Fig. No. 5- Análisis Económico de la Inversión

ASPECTOS ECONÖMICOS		
Costo Inversión	$6,548,932.77	$
Costo Producción Anual	$2,388,112.86	$
Precio Venta Anual	$5,674,269.01	$
Ganancia Anual	$3,286,156.15	$
Período de retorno sin descuento	2.26	Años
Período de retorno con descuento	2.45	Años
VAN (3er. Año)	$962,778.76	$
TIR	90.83%	%

CONCLUSIONES

1. El sistema "SIDEL", es una herramienta útil para el diseño o evaluación de destilerías.

2. Se pueden hacer estudios de economía de escala de forma rápida.

3. Se pueden optimizar distintos parámetros de interés en una destilería (consumo de vapor, consumo de miel, ganancias, etc.)
4. Brinda la información necesaria para el diseño del equipamiento tecnológico de la destilería y los servicios. auxiliares

BIBLIOGRAFÍA

(1) Blattner P., Ulrich L., Cook K., Dyck T., (2000), Microsoft Excel 2000. Ediciones ANAYA MULTIMEDIA. Madrid. España.
(2) Chen jung,H. Hodson R, J.(1988), Platos perforados. Petróleo Refiner.
(3) Kern, DQ. (1986), Procesos de transferencia de calor. Edición revolucionaria. La Habana.
(4) Manual del usuario (IBM). (1988), "Métodos aproximados de diseño y simulación de equipos de destilación". Series Técnicas..

(5) MINAZ. (1971), Manual de operación de destilerías, fermentación y recuperación de levaduras. Grupo de Supervisión.
(6) Perry, H J. (1992), Manual del Ingeniero químico. Editorial Hispanoamericana. España.
(7) Villena, D M. (1998), Destilación de alcohol. Madrid.

SIMULACION MODULAR SECUENCIAL DE DESTILERIAS DE ALCOHOL CON FINES ENERGETICOS

MSc. Ing. Osney Pérez Ones [1]
Dr. Ing. Osvaldo Gozá León [1]

[1] Grupo Azúcar, Facultad Ingeniería Química, CUJAE, Ave.114, No. 11901, e/ 119 y 127. Marianao, Ciudad de la Habana, Cuba, CP 19390, osney@quimica.cujae.edu.cu, ogoza@quimica.cujae.edu.cu

Resumen

En este trabajo se presentan una valoración de los distintos programas que han sido utilizados para la simulación de destilerías de alcohol, y una propuesta de módulos de cálculo a ser incorporados en el programa de simulación modular secuencial **TERMOAZUCAR** con vistas a su aplicación en destilerías de alcohol. Dicha propuesta considera nuevos módulos de cálculo para la simulación de destilerías de alcohol técnico y fino, y ecuaciones para la evaluación de entalpías específicas de mezclas etanol-agua, válidas en todo el intervalo de composiciones a la presión atmosférica entre 268 y 473 K. Los valores de entalpías específicas obtenidas con estas ecuaciones son comparados con los reportados en la literatura, mostrándose la bondad de los ajustes. Se ilustra además la aplicación de estos módulos de cálculo a un caso real, la destilería "Héctor Molina Riaño"; los resultados de la simulación son comparados con los que ofrecen los programas **DESTIL**, **RON1** y **SIDEL**.

Palabras claves: Simulación, Etanol, Destilería, Energía, Alcohol

ENERGY ORIENTED SIMULATION OF ALCOHOL DISTILLERIES WITH MODULAR SEQUENTIAL APPROACH

Abstract

In this paper a revision of programs that have been used for the simulation of alcohol distilleries is presented, as well as a proposal of calculation modules for the energetic evaluation of alcohol distilleries to be included in **TERMOAZUCAR** modular sequential simulation program, is presented. This proposal considers new calculation modules for the simulation of technical and fine alcohol technology and an equation system for the calculation of specific enthalpies of ethanol-water mixtures valid in all composition range at atmospheric pressure between 268 to 473 K. Specific enthalpies values obtained are compared with different sources from the literature showing satisfactory adjustments. The application of these calculation modules to a real case, the "Hector Molina Riaño" distillery, is also presented; its results are compared with those from **DESTIL**, **RON1** and **SIDEL** programs.

Keywords: Simulation, Ethanol, Distillery, Energy, Alcohol

Introducción

La Industria Azucarera Cubana en estos últimos años ha estado sumergida en un proceso de modernización, con el objetivo fundamental de aumentar la calidad de las producciones y lograr una disminución en los costos buscando competitividad en un mercado abarrotado de azúcar de alta calidad a muy bajos precios. En esta estrategia el mayor peso lo lleva el aumento de la producción cañera y los trabajos en la calidad y los costos del azúcar, pero existen otras variantes como la diversificación de las

producciones que puede llegar a ser una alternativa muy valiosa para lograr una mayor revalorización de la caña, además de una mejor y más variada oferta de surtidos en el mercado.

En general, los países productores han buscado la forma de disminuir los costos de producción mediante la optimización de la industria, y el perfeccionamiento y modernización de la producción de derivados. La mayor parte de los derivados de la caña constituyen rubros exportables y por tanto tienen gran importancia en el desarrollo económico del país. De todos los derivados, los de la miel han sido los que con mayor fuerza han entrado al mercado, de ellos sobresalen los alcoholes, rones y aguardientes. En las condiciones cubanas, la diversificación azucarera responde a una estrategia puesta en práctica desde hace mucho tiempo. Esta no puede enfocarse como la existencia de instalaciones aisladas para la producción de alcohol, levaduras y otros productos, sino como un verdadero complejo industrial con la correspondiente interrelación desde el punto de vista de materias primas, portadores energéticos, etc. Una de las premisas fundamentales para el desarrollo exitoso de los derivados de la caña de azúcar consiste en lograr la integración del complejo productivo azúcar-derivados, tanto en los aspectos de procesos como energéticos, de modo que se alcance la mayor eficiencia técnico-económica posible en el sistema. Resultan de interés las posibilidades que ofrece la producción combinada de azúcar y alcohol. La importancia de la caña como materia prima en la producción de alcohol radica no sólo en su alto contenido de azúcar, sino que además el bagazo constituye una fuente capaz de satisfacer los requerimientos energéticos del complejo productivo.

En la actualidad grandes son los esfuerzos que realizan las industrias en general, independientemente de sus tecnologías y características, para garantizar un uso eficiente de los portadores energéticos, así como por utilizar todas aquellas reservas energéticas que hasta el momento no habían sido empleadas, con vistas a producir con una alta eficiencia termoenergética **(Jiménez, 1991)**. No sólo en nuestro país, sino a nivel mundial se reconoce que muchas fábricas de azúcar en operación hoy día no están configuradas ni son operadas para una eficiencia térmica óptima. El diseño original de las fábricas se centró en la producción, cuando la energía no constituía una gran preocupación. Existe por tanto un gran potencial para incrementar la producción de energía de estas fábricas **(Gozá, 1996),** lo que es también es válido para las fábricas de derivados de la caña de azúcar. La tecnología instalada en nuestras destilerías es convencional y conserva esquemas de hace más de cincuenta años. Su estructura ha obedecido siempre a la necesidad del aprovechamiento rápido de los altos precios y no a un desarrollo racional de una industria con cimientos sólidos. Aún sin la construcción de nuevas capacidades, ni la introducción de aspectos novedosos, se encuentran nuestras mayores reservas productivas en el incremento de la explotación de estas instalaciones **(Jay, 1998)** haciendo un uso más eficiente de la energía. Considerando que el consumo específico de combustible a nivel nacional para la producción de alcohol es alto, se evidencia la necesidad de analizar y poner en práctica las diferentes vías de ahorro de energía para garantizar un trabajo más eficiente desde el punto de vista termoenergético **(Jiménez, 1991).**

En los años recientes la mayoría de los países han reconocido la necesidad de hacerse menos dependientes de los combustibles fósiles. La vía para alcanzar progresivamente una alta eficiencia en el uso de los recursos energéticos consiste en la aplicación sistemática de análisis energéticos en las instalaciones, uso de tecnologías modernas y mejoramiento del equipamiento, es decir, mediante una aplicación consecuente de la ciencia y la técnica. Cuando se trabaja y logra hacerse un uso racional de la energía, se obtienen ventajas adicionales y complementarias relacionadas con la disminución de la agresión al medio ambiente, al reducirse las emanaciones de gases a altas temperaturas, residuales sólidos y líquidos.

El análisis de procesos constituye una herramienta eficaz para incrementar la eficiencia técnico-económica de las industrias químicas, de posibilidades cada vez mayores con el uso de la computación. Las técnicas de análisis de procesos se han extendido mucho en la industria química, no tanto así en la azucarera y de derivados. La extensión del uso de estas técnicas permitirá analizar los procesos de forma tal que se logre elevar su eficiencia técnica y económica con una disminución de la afectación al medio ambiente. La simulación por computadora constituye, una potente técnica de análisis de procesos bien

establecida en Ingeniería Química, con gran actualidad y perspectivas, y con múltiples aplicaciones, en especial en el campo de ahorro de energía **(Gozá, 1996).**

Vinculadas a la industria azucarera y alcoholera se han desarrollado en nuestro país diversas bases de cálculos para la simulación del proceso, entre las que se tienen a **TERMOAZUCAR (RON1) (Pérez de Alejo, 1989), ACOPLA (Suárez, 1973), SIMFAD (Sabadi 1991)** y **SIDEL (Garrido, 2002)**. De estos programas desarrollados en nuestro país **TERMOAZUCAR** es el único de naturaleza modular-secuencial y que utiliza un sistema experto para el análisis de los resultados **(Gozá, 2002).** Los programas de simulación existentes para la Industria Alcoholera en nuestro país, **ACOPLA**, **SIMFAD** y **SIDEL**, se caracterizan por desarrollar una simulación poco flexible. Por otra **TERMOAZUCAR** cuenta con un solo módulo de cálculo para la simulación de destilerías de alcohol con posibilidades muy limitadas para la evaluación de distintas tecnologías. Sin embargo, su naturaleza modular-secuencial hace que esté abierto a un continuo perfeccionamiento y que tenga una gran flexibilidad para la evaluación integral y sistémica de distintos esquemas. Estas características, junto con la posibilidad de implementar un análisis automatizado de la simulación con un sistema experto, hacen de **TERMOAZUCAR** una base de cálculo muy propicia para poder analizar con rapidez y rigor estudios energéticos que integren las industrias azucarera y alcoholera.

Desarrollo

Los simuladores se diferencian ampliamente en su arquitectura e implementación, pero todos tienen en común funcionalidad impuesta por las tareas que modelan. Esta funcionalidad se puede resumir en términos de 4 tipos de componentes conceptuales **(Global, 2003)**:

- ***Programa ejecutivo:*** este componente es el ejecutivo del simulador, el cual es responsable de la instalación de otros componentes y su colocación con el sistema operativo, interacciones con los usuarios, acceso y almacenamiento de datos, reporte y análisis de los cálculos de la simulación.

- ***Operaciones unitarias:*** estos componentes representan procesos físicos y también realizan papeles especializados tales como ejecución de cálculos adicionales para apoyar la optimización del proceso.

- ***Propiedades físicas:*** una funcionalidad crítica del simulador es la capacidad de modelar propiedades y el comportamiento de los materiales que son utilizados o creados por el proceso. Las propiedades y el comportamiento incluyen propiedades termodinámicas y de transporte.

- ***Solvers numéricos:*** esto incluye los métodos matemáticos especializados usados para evaluar las ecuaciones que describen una operación unitaria.

Este trabajo se concentra en los componentes ***Operaciones unitarias*** *y* ***Propiedades físicas,*** al ser estos los que están relacionados con la tecnología en cuestión. Se aprovecha para ello el ***Programa ejecutivo*** y los ***Solvers numéricos*** disponibles en **TERMOAZUCAR**, por encontrarse fácilmente disponible y presentar las características necesarias para la realización del trabajo. Es necesaria la incorporación de nuevos módulos de cálculo, que le permitan obtener una mayor cantidad de información para el análisis en fábricas de alcohol.

Los esfuerzos de simulación en otros países se han enfocado fundamentalmente a las áreas de fermentación y destilación, y al ser ésta última la de mayor consumo de energía han simulado las columnas. Para ello han utilizado simuladores profesionales como **HYSYS, ASPEN PLUS, CHEMCAD, SUPERPRO DESIGNER**. Estos potentes simuladores existentes para el análisis de procesos en la industria química no se han podido utilizar extensivamente en la industria alcoholera, que en la actualidad se encuentra muy tipificada, entre las causas se cuentan las siguientes **(Capote, 2002)**:

- Al ser de propósito general y en su mayoría estar diseñados a partir de experiencias de la industria petroquímica, resulta difícil alcanzar el grado de confiabilidad necesario en la representación matemática del proceso físico real en esta otra industria.

- Limitaciones en cuanto a la estimación de las propiedades físico – químicas de las sustancias que la industria alcoholera manipula, así como que, la industria posee operaciones unitarias que los grandes simuladores no incluyen de forma especifica, como lo es la simulación de la etapa de fermentación.

- El precio del sistema computacional es alto.

- Se necesita un adiestramiento especializado del personal, que en algunos casos requiere el conocimiento de algún lenguaje de computación.

Así tenemos que internacionalmente solo se cuenta con un simulador orientado a la industria alcoholera **(DESTIL)** y en nuestro país se hayan desarrollado 4 simuladores **(RON1, ACOPLA, SIMFAD, SIDEL)**.

Nuevos módulos de cálculo

Los modelos matemáticos constituyen la columna vertebral de los simuladores de procesos. La riqueza y efectividad de un simulador viene dada, entre otros aspectos, por la variedad, validez y alcance de su biblioteca de modelos, incluyendo las funciones de cálculo de las propiedades físicas de las corrientes. El programa **TERMOAZUCAR**, se desarrolló inicialmente para efectuar la simulación en fábricas de azúcar crudo y azúcar refino y cuenta en su biblioteca con sólo un modelo para efectuar la simulación en destilerías de alcohol de manera muy limitada y sin aprovechar las ventajas del enfoque modular secuencial. De lo anterior se infiere, que es necesario realizar una ampliación de **TERMOAZUCAR**, mediante la incorporación de nuevos módulos de cálculo, que le permitan obtener una mayor cantidad de información para el análisis de los STE en fábricas de alcohol.

Considerando que la modelación matemática del proceso de producción de alcohol ha sido abordada en numerosos trabajos, l esfuerzo fundamental debe encaminarse a la concepción que deben tener los nuevos módulos de cálculo en la simulación, su programación y validación. El desarrollo de uno o varios modelos matemáticos para representar un proceso o partes del mismo depende, en primer lugar, del objetivo del estudio que se realiza, de aquí que sean los objetivos de la simulación los que determinan la complejidad del modelo. Se debe tener presente que, los modelos complejos, no son siempre necesarios. Aunque el ingeniero debe conocer lo suficiente para aplicar las técnicas más complicadas cuando la situación así lo requiera, lo que se puede resolver con el grado de exactitud requerido para las condiciones técnico-económicas de una situación dada, no es necesario complicarlo por el solo hecho de desear ser más científico. Un buen modelo, debe reflejar los factores más importantes que afectan el proceso real y sólo debe ser complicado cuando los objetivos del modelo general lo ameriten, pues de lo contrario, los factores secundarios hacen más difícil el análisis matemático y pueden dificultar la evaluación de la investigación.

La naturaleza modular - secuencial de **TERMOAZUCAR** permite la fácil incorporación de nuevos módulos de cálculo y con ello su constante perfeccionamiento. Sobre la base de las limitaciones de los simuladores incluyendo el tratamiento de las propiedades, ya analizadas anteriormente y de las características de las distintas tecnologías de la producción de alcohol, se propone en el presente capítulo como objetivo, describir los nuevos módulos de cálculo que se proponen con vistas a poder simular las destilerías de alcohol con un enfoque modular secuencial. La aplicación de estos módulos a un caso real se ilustrará más adelante.

Evaluación de propiedades

Para el siguiente trabajo fue necesario obtener ecuaciones para la evaluación de las propiedades entalpía, capacidad calorífica, densidad y constante de distribución del sistema binario etanol-agua a presión atmosférica. Primeramente se utilizó el estudio realizado sobre la construcción del diagrama entalpía-composición **(Rodríguez, 1985)**, siguiendo un camino termodinámico a partir de datos experimentales obtenidos de la literatura **(Dodge, 1970) (Díaz, 1974)**. Las ecuaciones para la construcción del diagrama, utilizadas en el trabajo, responden a los pasos teóricos necesarios para confeccionar un diagrama entalpía-composición para mezclas binarias de líquidos miscibles entre sí, aplicándose técnicas estadísticas de ajuste a los datos experimentales reportados en la literatura y necesarios para la obtención de las ecuaciones; para ello se utilizó un programa del tipo regresión lineal.

El método de cálculo fue elaborado de forma que sólo es necesario conocer como datos iniciales la temperatura y la composición de la mezcla por ser estos los parámetros fundamentales para evaluar las propiedades termodinámicas de las mezclas binarias alcohol etílico-agua a presión atmosférica **(Rodríguez, 1985).** El conjunto de ecuaciones empleadas en los cálculos de las entalpías específicas, según los requerimientos del método pueden verse en **Pérez (2003)**. Como resultado se observan desviaciones positivas o negativas de acuerdo a la zona que evalúe. La diferencia entre las entalpías específicas en todos los estados físico-técnicos, no son significativas, siendo el caso del ajuste del equilibrio líquido-vapor donde se aprecian las mayores desviaciones.

Para determinar las constantes de distribución en mezclas etanol-agua se ajustaron estadísticamente los datos de equilibrio liquido-vapor que aparecen reportados en la literatura **(Perry, 1992)** a la presión atmosférica. La dependencia de la densidad de una mezcla líquida etanol-agua con la composición a presión atmosférica se ajustó partiendo de los datos consultados **Tablas (s/a).** Se hizo necesario también ajustar varias ecuaciones que expresan la relación entre los porcientos volumétricos y másicos **(Stabnikov, 1976)** con vistas a ser usadas en los cálculos. En **Pérez (2003)** se presentan los valores de las constantes de equilibrio de la mezcla etanol-agua obtenidas de las ecuaciones desarrolladas en este trabajo y una comparación de estos resultados con los determinados experimentalmente y que aparecen en la literatura **(Perry, 1992)** para los distintos valores de temperatura a presión atmosférica. Se ofrece además una comparación de resultados de densidades obtenidas con la ecuación desarrollada en este trabajo con los determinados experimentalmente y que aparecen en la literatura **Tablas (s/a)** para los distintos valores de composición de etanol.

Módulo de cálculo para la simulación de columnas de destilación

El módulo de cálculo Columna Destiladora se ha concebido para que, conocida las condiciones de la alimentación (batición), la recirculación (agua residual de la rectificadora) y la composición de los vapores alcohólicos y las vinazas, se pueda calcular el consumo de vapor de la columna destiladora y los flujos de vapores alcohólicos y vinazas producidos, operando a presión atmosférica. En este módulo se logra simular la columna mediante ecuaciones rigurosas de balance de materiales y energía (5), así como evaluación de propiedades, lo cual no hacen los simuladores anteriormente analizados. Aparece en la mayoría de los esquemas de producción de alcohol. La evaluación de propiedades físicas y termodinámicas de las corrientes alcohólicas se realiza mediante las funciones de cálculo de propiedades propuestas en el epígrafe anterior, y en el caso del vapor de agua están disponibles en **TERMOAZUCAR**. Para representarlo en el Diagrama de Flujos de Información del proceso (DFI), se utiliza como símbolo el siguiente:

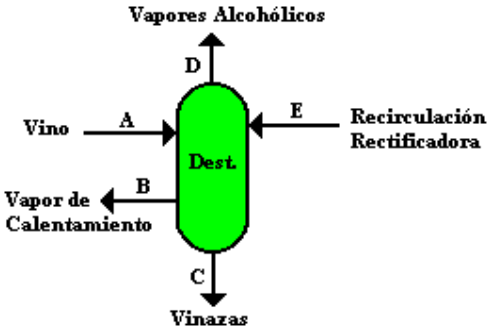


Figura 1. Módulo Columna Destiladora

Las variables independientes consideradas son:

A – Flujo volumétrico de batición o vino fermentado, m^3/h.
x_{1A} – Composición de etanol en batición, fracción molar.
T_A – Temperatura de la batición alimentada, ºC.
P_B - Presión absoluta del vapor de calentamiento alimentado a la columna, psia.
x_{1C} – Composición de etanol en vinazas o mostos residuales, fracción molar.
T_C – Temperatura de las vinazas, ºC.
y_{1D} – Composición de etanol en vapores alcohólicos, fracción molar.
T_D – Temperatura de los vapores alcohólicos, ºC.
E – Flujo volumétrico de recirculación de la columna rectificadora, m^3/h.
x_{1E} – Composición de etanol en recirculación de la rectificadora, fracción molar.
T_E – Temperatura de la recirculación de la columna rectificadora, ºC.

Como variables de salida se tienen:

B - Consumo de vapor de calentamiento de la columna destiladora, kg/h.
D – Flujo volumétrico vapores alcohólicos, m^3/h.
C – Flujo volumétrico de vinazas, m^3/h.
EF – Eficiencia de separación de la columna, %.
PA – Pérdidas de alcohol en la columna, %.

Módulo de cálculo para la simulación de columnas rectificadoras

El módulo de cálculo Columna Rectificadora se ha concebido para que, conocida las condiciones de la alimentación (vapores alcohólicos) y la recirculación, se puedan calcular los flujos de alcohol técnico A, cabezas, aceite fusel y agua residual, operando a presión atmosférica. Este módulo puede ser utilizado en los esquemas de alcohol técnico, fino y extrafino. En este módulo se logra simular la columna rectificadora de una forma más completa y detallada, mediante ecuaciones rigurosas de balance de materiales y energía y relaciones de equilibrio (31), lo cual no hacen los simuladores anteriormente analizados, pues simulan la columna destiladora y rectificadora como un solo módulo, excepto **SIDEL**. Para representarlo en el Diagrama de Flujos de Información del proceso (DFI), se utiliza como símbolo el siguiente:

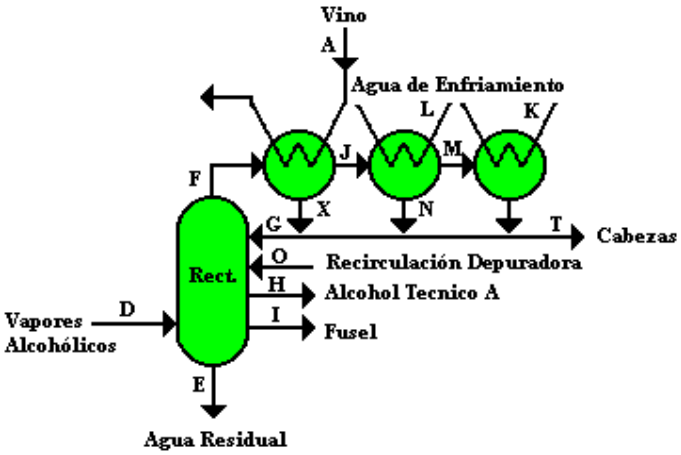


Figura 2. Módulo Columna Rectificadora

Las variables independientes consideradas son:

D – Flujo volumétrico de vapores alcohólicos de la destiladora, m^3/h.
T_D – Temperatura de los vapores alcohólicos de la destiladora, ºC.
y_{1D} – Composición de etanol en vapores alcohólicos de la destiladora, fracción molar.
x_{1E} – Composición de etanol en agua residual de la rectificadora, fracción molar.
T_E – Temperatura del agua residual de la rectificadora, ºC.
F – Flujo volumétrico de vapores alcohólicos de la rectificadora, m^3/h.
y_{1F} – Composición de etanol en vapores alcohólicos de la rectificadora, fracción molar.
T_G – Temperatura del reflujo a la rectificadora, ºC.
T_H – Temperatura del alcohol técnico A producido, ºC.
x_{1H} – Composición de etanol en la corriente de alcohol técnico A producido, fracción molar.
x_{1I} – Composición de etanol en fusel, fracción molar.
T_I – Temperatura del fusel extraído de la rectificadora, ºC.
O – Flujo volumétrico de recirculación de la columna depuradora, m^3/h.
x_{1O} – Composición de etanol en recirculación de la depuradora, fracción molar.
T_O – Temperatura de la recirculación de la columna depuradora, ºC.
T_{cal} – Temperatura a la salida del calientavinos, ºC.
T_{cond1} – Temperatura a la salida del condensador primario, ºC.
T_{A1} – Temperatura inicial de la batición, ºC.
T_{A2} – Temperatura final de la batición, ºC.
T_{L1} – Temperatura inicial del agua de enfriamiento, ºC.
T_{L2} – Temperatura final del agua de enfriamiento, ºC.
x_{1T} – Composición de etanol en cabezas de la rectificadora, fracción molar.
T_T – Temperatura de las cabezas de la rectificadora, ºC.
RE – Relación de reflujo interno, adim. (este valor oscila entre 2 y 6).
Dext - Diámetro exterior de los tubos, m.
Dint - Diámetro interior de los tubos, m.
Lt - Longitud de los tubos, m.
Nt - Número de tubos, adim.
Npt – Número de pases por los tubos, adim.

Como variables de salida se tienen:

E – Flujo volumétrico de agua residual de la rectificadora, m^3/h.
H – Flujo volumétrico de alcohol técnico A producido, m^3/h.
I – Flujo volumétrico de fusel producido, m^3/h.
T – Flujo volumétrico de cabezas en la rectificadora, m^3/h.
%P – Pérdidas de calor en el calientavinos, %.
L – Flujo volumétrico de agua de enfriamiento al condensador primario, m^3/h.

K – Flujo volumétrico de agua de enfriamiento al condensador secundario, m^3/h.
Ud - Coeficiente global de transferencia de calor, kcal/kg.^{0}C (Según **Pávlov (1981)** para vapor en condensación de sustancias órganicas a agua este oscila entre 300- 800 W/m^2.K (52- 140 BTU/h.pie^2.^{0}F), Por su parte **Welty (1969)** plantea que en el caso de agua para condensar alcohol, este oscila entre 45- 102 BTU/h.pie^2.^{0}F (255- 680 W/m^2.K).
ET - Efectividad termodinámica, adim.
v_{tub} - Velocidad del fluido por el interior de los tubos, m/s.

Módulo de cálculo para la simulación de columnas depuradoras

El módulo de cálculo Columna Depuradora se ha concebido para que, conocida las condiciones de la alimentación (alcohol técnico A), se puedan calcular los flujos de alcohol fino A, cabezas, agua residual y vapor de calentamiento, operando a presión atmosférica. Este módulo puede ser utilizado en los esquemas de alcohol fino y extrafino. En este módulo se logra simular mediante ecuaciones rigurosas de balance de materiales y energía y relaciones de equilibrio (17) la columna depuradora de una forma más completa y detallada. Los únicos simuladores de los anteriormente analizados que simulan esta columna son **RON1**, como un solo módulo que incluye a la destiladora y la rectificadora y **SIDEL** como un módulo independiente. Para representarlo en el Diagrama de Flujos de Información del proceso (DFI), se utiliza como símbolo el siguiente:

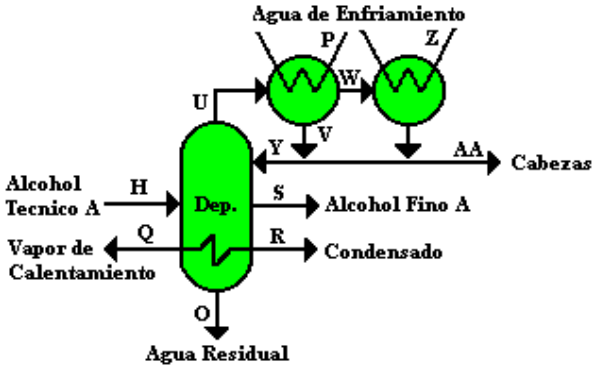


Figura 3. Módulo Columna Depuradora

Las variables independientes consideradas son:
H – Flujo volumétrico de alcohol técnico A producido en la rectificadora, m^3/h.
T_H – Temperatura de alcohol técnico A producido en la rectificadora, ºC.
x_{1H} – Composición de etanol en alcohol técnico A, fracción molar.
x_{1O} – Composición de etanol en agua residual de la depuradora, fracción molar.
T_O – Temperatura del agua residual de la depuradora, ºC.
U – Flujo volumétrico de vapores alcohólicos de la depuradora, m^3/h.
T_U – Temperatura de los vapores alcohólicos de la depuradora, ºC.
y_{1U} – Composición de etanol en vapores alcohólicos de la depuradora, fracción molar.
T_Y – Temperatura del reflujo a la depuradora, ºC.
T_S – Temperatura del alcohol fino A producido, ºC.
x_{1S} – Composición de etanol en alcohol fino A, fracción molar.
T_{cond1} – Temperatura equilibrio a la salida del condensador primario, ºC.
T_{P1} – Temperatura inicial del agua de enfriamiento, ºC.
T_{P2} – Temperatura final del agua de enfriamiento, ºC.
x_{1AA} – Composición de etanol en cabezas de la depuradora, fracción molar.
T_{AA} – Temperatura de las cabezas de la depuradora, ºC.
RE – Relación de reflujo interno, adim. (este valor oscila entre 2 y 6).
Como variables de salida se tienen:
O – Flujo volumétrico de agua residual de la depuradora, m^3/h.

S – Flujo volumétrico de alcohol fino A producido, m^3/h.
AA – Flujo volumétrico de cabezas en la depuradora, m^3/h.
P – Flujo volumétrico de agua de enfriamiento al condensador primario, m^3/h.
Z – Flujo volumétrico de agua de enfriamiento al condensador secundario, m^3/h.
Q - Consumo de vapor de calentamiento de la columna depuradora, kg/h.
R – Flujo másico de vapor de calentamiento condensado de la columna depuradora, kg/h.

Aplicación de los Módulos

Con el presente epígrafe, se persigue como objetivo, ilustrar la aplicación de los módulos de cálculo de destilerías de alcohol a un caso real, la destilería "Héctor Molina Riaño". A continuación se muestran los resultados de la simulación para un caso en que la fábrica produce 500 hL/d de alcohol, y para ello cuenta con un sistema de destilación formado por el módulo clásico del MINAZ (columnas destiladora, rectificadora y depuradora), una columna para la producción de aguardiente y otra para la concentración de las aguas residuales. Lleva a cabo su proceso de fermentación de forma discontinua; según el método de Jackemine y produce alcohole técnico A y B, fino y aguardiente. Durante el tiempo de zafra, usa el vapor y la electricidad que le brinda el ingenio al cual está anexa. A modo de ejemplo se presentará el cálculo del módulo de la columna destiladora **(Tabla I)** y los parámetros calculados correspondientes a solo un condensador, el calientavinos **(Tabla II).** En la **Tabla III** se presenta un resumen del caso de estudio.

Tabla I. Módulo de Cálculo Columna Destiladora

Datos de Entrada		
Flujo de Vino	**44.83**	m^3/h
Composición de Etanol en Vino	**5.86**	^0GL
Temperatura del Vino	**78**	^0C
Presión Absoluta del Vapor de Calentamiento	**5**	psia
Composición de Etanol en Vinazas	**0.0001**	^0GL
Temperatura de las Vinazas	**105**	^0C
Composición de Etanol en Vapores Alcohólicos	**40**	^0GL
Temperatura de los Vapores Alcohólicos	**94**	^0C
Flujo de Recirculación de la Columna Rectificadora	**2.508**	m^3/h
Composición de Etanol en Recirculación de la Columna Rectificadora	**12**	^0GL
Temperatura de la Recirculación de la Columna Rectificadora	**102**	^0C
Resultados		
Consumo de Vapor de Calentamiento	**8513,6**	kg/h
Flujo de Vapores Alcohólicos	**7.25**	m^3/h
Flujo de Vinazas	**48.57**	m^3/h
Eficiencia de Separación de la Columna	**99.49**	%
Pérdidas de Alcohol	**0.51**	%

Tabla II. Cálculo de los Parámetros del Calientavinos

Datos de Entrada		
Diámetro de los tubos	**0.05**	m
Longitud de los tubos	**3**	m
Número de tubos	**390**	-
Número de pases por los tubos	**2**	-
Flujo de vino	**44470.4 (0.0125)**	kg/h (m^3/s)
Capacidad calorífica del vino	**0.986**	kcal/kg.ºC
Temperatura inicial del vino	**40**	ºC
Temperatura final del vino	**62**	ºC
Temperatura de los vapores alcohólicos	**78.75**	ºC
Temperatura a la salida del calientavinos	**70**	ºC
Resultados		
Área de transferencia de calor	**183.8**	m^2
Área de flujo	**0.192**	m^2
Coeficiente de transferencia de calor	**230.9**	kcal/h.m^2.ºC
Efectividad termodinámica	**0.64**	-

Tabla III. Resumen del Caso de Estudio.

Capacidad de producción	**500**	hL/d
Flujo de vino	**44.83**	m^3/h
Composición de etanol en vino	**5.86**	% vol
Temperatura vino entrada columna destiladora	**78**	^{0}C
Temperatura de las vinazas	**105**	^{0}C
Reflujo en la columna rectificadora	**3**	adim.
Reflujo en la columna depuradora	**5**	adim.
Pérdidas de calor en el calientavinos	**6**	%
Consumo de vapor de calentamiento en la columna destiladora	**8513.6**	kg/h
Flujo de vinazas	**48.57**	m^3/h
Flujo de agua de enfriamiento a condensadores	**94583.34**	kg/h
Eficiencia en destilación	**93.33**	%
Pérdidas de alcohol	**6.67**	%

Tabla IV. Comparación de Resultados.

Indicador	Módulos propuestos	DESTIL	RON1	SIDEL
Consumo de vapor de calentamiento (kg/h)	**8513.6**	**3927**	**8512.5**	**8740.8**
Flujo de vinazas (kg/h)	**48337.7**	**38757**	**57150**	**54781.3**
Alcohol producido (L/h)	**2080.9**	**2176.3**	**2083.3**	**2076.4**
Agua de enfriamiento en condensadores (kg/h)	**94583.3**	**42173**	**93624.5**	**90942.1**

Como se puede apreciar en la **Tabla IV**, los resultados obtenidos con los módulos de cálculo propuestos en este trabajo comparados con los obtenidos con simuladores dirigidos a esta industria son similares, excepto **DESTIL**. En cuanto a las nuevas posibilidades que se abren ahora con los módulos desarrollados en este trabajo se encuentran las siguientes:

- Cálculo del fusel producido, generalmente despreciado.
- Cálculo del flujo de cabezas en cada columna.
- Cálculo del agua de enfriamiento por condensadores.
- La modularidad que permite simular áreas o equipos sin necesidad de hacerlo con todo el sistema, por ejemplo, el cálculo del consumo de vapor por columnas de destilación y no de forma global.

- Mayor rigor científico y precisión en los módulos desarrollados debido a la incorporación de variables importantes a considerar que otros simuladores desprecian.

Conclusiones

Se presentó una propuesta para la ampliación del sistema de cálculo del programa de simulación **TERMOAZUCAR**, mediante el desarrollo de tres nuevos módulos de cálculo para la simulación de fábricas de alcohol hidratado, específicamente alcohol técnico y fino, lo que extiende el campo de aplicación de este programa a destilerías de alcohol hidratado, específicamente alcohol técnico y fino. Con los nuevos módulos de cálculo propuestos fue posible simular, satisfactoriamente, la sección de destilación en una fábrica con esquema de producción de alcohol fino A, constituyendo una valiosa ayuda para la evaluación energética de esta fábrica.

Recomendaciones

Valorar la extensión de este trabajo a los esquemas de producción no abordados.
Extender la evaluación de propiedades termodinámicas de la mezcla etanol-agua a presiones de vacío.
Incursionar en el análisis del uso de la energía sobre la base de índices de comportamiento.

Referencias

Capote, O. (2002), Herramienta de simulación y optimización para diversificación azucarera. Tesis presentada en opción al grado científico de Máster en Análisis de Procesos. CUJAE.

Díaz, J.L. (1974), Propiedades físicas y termodinámicas de los fluidos azucareros. Escuela de Ingeniería Química, Tesis de Especialista, Universidad de la Habana.

Dodge, B.E. (1970), Chemical Engineering Thermodynamic. Edición Revolucionaria, Ciudad de la Habana.

Global (2003), http://www.global-cape-open.org/

Garrido, N. (2002), SIDEL: Sistema de diseño y simulación de destilerías. 3er Taller Internacional de Análisis de Procesos (TIAP), Ciudad de la Habana.

Gozá, O. (1996), Estrategia de análisis para lograr un uso más eficiente de la energía en los centrales azucareros. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Ingeniería Química. ISPJAE.

Gozá, O. y otros (2002), Use of simulation and expert systems to increase the energy efficiency in cane sugar factories. Revista Developments in Chemical Engineering & Mineral Processing, Curtin University of Technology, Australia, special issue on Practical Applications of Process Systems Engineering, 10 (1/2).

Jay, José; Cruz, Francisco (1998), Investigaciones, tecnologías y sistemas para la producción de alcohol. Revista CubaAzúcar, #4/oct-dic. Páginas 31 -33.

Jiménez, O. (1991), El ahorro de energía en el proceso de producción de alcohol por vía fermentativa. CNCA.

Pávlov y otros (1981), Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química″. Editorial Mir, Moscú. Tabla 4-6/200.

Pérez de Alejo, H. y otros, (1989), Manual de Usuario del Sistema de Programas TERMOAZUCAR, Versión 1.1. ISPJAE-ISTC.

Pérez, O. (2003), ″Módulos de cálculo para la evaluación energética de destilerías de alcohol″. Tesis presentada en opción al grado científico de Máster en Tecnología de la Industria Azucarera. Ciudad de la Habana, CUJAE.

Perry, R. y otros (1992), Manual del ingeniero químico. Tomo 2. Sexta Edición. McGraw-Hill.

Rodríguez, J. y Díaz, J. L (1985), Evaluación de las entalpías específicas del sistema etanol-agua para balances de energía por un método computacional. Trabajo de Diploma. Facultad de Ingeniería Química, ISPJAE.
Sabadi, R. y otros (1991), SIMFAD: Un sistema para la simulación de fábricas de azúcar y derivados. Parte I: Descripción de módulos de procesos. Cuba Azúcar, Octubre-Diciembre.
Stabnikov, B.N y otros (1976), Alcohol etílico. Manual. Editora Industria Alimentaria. Moscú.
Suárez, R. (1973), ACOPLA: Programa de computación para el balance de materiales, energía y costo de producción de una destilería. Tema 151.41.4. Departamento de Ingeniería. ICIDCA.
Tablas (s/a), Tablas para el trabajo analítico en los laboratorios de las destilerías y plantas anexas de levadura seca. Departamento Control de Laboratorios, Dirección de Producción y Entrega, Viceministerio para la Producción, MINAZ.
Welty, J. R. /et. al. (1969), Fundamentals off momentum, heat and mass transfer. Wiley International Edition, USA. Table 22.2/402.

CALIDAD

ÍNDICE
CALIDAD

114 Diseño del sistema de gestión de la calidad integrado para un laboratorio de producción de medicamentos obtenidos a partir de los derivados de la caña de azúcar

118 Educación a distancia con el empleo de las NTC, como modalidad de superación postgraduada para especialistas de la agroindustria azucarera

095 Control Interno: Aspecto de singular importancia para acreditar un laboratorio

099 Elaboración e implantación de un sistema de calidad para la acreditación de un laboratorio

144 Ensayos de aptitud nacionales e internacionales en los laboratorios de ensayo.

142 Sistema de gestión de la calidad ISO –9001:2000 y perfeccionamiento empresarial en el Ministerio del Azúcar

028 Estrategia para la acreditación de la planta piloto de fermentaciones de CUBA-10

062 Algunas experiencias en la integración de sistemas de calidad y el perfeccionamiento empresarial

161 Comparación de los métodos de color ICUMSA y contrato de la calidad modificado

134 Evaluación de la eficacia de la capacitación.La gestión del conocimiento

160 Desarrollo de la gestión de innovación en el ICINAZ

” DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD INTEGRADO PARA UN LABORATORIO DE PRODUCCIÓN DE MEDICAMENTOS, OBTENIDOS A PARTIR DE LOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZUCAR”

“A DESIGN OF AN INTEGRATED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM FOR A LABORATORY OF PRODUCTION OF DRUGS OBTAINED FROM THE SUGAR CANE DERIVATES”

AUTORA: *MSc Mirta E. Cuellar de la Cruz*

J´de Aseguramiento de la Calidad del Centro de Bioactivos Químicos
Email: mcuellar@cbq.uclv.edu.cu

RESUMEN

El trabajo se desarrolla por la necesidad del Centro de Bioactivos Químicos de contar con un Sistema de Gestión de la Calidad que se ajustara a sus necesidades y que cumpliera con lo establecido internacionalmente.

Se realiza un diagnóstico estableciendo primeramente la selección de los documentos normativos y continuando con entrevistas. Este cuestionario establece el estado de cumplimiento de los requisitos que exige la Norma ISO 9001 : 2000, en el Laboratorio de Producción.

Seguidamente y utilizando la información del diagnóstico se trabaja en la integración de los diferentes documentos normativos seleccionados, obteniéndose la fusión de los requisitos de las normas seleccionadas.

Para esta integración se emplea una *Matriz de Fusión* de la cual se pueden extraer los documentos y acciones a desarrollar para la implantación del Sistema de Gestión de la Calidad Integrado. Además se aplica un Análisis 5W y H para obtener información sobre indicadores de calidad.

Como resultado se obtiene el diseño del Sistema de Gestión de la Calidad Integrado (SGCI) que incluye la orientación de las acciones y la documentación así como el plan de capacitación que se ajusta a las necesidades de la organización y el subsistema de Información de la Calidad.

SUMMARY

The present work is developed taken into consideration the necessity of the Center of Chemical Bioactives belonging to have a system of quality management adjusted to their necessities and according to the international regulations.

In order to carry out the work a diagnosis was developed. Firstly, the selection of the normative documents was established and the procedure was continued with interviews . This questionnaire establishes the state of execution of the requirements that demands the Norm ISO 9001: 2000, for the Production Laboratory.

Subsequently and using the information of the diagnosis, a combination of the different selected normative documents was carried out, being obtained the fusion of the requirements of the selected norms.

For this combination a *Fusion Matrix* was used, in order to extract the documents and actions for the implementation of the integrated quality management system. Also an Analysis (type 5W and H) is applied to obtain information about quality indicators.

As a result the design of a Integrate Quality Management System (IQMS) is obtained. Its includes the orientation of all actions, the documentation as well as the training plan that is adjusted to the necessities of the organization and the quality information subsystem.

Palabras Claves:
- Calidad
- Sistema de la Calidad
- Gestión de la Calidad

Key words:
· Quality
· System of the Quality
· Administration of the Quality

INTRODUCCION

Para todos es conocido lo difícil que resulta competir en el mercado internacional, sobre todo si se posee la condición de país subdesarrollado y en añadidura se pretende comercializar medicamentos, esta condición provoca que los esfuerzos para conseguir al menos una asociación comercial medianamente ventajosa sean significativos.

Debido a esto es necesario demostrar nuestra competencia de forma clara, y una de las mejores formas, por no decir la única, es con la implantación de un Sistema de Gestión de la Calidad, el cual le permita a la organización transitar hacia la excelencia empresarial demostrándola tanto en los productos como con los servicios.

Para el Centro de Bioactivos Químicos que se dedica a la investigación- producción de sustancias químicas que presenten actividad biológica (Ingredientes Farmacéuticos Activos), es prioritario contar con un Sistema de Gestión de Calidad que le facilite la apertura del mercado internacional para los productos que actualmente comercializa, lo que a su vez proporciona el financiamiento necesario para la salida al mercado de su producto líder.

Sin embargo en el campo de la producción de medicamentos el diseño e implantación de un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC), no resulta sencillo ya que para este tipo de producciones existen normas especificas de obligatorio cumplimiento, como las Buenas Prácticas de Fabricación de Productos Farmacéuticos (Medicamentos), que rigen los requisitos técnicos de estas producciones, pero no abarcan todas las invariantes que debe poseer el diseño de un SGC. Por lo que para la confección de tal diseño es muy práctica la *Integración de las normas ISO 9000 y las Buenas Prácticas*. Así como el uso de herramientas de calidad y dirección encaminadas a garantizar la mejora continua de estas producciones.

Además debe tenerse en cuenta que los contenidos de las dos normas puede ser complementario ya que las ISO son normas más generales, que abarcan todo lo relacionado con la gestión expresando hacia donde debemos ¨*encaminar*¨ todos los esfuerzos (el QUÉ), y las Buenas Practicas por su especificidad nos facilitan la forma en que debemos ¨*recorrer el camino*¨ (el CÓMO). A su ves ambas posibilitan la aplicación de herramientas de calidad tanto clásicas como novedosas para fortalecer ¨*la trayectoria*¨

Hipótesis: *Si se diseña un Sistema de Gestión de la Calidad integrado con las Buenas Prácticas de Producción para el Laboratorio de Producción del Centro de Bioactivos Químicos se facilita la implementación e implantación del Sistema de Calidad para dicha área.*

Objetivo General:

- Diseñar un Sistema de Gestión de la Calidad Integrado para el Laboratorio de Producción del Centro de Bioactivos Químicos.

Objetivos específicos:

- Diagnosticar el estado en que se encuentra el Laboratorio de producción para enfrentar el proceso de implantación del Sistema de Gestión de la Calidad.
- Diseñar el Sistema Integrado ISO 9000 y Buenas Prácticas.
- Diseñar el subsistema de información de la calidad de la producción del CBQ que le permita a la dirección del centro diagnosticar, decidir y mejorar la calidad sobre la base del desempeño de los procesos.
- Validar algunos de los indicadores.
- Implementar el Sistema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. DIAGNOSTICO

El desarrollo del diagnóstico tiene como objetivo *Determinar el estado en que se encuentra el Laboratorio de Producción con relación al cumplimiento de los requisitos que establece la norma ISO seleccionada.* Para cumplimentarlo se siguieron los pasos reflejados en la secuencia de desarrollo fig. 1, que se describen a continuación.

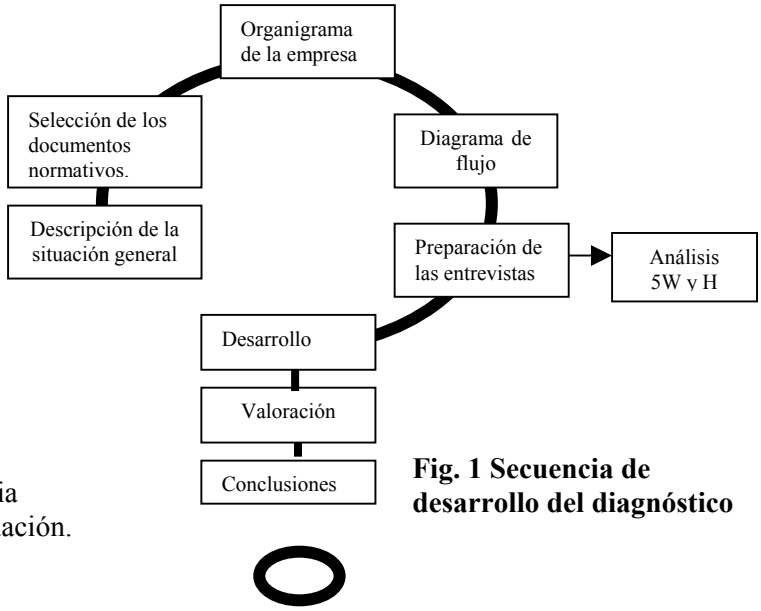


Fig. 1 Secuencia de desarrollo del diagnóstico

1.1 Pasos a seguir:

1. Se obtiene la situación general de la empresa a partir de la información brindada por la dirección, basada en el desarrollo de una matriz DAFO, además teniendo en cuenta los antecedentes que sobre el sistema de la calidad existían en el Laboratorio de Producción.

2. Para la selección de los documentos normativos se tienen en cuenta varios aspectos en función de la norma a seleccionar. Para el caso del trabajo con las normas ISO 9000 se siguió el criterio de tomar la norma que por su aplicación le fuera más conveniente a la organización; para elegir las Buenas Prácticas se tomó la resolución vigente en el país, que debe ser cumplida para medicamentos terminados, observando que para el caso de producciones de Ingredientes Farmacéuticos Activos que son los que nos ocupan, no se cumple completamente(se exigen requisitos que plantean el cumplimiento de acciones que no proceden en estos casos). Además

se seleccionó otra norma que debe ser cumplida por exigencia de los principales clientes (exigencias de tipo contrctuales). Las normas a cumplir son las que se presentan en la fig. 2.

3. Se construye el organigrama de la empresa, acotando el ámbito de acción de trabajo empleando el criterio de Harrington, (1995).

4. El diagrama de flujo del proceso se elaboró para cada uno de los productos que se obtienen en el Laboratorio de Producción, estos diagramas fueron el resultado de la representación gráfica de la técnica de observación directa, mediante la cual los diagramas de flujo obtenidos fueron cuestionados con vista a su análisis y posible mejoramiento siguiendo el criterio de Oakland (1990).

5. Se desarrolló una entrevista dirigida o estructurada [Machado, 1998], mediante la confección de una guía para la entrevista y un cuestionario basado en los requisitos que establece la norma ISO 9001: 2000 Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos.

6. Con el objetivo de conocer los indicadores que se utilizan para la medición de la calidad y a partir de esta información, unido a las necesidades existentes por la dirección del centro proponer los que se necesitan, se aplica la técnica Análisis 5W y H (what, when, where, who, why, & how).

Fig 2. DOCUMENTOS NORMATIVOS CON LOS QUE TIENE QUE CUMPLIR EL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL LABORATORIO DE PRODUCCIÓN DEL CENTRO DE BIOACTIVOS QUÍMICOS

SEGUN EL CENTRO ESTATAL DE CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS MEDICAMENTOS	
Norma	*Justificación*
Directrices sobre BP de fabricación de productos farmacéuticos. Regulación N° 16-2000	Responder ante las exigencias del Centro Estatal de Control de la Calidad de los Medicamentos en Cuba
SEGUN LOS ORGANOS NACIONALES E INTERNACIONALES DE CERTIFICACION	
Norma	*Justificación*
ISO 9001: 2000 Sistema de gestión de la calidad. Requisitos	Certificación del SGC Laboratorio de Producción
DEBIDO A RELACIONES CONTRACTUALES	
Norma	*Justificación*
Good manufacturing practice guidefor active pharmaceutical ingredients	Responder ante las exigencias de la empresa york medical bioscience inc.

1.2 Resultados del Diagnóstico

- Uno de los aspectos que afecta al Centro de Bioactivos Químicos es la carencia de un Sistema de la Calidad, por lo que la dirección del centro esta muy interesada en desarrollar este trabajo.
- Entre los antecedentes encontrados se observó que en etapas anteriores se había trabajado por implementar un Sistema de la Calidad basado en la ISO 9001 del 1994, que aunque no se culminó, creó un ambiente favorable entre los trabajadores del Laboratorio de Producción ante el cumplimiento disciplinado de las normas y la idea de implantar un Sistema de Gestión de la Calidad.
- Se obtuvieron los documentos normativos para el desarrollo del trabajo (fig.2).
- Se obtuvo el organigrama de la empresa desarrollado , lo que permitió definir que las áreas involucradas en el Sistema serían:

- *Laboratorio de Producción*
- *Laboratorio de Control de la Calidad*
- *Área de Diseño (Laboratorios de investigación)*
- *Departamento Comercial*
- *Departamento de ATM*
- *Unidad de Aseguramiento de la Calidad*

En el caso del área de diseño, ésta constituye en sí un área de laboratorios de investigación que además realiza otros servicios, y no solo el diseño de los productos para el Laboratorio de Producción lo que hace que tenga diseñado su propio sistema que responde a un modelo de Sistema Integrado sobre la base de las Normas NC 26 - 212 Buenas Prácticas de Laboratorio y la ISO/IEC 17025: 2000 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

- Los diagramas de flujo describen para cada uno de los productos una nueva tecnología obtenida de la optimización de las tres producciones existentes por lo que los procesos estudiados fueron mejorados notablemente con relación a la vieja tecnología, demostrando ser aptos y estar en control con relación a la característica de calidad fundamental: la pureza. Al ser analizados dan como resultado que el proceso de producción esta en el mejor momento para la implementación e Implantación de un Sistema de la Calidad.
- Los resultados de las entrevistas son los siguientes:

1. Los requisitos referentes a la **documentación** no se cumplen, ya que solo existe la documentación referente a los procedimientos técnicos, los documentos exigidos en la ISO 9001 no se encuentran elaborados. Además no existe el control de la documentación.

2. En cuanto a la **Responsabilidad de la dirección**, este requisito se cumple parcialmente ya que se realizan actividades que según la norma deben ser cumplidas como la planificación de la producción (pero no enfocados a los objetivos de la calidad), la revisión por la dirección (pero no con toda la información que para ello se necesita eje Indicadores de la calidad y/o gestión) , la comunicación interna; Además se cuenta con un representante para la calidad por la dirección, sin embargo, no está definida la política de la calidad, ni los objetivos de ésta.

3. La **Gestión de los recursos** se corresponde con lo que establece la norma tanto en la provisión de recursos, recursos humanos y ambiente de trabajo.

4. El requisito **Realización del producto**, comprende acápites cuyo cumplimiento también es parcial por lo que no se detallará en cada uno de ellos si no que se informan de un modo muy elemental:

- *Planificación de la realización del producto* (planificación sin tener en cuenta toda la información que exige la norma)
- *Determinación de los requisitos relacionados con el producto* (se cuenta con los requisitos especificados por el cliente, los necesarios para el uso previsto, los legales y reglamentarios, tal y como exige la norma).
- *Revisión de los requisitos relacionados con el producto* (la revisión se realiza, pero no se llevan registros de ella).
- *La comunicación con el cliente* está implementada pero no se realiza sistemáticamente.
- *Diseño y desarrollo* (no cumple con lo establecido en la norma).
- *Proceso de compras* (no se realiza la evaluación de los proveedores, la información de las compras no está completa, aunque sí se realiza la verificación de los productos comprados).
- *Producción y prestación de servicio* (la producción se realiza bajo condiciones controladas, garantizando la identificación y la trazabilidad de los procesos, el producto se preserva bajo condiciones que aseguran su conformidad).
- *Control de los dispositivos de seguimiento y medición* (la organización cuenta con un subsistema de control de la calidad que incluye el control de proceso, mediante el cual se cumplen los dispositivos de seguimiento y medición como se exige en la norma ISO 9001.

5. El requisito **Medición, análisis y mejora**, se cumple parcialmente, ya que no se realizan auditorías internas, no existe ni un control exacto de los productos no conformes ni los índices o datos de calidad para desarrollar una mejora consiente de la calidad, esto provoca además que no se tomen acciones preventivas.
6. No se cuenta con un Subsistema de Información de la Calidad que permita a la dirección tener un conocimiento fidedigno de la situación de la calidad, que le permita desarrollar un trabajo protagónico en la mejora, la revisión por la dirección en general en la responsabilidad de la dirección dentro del sistema.

2. DISEÑO DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

2.1 Sistema de Gestión de la Calidad Integrado

Para la integración del sistema se utilizaron los documentos normativos definidos durante el diagnóstico, el trabajo de integración de estos documentos se desarrolló empleando para ello una Matriz de Fusión (criterio de la autora) la cual cuenta con la información de las tres normas de la siguiente forma:

- En el extremo superior se coloca la información de la norma ISO 9001: 2000

Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos (ISO 9001), en cada columna se vierte el documento a elaborar o la acción a realizar en caso de que no esté incluida en la confección del documento, además del acápite de la norma que se cumple con la realización de esta tarea.

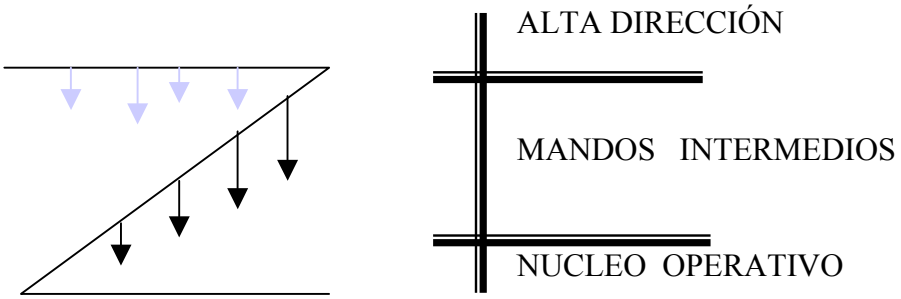
- En el extremo izquierdo se coloca la información de la norma Good manufacturing practice guidefor active pharmaceutical ingredients (GMP), en cada fila se colocan los nombres de documentos y acciones (no incluidas en los documentos), reflejando el acápite de la norma que cumple.

- En el extremo derecho se coloca la información de la Regulación N° 16-2000 Directrices sobre buenas prácticas de fabricación de productos farmacéuticos (BPFPF), de la misma forma que en el caso anterior. Ver un fragmento de la matriz que ejemplifica lo descrito anteriormente en la fig. 4.

Con las facilidades que permitió la matriz de fusión se desarrolla la orientación al Laboratorio de Producción sobre la documentación y acciones que debían realizarse con vista a la implementación del sistema, esta orientación se obtiene mediante un modelo matricial que cuenta con el documento o acción a desarrollar, las normas que cumple y los acápites de cada una, observar un ejemplo en la fig.5. Facilitando así el trabajo de implementación e implantación del sistema *sin tener necesidad de triplicar documentos o acciones para cumplir con las tres normas.*

Otro aspecto a tomar en cuenta para el buen desarrollo de la implementación del sistema es la capacitación, para la cual se desarrolló un plan de capacitación en forma de cascada y con enfoque de arriba – abajo, diferenciando los contenidos en función de los niveles estratégico – jerárquico Fernández (2002) como se observa en la fig.3.

CAPACITACION EN CASCADA



Influencia de la dirección sobre los mandos intermedios

Influencia de los mandos intermedios sobre los empleados

Fig.3 .Fernández Clúa Gestión de la Calidad I .Memorias.

- *Alta Dirección*: Ciclo de conferencias y curso gerencial de la ISO (30 h lo máximo)
- *Mandos intermedios*: Cursos de postgrados, Entrenamientos, Diplomados, Especialidades, Maestrías.
- *Núcleo Operativo*: Cursos de postgrado y Entrenamiento.

ISO 9001 / **GMP**	PNO documentación 4.2.3	Plan de auditorías. 8.2.2	Manual de calidad 4.2.2	**ISO 9001** / **BPFPF**
Plan de auditoría				Programa de Higiene 6.1
Documentación sobre higiene del personal. 3.2				Procedimiento de aseo, vestuario e higiene. 6.5
PNO para limpieza y saneamiento de equipos y materiales. 4.7.1				Manual de calidad. 7.3.1
Plan o programa de limpieza. 5.0				Procedimiento para la limpieza y mantenimiento. Programa. 9.10
PNO documentación. 6.0				Programa de autoinspección. 16.1.1
Registro de producción. 6.5, 6.5.4				Procedimiento de autoinspección. 16.4.2
Especificaciones. 11.1.6				Informe de autoinspección.16.5.1

Leyenda: - Cada estrella (representa un documento o acción a realizar).

Fig.4 Matriz de fusión para la integración del Sistema de Gestión de la Calidad del Laboratorio de Producción de Bioactivos Químico (LPBQ

Fig.5 Orientación para la documentación

NO.	DOCUMENTO	NORMA/ ACÁPITE
1.	Registro de personal	ISO 6.22 BP/ 4.1.6, 4.1.7 y 7.3.2.3 GMP 6.0, 3.0
2.	Política de calidad	BP/ 4.1.9 ISO 5.3
3.	Plan de capacitación	BP/ 5.2.1, 5.2.4 Y 5.2.5 GMP/ 3.0
4.	Registro de fabricación o de producción	ISO 7.5.1 BP/ 7.1.5 GMP 6.5 Y 6.5.4
5.	Manual de calidad	ISO 4.2.2 BP 7.3.1
6.	Especificaciones de calidad	BP 7.3.4, 7.3.4 al 7.3.4.4
7.	PNO de control de proceso	BP 11.4.2 al 11.4.4, 7.3.2g GMP 2.0, 11.11, 6.60, 8.32
8.	PNO Quejas y reclamaciones	BP 13.1, 13.4 y 13.7, 7.3.5.2 p GMP 15.14
9.	PNO de contrato	BP 15.2, 15.3, 15.5.2 y 15.5.3 GMP 16.12, 16.13, 16.14 y 16.15
10.	PNO de inspección y auditoría	BP 16.4.2 al 16.8.1 ISO 8.2.2 GMP 2.0
11.	Informe de inspección y auditoría	BP 16.5.1 ISO 8.2.2 GMP 2.41
12.	Plan de inspección y auditoría	BP 16.1.1 ISO 8.2.2 GMP 2.40
13.	PNO de muestreo	BP 3.4.7 y 3.4.7.5 GMP 6.4, 11.11 y 11.13, 7.33 Y 8.34
14.	Registro de laboratorio	BP 3.4.8.4 GMP 3.60
15.	Programa para estudios de estabilidad	BP 3.4.9.3 GMP 11.50
16.	Protocolo de validación	BP 3.5.1 GMP 5.3
17.	Informe de validación	BP 3.5.1 GMP 5.3
18.	Programa de limpieza	BP 9.10.1 GMP 5.2
19.	Etiquetas	BP 7.3.7.1 al 7.3 GMP 6.3.1, 5.3 y 6.30
20.	PNO de reproceso	BP 10.7.3 GMP 14.0

2.2 Diseño del Subsistema de Información de la Calidad

Para el diseño de este subsistema se parte de la información obtenida en el diagnostico así como del diagrama de flujo general del proceso de producción y trazando como objetivo identificar los posibles indicadores que se debían diseñar y reconocer los indicadores específicos de calidad existentes.

Según el Flujo de producción se realizan tres controles para medir calidad en las diferentes etapas del proceso. Un control de entrada, un control de procesos y un control final. Podemos aplicar en dichos puntos una herramienta de **análisis 5W y H,** [21](what, when, where, who, why, & how); qué, cuándo, dónde, quién, porqué y cómo, el cual se desarrolla a continuación:

Etapa del Proceso: Control de Entrada.

Referido a : Medición de la Calidad.

¿ QUÉ? : Especificaciones de calidad de todas las materias primas. Como por ejemplo:

- Determinación de Propiedades Organolépticas.
- Determinación del Índice de Refracción
- Determinación de la Densidad.
- Determinación de la Acidez
- Determinación del Rango de Fusión
- Determinación de la Pureza
- Determinación del Tiempo en Permanganato
- Determinación del Grado Alcohólico
- Determinación de Aldehídos
- Determinación de Ésteres Totales
- Determinación de Alcoholes Superiores
- Determinación de la Reacción
- Determinación de pérdidas por desecación
- Determinación de Residuos de Ignición
- Determinación de Sustancias Solubles en Ácidos
- Determinación de Cloruros
- Determinación de Sulfatos
- Determinación de Sulfuros
- Determinación de compuestos cianógenos
- Determinación de Metales Pesados
- Determinación de Constituyentes no Carbonizados
- Determinación de Alcaloides
- Determinación de Tinte

¿ CUÁNDO? : Después de ser recepcionadas las materias primas en el almacén y antes de ser usadas en el proceso.
¿ DÓNDE? : En el laboratorio de Control de Entrada.

¿ QUIÉN? : Los Técnicos de este Laboratorio realizan los ensayos y el Jefe de Laboratorio supervisa, libera o rechaza las materias primas.

¿ PORQUÉ ?: Las materias primas tienen que cumplir las especificaciones de calidad bien definidas para iniciar el proceso. Se comprueban los resultados de calidad del proveedor y los obtenidos en el laboratorio.

¿ CÓMO ?: Aplicando los PNO de forma correcta.

Valoración: - Se calculan índices específicos o especificaciones de calidad lote a lote. No se calculan indicadores que den información a la dirección de cómo marcha la calidad en este proceso de forma general.

Para las etapas de Control de Proceso y Control Final se realiza el mismo análisis obteniendo igual valoración por lo que de forma general el comportamiento es el siguiente.

En la etapa productiva se mide la calidad mediante ensayos realizados por Control de Entrada, Control de Procesos y Control Final. Se determinan índices específicos de calidad de los productos, los cuales son importantes y se utilizan para confeccionar el Certificado de Calidad de cada Lote. No se determinan indicadores generales que le den a la dirección del centro una información de cómo marcha la calidad en este proceso. Se evidencia la necesidad de información referente a:

1. Comportamiento del proceso e interrupciones en la producción.
2. Cantidad en Kilogramos de Ingrediente Farmacéutico Activo liberados y rechazados.
3. Lotes liberados, rechazados y reprocesados.
4. Incumplimiento en los Procedimientos normalizados de operación (PNO).
5. Perdidas por rechazo o reproceso de materias primas.
6. Indicadores relacionado con el estado de los recursos humanos (capacitación , motivación etc.).
7. Índices sobre inspecciones y/o control de la calidad.

La construcción de los indicadores se basa en la necesidad que tienen los clientes del subsistema de información (que se identifica mediante entrevistas a los principales directivos del CBQ) y en los resultados obtenidos mediante el Análisis 5W y H.
Para el diseño se tienen en cuenta además algunas invariantes que debe poseer el subsistema como son:

- Factor
- Nombre del Indicador
- Relación de Medida
- Objetivo
- Niveles de referencia
- Frecuencia
- Responsable

La planificación de los indicadores se realiza en forma matricial teniendo en cuenta todas las invariantes mencionadas anteriormente, se obtienen 13 indicadores para el proceso de producción y 7 indicadores generales.

INDICADORES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

- Anomalías
- Rendimiento real /rendimiento planificado x 100
- Suma de todos los Kg de IFA liberados.
- Suma de todas las purezas/ total de purezas.
- Cantidad de lotes aprobados/Cantidad de lotes producidos x 100.
- Cantidad de lotes rechazados/Cantidad de lotes producidos x 100.
- Cantidad de lotes reprocesados/cantidad de lotes producidos x 100.
- Tiempo perdido / tiempo trabajado x 100.
- Número de no conformidades en el cumplimiento de los PNO/ número de no conformidades x 100.
- Total de controles de calidad realizados/ total de controles establecidos.
- Total de materias primas aceptadas / Total de materias primas analizadas x 100.
- Total de materias primas rechazadas / Total de materias primas analizadas x 100.
- Total de costos de los insumos de producción/ total de costos de producción.

Orientación para la implementación.

e elaboraron los Registros de recogida de datos (según modelos establecidos en este trabajo) para la elaboración de indicadores de producción y generales.

La información que en ellos se recogerá deberá ser procesada por el Departamento de Aseguramiento de la Calidad. Es responsabilidad de dicho departamento procesar los datos recogidos en los registros mencionados anteriormente y confeccionar el Reporte que aparece en el ejemplo F**ig 8**., para entregarlo a la Dirección

2.3 Validación de algunos indicadores de producción y generales Fig 6 y 7.

INDICADORES DE PRODUCCIÓN

A continuación se muestra la validación de cinco de los trece Indicadores propuestos para producción. Para ello se recopilaron los datos necesarios durante los meses Marzo- Abril- Mayo del presente año.

Fig 6 resultado de algunos Indicadores de Producción

Nº	Nombre del indicador validado	Cálculo	Resultado
1	% de lotes aprobados	$\frac{39}{40} \bullet 100$	97.5 %
2	% de lotes rechazados	$\frac{1}{40} \bullet 100$	2.5 %
3	% de lotes reprocesados	$\frac{1}{40} \bullet 100$	2.5 %
4	Pureza promedio	$\frac{3986.27}{40}$	99.65 %
5	Kg de IFA liberado	Suma de todos los Kg de IFA producidos y liberados	23.544 Kg

INDICADORES GENERALES

A continuación se muestra la validación de dos de los siete Indicadores propuestos para el Centro en general. Para ello se recopilaron los datos necesarios.

Fig. 7 resultados de algunos Indicadores Generales

Nº	Nombre del indicador validado	Cálculo	Resultado
1	Nivel de incentivos	$\frac{76}{117} * 100$	64.95 %
2	Nivel académico	$\frac{10}{117} * 100$ $\frac{19}{117} * 100$ $\frac{35}{117} * 100$ $\frac{33}{117} * 100$	% de Doctores 8.55 % de Masters 16.24 % de Universitarios 29.92 % de Técnicos 28.21
3	Nivel de logros	$\frac{8}{6} * 100$	133 %

Fig.8 El Reporte entregado a la dirección

Nombre del Indicador	Valor obtenido	Nivel de referencia	Mínimo	Aceptable	Satisfactorio	Observaciones
Nivel de incentivos	64.95%	60%			X	
Nivel académico	8.55% 16.24% 29.92% 28.21	10.% 15% 35% 30%	**X**			
Nivel de logros	133%	95 %			X	Se sobrecumplió en un 33%

CONCLUSIONES

- Se comprobó que la aplicación del diagnóstico es imprescindible para lograr el adecuado diseño del Sistema de Gestión de la Calidad.
- El empleo de las herramientas del análisis 5W y H y las entrevistas a los principales directivos posibilitaron la información que permitió el diseño del Subsistema de Información de la calidad.
- El Sistema de Gestión de la Calidad Integrado se corresponde con las necesidades específicas de la organización, además de cumplir con lo más actual establecido internacionalmente con relación a los sistemas de calidad y las normas

RECOMENDACIONES

- Continuar con la implementación del Sistema de Gestión de la Calidad Integrado que incluye el Subsistema de Información de la Calidad hasta lograr culminar esta etapa y completar la implantación.
- Evaluar la necesidad de la certificación del sistema y/o alguno de los productos.

BIBLIOGRAFIA

1 ANÓNIMO. (1995) Sistema de Calidad. En Calidad Total y Normalización.
2 ARAGÓN, N. (2002) Recursos Humanos. Memorias.
3 BERRY, T.H. (1996) Como Gerenciar la Transformación hacia la Calidad Total. Mc Gran Hill Nomos S.A Santa Fé de Bogotá, Colombia.
4 BISHOP, P. (1989) Computing Science.
5 CARNOTA, O.(1989) Proyección de Sistemas Automatizados de Dirección. La Habana, Pueblo y Educación.
6 COLECTIVO DE AUTORES. (1990) Como controlar la Calidad. pág. 22-23.
7 COLECTIVO DE AUTORES. (1986) Dirección de la Calidad .pág. 36-91.
8 CONTU, H. (1999) Desarrollo de una cultura de Calidad. México pág. 35-62.
9 CROSBY, P. (1987) La Calidad no Cuesta. C.E.C.S.A. México. pág 415.
10 CUELLAR, E. (2000) Planeación del Aseguramiento de la Calidad en el Área de Investigaciones del Centro de Bioactivos Químicos.
11 Dieguez, h http://www.monografias.com/trabajos6/dosi,shtml
12 ESPINOSA, N. (1986) E.T al Director de la Calidad Editorial ISPJAE, La Habana, Cuba.
13 ESPINOSA, N. (1993) La Calidad y Dirección de la Calidad: Origen, Fundamento y Desarrollo. Revista de Ingeniería Industrial Vol, N°2. ISPJAE. La Habana, Cuba. pág. 70.
14 FEIGENBAUM, A.V. (1985) Control de la Calidad. Edición Revolucionaria, La Habana, Cuba.
15 FERNÁNDEZ ,M. [2003] Planificación de la Calidad. Memorias.
16 FERNÁNDEZ, M. (2001) Gestión de la Calidad en organizaciones de servicios. Memorias.
17 FERNÁNDEZ, M. (2001) Planificación y Control de la Calidad. Memorias.
18 FERNÁNDEZ, E. (1999) Procedimiento de trabajo para desarrollar los proyectos de mejora continua de la calidad. Revista Ing. Industrial Vol. XX Nº 3 ISPJAE. La Habana, Cuba pág. 38-42.
19 FERNÁNDEZ,E. (1990) Un enfoque para organizar el mejoramiento continuo de la Calidad. Revista Ing. Industrial. Vol. XX Nº 3 ISPJAE. La Habana, Cuba pág. 43-47.
20 Ferro, m http:www.es/i_s/is40/inforenf3.htm
21 GALGANO, A. (1995) Calidad Total. Editorial Días de Santos.
22 GONZÁLEZ, A. (2001) Conceptos Básicos de Calidad Total, Diplomado Estrategia de Calidad Total.
22 Good manufacturing practice guidefor active pharmaceutical ingredients. Intrnational conference on harmonisation of technical requirements for registration of pharmaceuticals for human use. 2000.
23 GRYNA, F.M. (1993) Mejora de la Calidad. En J.M Juran and Gryna (Eds), Manual de Control de la Calidad. 4ta. ed. Traducción J.M Vallhorat Bou. McGraw Hill, Interamericana de España. Madrid.
24 HARRINGTON, H.J. (1993) Mejoramiento de los procesos de la empresa. McGraw Hill Book Co. Santa Fé de Bogotá.
25 http ://galeon.hispvista.com/tunag/indicadores.htm
26 http: //www.monografías.com/trabajo 5/conca.shtml
27 ISHIKAWA, K. (1988) ¿Qué es el Control de la Calidad? La modalidad Japonesa. Editorial Ciencias Sociales. La Habana, Cuba.
28 ISO 9000: 2000. Sistema de Gestión de la Calidad – Fundamentos y vocabulario
29 ISO 9001: 2000. ISO 9001: 2000. Sistema de gestión de la calidad. Requisitos
29 JURAN, J.M. (1971) Quality Control. Hand book, segunda Edición, E.R. La Habana.

30 JURAN, J.M. (1983) Manual de Control de la Calidad. 2da ed. Editorial Reverté. Barcelona.
31 JURAN, J.M. (1990) Planificación de la Calidad. Editorial Días de Santos. Madrid, España. Pág. 1-193.
32 LARREA, P. (1991) Calidad de Servicios del Marqueting a la Estrategia. Madrid: Ediciones Días de Santos.
34 NC ISO 9000-2000 Sistema de Gestión de la Calidad: Fundamentos y Vocabulario.
35 NC ISO 9004-1994. Gestión de la Calidad y Elementos de los Sistemas de la Calidad, Orientación. Organización Internacional de Normalización.
36 NC-26-211:1992. Buenas Prácticas de Producción Farmacéuticas. Oficina Nacional de Normalización.
37 NC-26-212: 1992. Buenas Prácticas de Laboratorio. Comité Estatal de Normalización. La Habana, Cuba.
38 Regulación N° 16-2000 Directrices sobre BP de fabricación de productos farmacéuticos.
39 REYNOLS, G W. (1993) Information systems for Managers.
40 Rivera, a htt://www.geocities.comfutn_util/monograf/frame.htm
41 ROSANDER, A. C.(1992) La búsqueda de la Calidad de los Servicios. Editorial Días de Santos. S. A. Madrid.614 pag
42 Sanz, j http:www.es/i_s/is40/inforenf3.htm
43 SUÁREZ, J. M (1988) Calidad Total. Suplemento Nº 298 de Nueva Empresa. Nº 9. México. pág. 1-8.
44 VANNORMELINGER (1994) La Gerencia de la Calidad Total en salud.
45 VILUMARA, A. (1994) Búsqueda de Soluciones con Credibilidad en la Toma de Decisiones. Revista Ingeniería Industrial Vol. X, Nº 2. ISPJAE. La Habana, Cuba.
46 YAMAGUCHI, K. (1986) El Éxito de las Actividades del Control de la Calidad logrado en el Japón mediante el Estudio y Experiencia. De qué tratan en Realidad las Actividades y las Llaves de su Éxito. Documento. Seminario de la Calidad. La Habana, Cuba.

EDUCACIÓN A DISTANCIA CON EL EMPLEO DE LAS NTIC, COMO MODALIDAD DE SUPERACION POSTGRADUADA PARA ESPECIALISTAS DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA.

EDUCATION AT DISTANCE WITH THE EMPLOYMENT OF THE NTIC, AS MODALITY OF POSTGRADUATE SUPERATION FOR SPECIALISTS OF THE SUGAR AGROINDUSTRY.

AUTORES: Dr. Ing. Luis Gómez Rodríguez. lugo@qf.uclv.edu.cu
M.Sc. Ing.Roberto Vicente Rodríguez rvicente@uclv.edu.cu

INSTITUCION: Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Cuba

RESUMEN:

En el presente trabajo se exponen los resultados de una primera experiencia de impartición de un curso de postgrado sobre la Purificación de los Jugos de caña, a especialistas de la Industria Azucarera, por la modalidad de Educación a Distancia, soportado en la Plataforma SEPAD y apoyado en las NTIC.

Los criterios favorables y sugerencias ofrecidas por los participantes en el curso, ponen de manifiesto el interés por esta modalidad, resultando una alternativa de superación, factible y asequible.

Palabras Claves: Superación Postgraduada, Educación a Distancia, Plataforma SEPAD, Nuevas Técnicas de la Información y la Comunicación (NTIC).

SUMMARY:

In the present work are showing the results of a first experience of exposition of a postgraduate course above the Purification of the cane Juices, to specialists of the Sugar Industry, for the modality of Education at Distance, supported in the Platform SEPAD and supported in the NTIC.

The positive approaches and suggestions offered by the participants in the course, show the interest for this modality, being an alternative of superation, feasible and affordable.

Key words: Postgraduate Superation, Education at Distance, Platform SEPAD, New Techniques of the Information and the Communication (NTIC).

INTRODUCCION:

El desarrollo Científico Técnico y la necesidad del perfeccionamiento de los procesos productivos, para enfrentar los problemas económicos y sociales de la humanidad en el siglo XXI, exigen de especialistas bien formados, con amplias posibilidades de poner de manifiesto sus conocimientos y sus hábitos y habilidades en el ejercicio de la profesión.

En los especialistas de nivel superior estas exigencias se adquieren en la Universidad, pero con el transcurso del tiempo resulta necesario su actualización y profundización, lo cual puede ser enfrentado a través de diferentes vías de la superación postgraduada desarrollada y atendida por los centros de estudios de alto nivel en cada país, acorde a los diferentes perfiles ocupacionales que se desempeñen.

En esta dirección diagnostican y establecen su proyección los diferentes organismos productivos, seleccionando a sus especialistas para la superación postgraduada, en dependencia a sus intereses, resultando predominante en nuestro país, los estudios en cursos de postgrado, modalidad presencial, impartidos por las Universidades, con las afectaciones de limitación que en ocasiones esto acarrea, por causas de tener que atender en paralelo, la producción en los propios procesos productivos, asi como dificultades en el tiempo extralaboral para atender las exigencias docentes que el curso demanda y en cierta mediada también las dificultades para transportarse desde su lugar de origen hasta el centro donde se desarrolle el curso, cuando este es por la modalidad presencial.

Al tener en cuenta lo antes planteado, así como que el organismo MINAZ, dado el gran número de Empresas Azucareras con que cuenta nuestro país, acoge en sus filas de trabajadores a un gran número de especialistas de nivel superior, los que como parte de la Tarea Alvaro Reynoso para el Redimensionamiento de la Agroindustria en este organismo y la implementación del estudio como empleo, acuden entre otras a la superación postgraduada, y unido a ello haciendo vigente el principio Marxista, Martiano y Fidelista de la Vinculación teoría-práctica, extrapolada en su gran dimensión a la concepción de la Vinculación Universidad-Industria, para la utilización de la propia fábrica como un medio activo de enseñanza, y la incorporación a todo este proceso de las Nuevas Técnicas de la Información y la Comunicación (NTIC), con sus amplias opciones para el desarrollo de modernas y actuales técnicas y modalidades educacionales, como la Educación a Distancia, se presenta el presente trabajo, para abordar las estrategias y experiencias de la primera edición en la impartición del curso de Postgrado a Distancia, para Especialistas de la Industrian Azucarera "La Purificación de los Jugos de Caña. Tendencias Actuales para su Intensificación".

En el mismo se realiza un esbozo de la estructuración y requisitos del curso, su planificación, modo de ejecución y sistema de evaluación , mediante la utilización de la computadora como herramienta, la industria como medio de enseñanza y el correo electrónico y la telefonía como vías de comunicación.

LAS NUEVAS TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION Y LA TELECOMUNICACION EN LA EDUCACION SUPERIOR.

En el artículo "Tendencias en educación en la sociedad de las tecnologías de la información", ADELL, J. (1997), se plantea que: **NTIC**
"… el conjunto de procesos y productos derivados de las nuevas herramientas (hardware y software), soportes de la información y canales de comunicación relacionados con el almacenamiento, procesamiento y transmisión digitalizados de la información.", destacándose entre sus características la interconexión, la interactividad, la penetración en todos los sectores (culturales, económicos, educativos, industriales…) y la capacidad de almacenamiento (crece 60% por año).
Entre los diversos cambios que se plantean han influido en el actual desarrollo universitario, se encuentran entre otros:

•Incremento en la demanda de educación continuada para profesionales ya graduados y que tienen necesidad de actualización.

•Aumento de la exigencia social al papel extensionista de la Universidad.

•Se incrementan los procesos de integración académica (trabajo en redes) y se reconoce la importancia del trabajo colaborativo en el diseño de nuevos programas de estudios.

•Difusión del uso de la computación como objeto de enseñanza y como herramienta de trabajo y la entrada en Internet.

MATTHEWS, D.(1998), al abordar la relación entre el aprendizaje asíncrono y sincrónico, en las transformaciones de la Educación Superior, plantea que:

-Los programas pueden estructurarse alrededor del aprendizaje asíncrono. Lo que nos va a llevar a que frente a la modalidad tradicional de enseñanza "cara a cara", las nuevas tecnologías propician su utilización en las redes de comunicación lo que facilita que la comunicación deje de ser exclusivamente sincrónica.

-La distancia no es un elemento significativo. El mercado para los programas de educación será más amplio y no vendrá marcado por la cercanía geográfica. En consecuencia ningún programa estará tampoco seguro por su aislamiento geográfico.

-El volumen de los planes de estudio se puede ampliar, de manera que a los especialistas del sector productivo además de a los alumnos, se les pueda ofrecer la propuesta de los planes de superación postgraduada de la universidad en la que se encuentran matriculados o puedan matricular, o de otras que mantengan convenios con aquella.

Otro aspecto que no debe ser obviado al proyectar una actividad de Enseñanza-Aprendizaje, con independencia al nivel de esta, apoyada en las NTIC, es el referente a los Retos que las NTIC presentan a los CES, encontrándose entre otros los siguientes:

-Las entrega de materiales y contenidos se personalizarán a las necesidades y horarios del estudiante. El conocimiento local desde esta perspectiva adquiere verdaderos significados para la concepción educativa.

-La estructura de la educación mediada en la tecnología, exige un planteamiento altamente colaborador.

- El aumento de la productividad y el impacto de las inversiones realizadas.

-Permite la formación a más personas, ya que las sesiones de trabajo son más cortas y más fáciles de programar.

-Son graduables, ya que en cualquier fase se puede incorporar cualquier persona sin incurrir en gastos adicionales, ni ocasionar molestias para el nivel del grupo de aprendizaje.

-Proporcionan actualizaciones en tiempo real y acceso a la información cuando se necesita.

Al analizar los tres Modelos de Educación propuestos por la UNESCO, (El tradicional, El basado en la Información y El basado en el Conocimiento), se pone de manifiesto que para enfrentar los nuevos retos de la Educación a Distancia en la Superación Postgraduada, el segundo y el tercer modelo son los más idóneos, por considerarse en estos al estudiante y/o grupo de estudiante en el centro del problema, con un papel activo y adaptable del estudiante, a partir del empleo de la PC y la PC y la red como Tecnologías, lo que también ha conllevado tomar en consideración una serie de aspectos que permitan la implementación del cambio que interese a partir del empleo de las NTIC. Entre estos se deben destacar:

La Formación Pedagógica, El enfoque del trabajo Metodológico, El dominio de la Gestión de la Información, El dominio de las NTIC, Contar con una buena infraestructura de comunicaciones y tecnológica, y Prestar atención a los métodos, procedimientos y programas lógicos que van a respaldar el proceso de enseñanza aprendizaje, aunque como uno de los riesgos que se puede correr se encuentra el que en los países más pobres el costo de las telecomunicaciones es elevado al igual que el precio de las PC. y el desfase entre el mundo de la Universidad y el mundo de la Industria.

PRINCIPIO DE LA RELACION TEORIA PRACTICA

El Principio Marxista y Martiano de la relación teoría práctica, presupone que en el proceso Docente Educativo aparezcan ambos componentes en cualquiera de las actividades docentes inherentes al mismo.
El mencionado principio ha sido puesto en ejecución en nuestro nivel de enseñanza superior tanto de pre como de postgrado, con gran generalidad, contribuyendo de forma apreciable al cumplimiento de los objetivos educativos, socioeconómicos y al correspondiente a la formación de un especialista más integral, y de un profesional con más dominio y actualidad de los conocimientos adquiridos y con un mayor desarrollo en sus hábitos y habilidades y en la convicción de sus valores éticos y profesionales, a lo cual indudablemente contribuye de forma muy concreta el vínculo con la producción y la investigación, como forma organizativa específica de la actividad laboral e investigativa. y el empleo de la industria como medio activo de enseñanza (MES : Resolución Ministerial # 188 – 88; Vecino, A; F, 1991).

ENSEÑANZA APRENDIZAJE:

Si nos decidimos por un método de enseñanza y nos "casamos" con él, lo más probable es que condicionemos el medio a través del cual podemos distribuir nuestra educación. Tenemos que ser muy cuidadosos en las respuestas: ¿qué teoría de aprendizaje es necesaria? Claro, de acuerdo con nuestra población, tipo y nivel de enseñanza.

Nuestro público, su demografía y sus intereses —aspectos que siempre debemos considerar—, serán determinantes. No son lo mismo las estrategias que sigamos para la capacitación o las competencias laborales, que para la educación básica o la enseñanza de competencias generales. Depende del grado de especialización de nuestros receptores, de sí necesitamos que ellos adquieran aprendizajes prácticos y siempre debemos ser conscientes, en cada caso, de quiénes son los mejores generadores de contenido para el caso particular que trabajemos.

INTERACCION Y FACILIDADES DE USO:

La interacción se refiere a dos cosas distintas: 1) la interacción entre todos los participantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje (o sea que haya interacción entre los estudiantes y el instructor, entre los estudiantes, entre los tutores, etc.), y 2) la interacción entre el hombre y el medio, interacción hombre-máquina. Siempre tendremos que estar claros de qué tipo de interacción permite la tecnología elegida y qué tan fácil es de usar, cómo son las curvas de aprendizaje de un software o de una interfase.

SISTEMA DE ENSEÑANZA PERSONALIZADO A DISTANCIA (SEPAD).

Es una plataforma basada en la Web. Permite soportar cursos on-line. Ofrece múltiples opciones y servicios para garantizar un aprendizaje eficiente. Establece diferentes privilegios, como: Usuario invitado, Usuario estudiante, Publicador, Administrador del sistema. Este Sistema está compuesto por:

•Herramienta de publicación: Es la que permite que el profesor prepare los cursos a publicar. Ocupa solo 1Mbyte y no exige que el profesor esté conectado al servidor para utilizarla. Su empleo es muy sencillo y facilita una organización, por temas, de todos los materiales que conforman la asignatura.

•Servidor: Es una presentación WWW que permite la presentación de los materiales, el seguimiento del proceso, la evaluación de los alumnos, el establecimiento de conversaciones en línea (chat), etc.

•Herramienta de acceso mediante correo electrónico: Permite que los alumnos puedan acceder al servidor de SEPAD utilizando los servios de correo electrónico (protocolo SMTP).

SEPAD, RASGOS FUNDAMENTALES:

Accesibilidad: Además de la web, el sistema permite el acceso vía SMTP y POP3.

Búsqueda: El sistema tiene implementado un servicio de búsqueda, que no es un potente motor de búsqueda como el Google y otros, pero permite ubicar un contenido dado dentro del sistema por medio de palabras claves.

Foros de debate: Cada curso tiene implementado un servicio de foros de discusión.

Auto evaluación: El publicador puede asignar evaluaciones a cada lección. Estas evaluaciones pueden ser de revisión automática o asistidas.

Desarrollo de motivación: Le permite al estudiante volver a cursar las auto evaluaciones que considere necesarias, y además emplea el uso de retroalimentación. Por otro lado, el sistema incorpora facilidades de mensajería y charlas en tiempo real.

Los aspectos abordados constituyen la base teórica sobre la que constituyó punto de partida para realizar la propuesta de un curso de postgrado para el sector productivo, por la modalidad a distancia, apoyado en la Plataforma SEPAD con el uso de la NTIC y en la vinculación Universidad-Industria.

ESTRUCTURACION DEL CURSO DE POSTGRADO A DISTANCIA "LA PURIFICACION DE LOS JUGOS DE CAÑA. TENDENCIAS ACTUALES PARA SU INTENSIFICACION", PARA ESPECIALISTAS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA.

Para la concepción, proyección y ejecución de este curso por esta nueva modalidad a distancia, apoyado en el uso de las NTIC y en el Principio de la Vinculación Universidad-Industria, se partió de los intereses solicitados por el Organismo MINAZ de nuestra provincia, a partir de sus necesidades, los que en un primer momento, comunicaron al profesor del curso, así como los nombres de los cursistas, centros de procedencias y el correo electrónico de cada cual.

A partir de esta primera información se estableció comunicación por la vía del e-mail con dichos profesionales, para confirmar su participación en el curso y verificar que esta vía de comunicación resultaba funcionar, precisando además el número telefónico de cada cual.

Posteriormente se les envió el primer material del curso correspondiente al Primer Bloque, con una Introducción referida a aspectos generales del curso y su estructuración, donde se plantea además la primera actividad del curso consistente en responder a una pregunta de desarrollo que se les formula y una encuesta diagnóstico que se aplica.

Los aspectos metodológicos contemplados en el material correspondiente al primero de los 4 Bloques, dado la importancia de los mismos, pueden quedar expuestos en forma de guía, como siguen:

1.-Hoja de presentación
2.-Introducción
3.-Pregunta de desarrollo y Modelo de Encuesta Diagnóstica no anónima.
4.-Aspectos generales. Descripción.
5.-Objetivos del curso:

- Materializar mediante su consolidación, el Principio de la Vinculación Universidad-Industria y de la Teoría con la Práctica y las posibilidades reales de la Educación a Distancia.
- Actualizar conocimientos acerca de la Tecnología Convencional aplicada en la Industria Azucarera, para la Purificación de los jugos de caña.

- Caracterizar la Tecnología de Purificación aplicada en su CAI de procedencia, proponiendo una metodología para su evaluación técnico-económica.
- Diagnosticar los principales problemas operacionales que pueden presentarse en la tecnología convencional de forma general y en particular en su CAI de procedencia.
- Establecer medidas correctivas para la solución a los problemas operacionales que se diagnostiquen.
- Conocer tendencias actuales desde el punto de vista de equipos, sustancias químicas y nuevas tecnologías o la combinación de estos, para la intensificación del proceso de purificación .
- Analizar propuestas de nuevos esquemas flexibles de purificación posibles a aplicar precisando la o las más asequibles a las condiciones de nuestra Industria Azucarera actual.

6.-Estructuración del curso:

Se realizará por temas según el contenido a tratar en cada una de las actividades que se establecen y tiempo que se planifique, en correspondencia a la estrategia pedagógica trazada para la vinculación de los conocimientos teóricos a la práctica y aprendizaje, por parte de los cursistas.

De acuerdo al contenido, se establecen los temas y sus correspondientes objetivos declarados en términos de: Rememorar, Valorar, Describir, Analizar, Caracterizar, Calcular, Evaluar, Diagnosticar. Establecer, Proponer, Aplicar, Proyectar, Conocer, Realizar.

7.-Definición y descripción de los contenidos de los diferentes bloques que conforman la estructuración del curso:

El curso de **"Purificación de los jugos de caña. Tendencias actuales para su intensificación"**, de acuerdo al criterio de su ejecución temporal o por bloques, responde a la siguiente estructura:

BLOQUE # 1.- Introducción. Aspectos Generales.

BLOQUE # 2. Tecnología Convencional para la purificación de los jugos de caña. Etapas (Tamizado del jugo, Alcalización, Calentamiento, Clarificación y Filtración).

BLOQUE # 3. Vías para la intensificación de la Purificación. Tendencias Actuales.

BLOQUE # 4. Proyecto final integrador:

8.-Otros Aspectos de Información general: Metodología, Evaluación, Calendario, Nota Aclaratoria, Equipo Técnico Pedagógico, Relación de Cursistas que han solicitado matrícula oficial en el curso, correo electrónico y algunos datos de interés, Palabras finales.

Todos estos aspectos, así como los materiales preparados, actividades señaladas a realizar por cada cursista, Indicaciones para la preparación del Proyecto final el que además de enviar, deben defender de manera presencial, siendo esta la única actividad de este tipo, y una encuesta final que se aplica a cada estudiante, se encuentran montados en la Plataforma SEPAD, como un documento adjunto en soporte magnético,

RESULTADOS:

En esta primera edición del curso de postgrado a distancia, referido, participaron 12 Ingenieros Químicos que laboran en 4 Empresas Azucareras de la Provincia de Villa Clara, los que

cumplieron con las actividades orientadas antes, durante y después de la contienda azucarera, respondiendo a problemáticas concretas y particularizadas de cada fábrica, con propuestas de solución a las mismas.

Aunque el curso no estuvo excento de algunas dificultades en la comunicación por la vía del e-mail, fundamentalmente durante el período de zafra, los cursistas dan fe tanto por la vía directa como por sus respuestas a la encuesta final, de lo interesante y valioso que les resultó el curso y las ventajas que esta modalidad les ofrece, al poder solventar las dificultades reales de: estudiar en paralelo a la marcha del proceso productivo y las distancias a que se encuentran sus Empresas de la Universidad.

Se pone de manifiesto el gran apoyo brindado por la vía de la telefonía en determinados momentos, sobre todo cuando hubo dificultades con el MODEM de las Empresas, y lo útil del empleo de las NTIC, a partir de que en todas la Empresas se dispone de los medios de cómputo necesarios.

CONCLUSIONES:

Los resultados obtenidos de esta primera experiencia de la Facultad de Química y Farmacia de la UCLV, en la proyección, implementación y ejecución de un curso de postgrado por la modalidad a distancia, apoyado en el empleo de las NTIC y en la Vinculación Universidad—Industria, permiten arribar a la conclusión fundamental, que la misma es una tendencia factible y asequible de superación para los organismos de la producción y en especial para el organismo MINAZ enfrascado en su redimensionamiento a través de la tarea Alvaro Reynoso, dado el gran número de fábricas y especialistas que laboran en ella y donde el estudio se consigna como una fuente de empleo.

Queda demostrado además, como mediante esta vía se da solución a la superación de los especialistas de la producción, sin que se afecte el proceso productivo, sin que los especialistas tengan que desatender sus problemas personales y sin tener que viajar a grandes distancias con los inconvenientes que ello lleva aparejado, para poderse superar.

A lo anterior se adiciona la importancia de poder lograr la vinculación Universidad-Industria y de poder contar con las NTIC y las posibilidades de uso de las mismas por los especialistas de las Empresas, lo que unido a la existencia en cada una de las fábricas de las herramientas mínimas necesarias para la implementación de la modalidad a distancia, hacen posible su ejecución, reafirmándose lo expuesto de Tendencia Factible y Asequible, que puede incluso ser extrapolada a otros organismos.

BIBLIOGRAFIA:

1.-ADELL, J. (1997): "Tendencias en educación en la sociedad de las tecnologías de la información", Edutec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa, 7, 1010 líneas URL:http://www.uib.es/depart/gte/revelec7.htm

2.- (MATTHEWS, D. (1998): "Transforming higher education. Implications for state education finance policy", http.//www.educause/erm9854.htm.)

3.-MES (1988): Reglamento del trabajo docente metodológico. Resolución Ministerial #188 – 88.

4.-Vecino, A; (1991) F: "IV Seminario de perfeccionamiento para dirigentes nacionales de la Educación Superior". MES. 1991.

5. Vecino, A; F (1983): "La Educación Superior: sus objetivos y métodos para lograrlo". Revista Cuba Socialista # 3. Dic./ 82 – Feb./83. La Habana. Pág. (3 – 33).

CONTROL INTERNO:
ASPECTO DE SINGULAR IMPORTANCIA PARA ACREDITAR UN LABORATORIO

Armando J. Perdomo Morales, Bárbara Torres Ponce, Fernando Fernández Álvarez, Julián Rodríguez López, Francisco Pérez Sanfiel
ICINAZ
leycaz@icinaz.co.cu

Como se sabe la acreditación de un laboratorio es un procedimiento mediante el cual un órgano directivo expresa su reconocimiento formal de que órgano es competente para realizar tareas específicas para la evaluación de la conformidad.

En nuestro país el Órgano Nacional de Acreditación de la República de Cuba (ONARC), hasta el 2003, ha concedido a 33 laboratorios de ensayos y 27 de calibraciones la condición de Laboratorios acreditados.

Uno de los aspectos relevantes que no puede faltar ni fallar en el laboratorio acreditado es el control interno, que se puede definir como el conjunto de acciones realizadas para la supervisión sistemática de las operaciones y los resultados, con el fin de decidir si estos son suficientemente fiables para ser emitidos.

En el presente trabajo se ofrece un procedimiento general de control interno que contemple la preparación de las condiciones de trabajo para el ciclo de zafra, el reciclaje de muestras para comparar resultados con la correspondiente muestra originalmente analizada, incertidumbre de la medición, participación en ensayos interlaboratorios, desempeño del personal y auditorías técnicas para garantizar las 3 C confiabilidad, credibilidad y competencia.

Debe destacarse que en este trabajo se expone como solución a uno de los acuerdos aprobados en el Encuentro de Jefes de Laboratorios de la industria azucarera celebrado en La Habana el 14-15 de noviembre del 2003, que plantea la implantación de un procedimiento de control interno en cada laboratorio.

Palabras claves: Control Interno, Acreditación, Confiabilidad

CONTROL INTERNO:
ASPECTO DE SINGULAR IMPORTANCIA PARA ACREDITAR UN LABORATORIO

Armando J. Perdomo Morales, Bárbara Torres Ponce, Fernando Fernández Álvarez, Julián Rodríguez López, Francisco Pérez Sanfiel
ICINAZ
leycaz@icinaz.co.cu

INTRODUCCIÓN

El control interno de un laboratorio es el corazón del mismo para garantizar las 3 C: confiabilidad, credibilidad y competencia.

El Control interno es el conjunto de acciones realizadas para la supervisión sistemática de las operaciones y los resultados, con el fin de decidir si estos son suficientemente fiables como para ser emitidos.

Existen dos vías para poder evaluar y controlar un laboratorio: la primera es la que efectúa el propio laboratorio, para ello puede realizar mediciones repetitivas sobre una misma muestra, emplear materiales de referencia o patrones, emplear gráficos de control, ejecutar auditorías internas de calidad, evaluar la incertidumbre, repetibilidad y reproducibilidad interna, evaluar el desempeño del personal, entre otros; la segunda es la que necesita de agentes externos al laboratorio para que pueda ser desarrollada, y es en ella donde se insertan los ensayos de aptitud.

En el presente trabajo se expone un procedimiento general para evaluar el control interno de un laboratorio como solución a uno de los acuerdos aprobados en el Encuentro de Jefes de Laboratorios de la industria azucarera celebrado en La Habana el 14-15 de noviembre del 2003.

DESARROLLO DEL TRABAJO

El propósito de este procedimiento es establecer una metodología para el control interno en el Laboratorio como vía de aseguramiento de la calidad de los resultados de los ensayos ejecutados.

Términos y definiciones fundamentales

- **Confiabilidad analítica: Credibilidad del cliente respecto a los resultados analíticos reportados.**
- **Muestra ciega: Porción de una muestra previamente analizada, que se entrega al analista para la realización de un ensayo determinado, identificada con una clave especial y diferente en formato a las claves habituales, de modo que el analista no puede relacionarlo con el resultado anteriormente reportado.**

- **Muestra en paralelo o doblemente ciega: Porción de una muestra que se entrega al analista con una clave de formato similar a las normales, pero simulando su procedencia, de modo que el analista no puede relacionarla con ningún resultado anteriormente reportado.**

Responsabilidades

El J´Laboratorio y/o el Director de Calidad es el responsable de:
Preparar las condiciones necesarias para el comienzo de zafra.
Seleccionar y registrar las muestras ciegas, en paralelo o doblemente ciegas y distribuirla a los analistas
Chequear la validez de los resultados reportados en los informes de ensayo

Evaluar trimestralmente el desempeño del personal
Coordinar los ensayos de comparación interlaboratorios

Los auditores designados son responsables de realizar la auditoria técnica.

Esquema de Control interno

- **Acción Permanente**

1. **Revisión de no menos de un 20 % de la integridad de los datos y resultados emitidos por los analistas por el J´ Laboratorio o Director de Calidad, mediante firma en la casilla (Firma y fecha) de las libretas de análisis. Si se detectan errores reiterados deben considerarse las acciones correctivas pertinentes para eliminar la no conformidad, debiendo reflejarse en la evaluación del desempeño del personal.**

2. Cuando se tengan dudas de la validez de algún resultado se procederá a repetir el ensayo o se utilizarán muestras en paralelo o doblemente ciegas. Si se detectan dificultades analíticas puede dar lugar a la realización de una auditoría técnica.

- **PERIODO DE ZAFRA**

Como forma de chequear el trabajo habitual del analista se utilizan muestras paralelas o doblemente ciegas.

Ensayo de muestras en paralelo o doblemente ciegas.

a) Selección. Entre las muestras recibidas en el laboratorio el J´ Laboratorio o Director de Calidad, selecciona de forma aleatoria, entre las que tienen suficiente cantidad, las que van a servir de base para su preparación, cuidando que represente como mínimo el 10 % del total de las muestras analizadas en ese período.

b) Preparación. Estás serán preparadas, envasadas, identificadas y registradas en el modelo I "Preparación de las muestras para el control interno".

c) Una vez preparadas, el J´ Laboratorio o Director de Calidad, entrega las muestras al analista (como si hubiese sido recibida por un cliente externo).

d) Reporte de los resultados: Los resultados de las muestras en paralelo o doblemente ciegas son tomados por el J´ Laboratorio o Director de Calidad, de la libreta de análisis del analista y los transcribe al modelo: II "Evaluación de la confiabilidad analítica". Posteriormente los compara con los reportados originalmente.

e) Resultados no conformes: Si se evidencian diferencias con los resultados originales se analizará si es necesario realizar un nuevo ensayo o se anotará como una no conformidad en el registro establecido para ello en el laboratorio, tomándose las acciones correctivas correspondientes.

- **Desempeño del personal**

b) La dirección del laboratorio evaluará trimestralmente el desempeño de todo el personal mediante el modelo III "Desempeño del personal". Un resumen del desempeño anual del personal se archivará en la carpeta I "Informe de la confiabilidad analítica".

- **Anual**

1. Preparación de las condiciones de trabajo para el comienzo del periodo de zafra

a) En el último trimestre del año, el J´ Laboratorio o Director de Calidad, analiza, relaciona y garantiza las condiciones necesarias para el comienzo de zafra considerando los siguientes aspectos:

- **Designación del personal que realiza los diferentes métodos de ensayos**
- **Preparación del puesto de trabajo (Recursos materiales, aseguramiento metrológico y condiciones ambientales)**
- **Entrenamiento y capacitación del personal que lo requiera**

c) El J´ Laboratorio o Director de Calidad, realiza un informe al Director de la Empresa donde detalla las condiciones de trabajo que presenta el laboratorio para el inicio de zafra. El informe es archivado en la Carpeta I "Informe de la confiabilidad analítica".

c) Evaluación de la incertidumbre (1, 2, 3), repetibilidad (4) y reproducibilidad interna (4) del método: Una vez satisfechas las condiciones anteriores, el J´ Laboratorio o Director de Calidad, selecciona y registra en el modelo I no menos de 10 muestras, con diferentes niveles del analito, analizando por duplicado cada una de ellas. Las muestras seleccionadas son entregadas a los analistas.

d) Reporte de los resultados de la incertidumbre y la repetibilidad y reproducibilidad interna del método: Los resultados de los ensayos se toman de la libreta de análisis, por el J´ Laboratorio o Director de Calidad, para su procesamiento estadístico y reporte final, archivándose en la Carpeta I "Informe de la confiabilidad analítica".

2. Auditorías técnicas

Las auditorías (5, 6) técnicas se llevan a efecto acorde con el programa de auditoría, previamente preparado por la dirección del laboratorio.

Nota: De acuerdo a la importancia, magnitud o tendencia de las no conformidades detectadas podrán efectuarse auditorias técnicas adicionales.

Para la realización de las auditorías técnicas se utilizan muestras ciegas

a) Selección: Se preparará al menos una muestra para cada método de ensayo auditado, la cual debe estar debidamente identificada .

Una vez preparadas, el J´ Laboratorio o Director de Calidad, entrega la muestra a los auditores para la realización de la misma, también facilita los resultados analíticos anteriores.

2. **Programas de comparación entre laboratorios**

El J´ Laboratorio o Director de Calidad, considerará la participación del laboratorio en los ensayos de aptitud (7, 8, 9) que se programen en actividades afines y realizará las coordinaciones necesarias para su inclusión en los mismos.

Los resultados de los ensayos serán dados a conocer a todos los participantes, en reunión conjunta con la dirección del laboratorio. En la I "Informe de la confiabilidad analítica", se

archivarán los mismos. Los resultados que presenten dificultades analíticas se considerarán para tomar las acciones correctivas pertinentes.

J´ Laboratorio o Director de Calidad, redactará un informe anual que recopila los diferentes aspectos considerados en el esquema de control interno, empleando técnicas estadísticas (10). Este informe se archiva en la Carpeta I "Informe de la confiabilidad analítica".

Registros

Los registros se encuentran bajo la custodia del J´ Laboratorio o Director de Calidad.

Registros	Identificación	Tiempo de conservación
Preparación de las muestras de control interno	Registro I	1 año
Evaluación de la confiabilidad analítica	Registro II	
Desempeño del personal	Registro III	
Informe de la confiabilidad analítica	Carpeta I	

- **CONCLUSIONES**

1. Se ofrece una metodología para evaluar el control interno de los laboratorios azucareros del MINAZ.
2. El procedimiento establece los aspectos más significativos que se han de tener en cuenta para evaluar la confiabilidad analítica en un laboratorio.

- **RECOMENDACIÓN**

Implantar el presente procedimiento con las modificaciones que procedan ajustadas a cada empresa en los laboratorios azucareros del país

- **BIBLIOGRAFÍA**

1. Norma NMKL No.5 ,1997. Estimación y expresión de la incertidumbre de la medición en análisis químico.
2. Norma NAMAS, 1997.Incertidumbre y confiabilidad en las mediciones.
3. Procedimiento 21. LEYCAZ,2002. Estimación y expresión de la incertidumbre del ensayo.
4. CODEX CX 4/50, noviembre 2003. Terminología analítica para uso del CODEX.
5. ISO/FDIS 19011:2002. Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de la calidad y/o ambiental,.
6. Procedimiento 08. LEYCAZ, 2002. Auditoría Interna..
7. NC-COPANT-ISO/IEC Guía 43-1:2000. Ensayos de aptitud por comparaciones interlaboratorios. Parte 1. Desarrollo y funcionamiento de programas de ensayos de aptitud.
8. Anzardo P., Perdomo A. y Rodríguez J. 1997. Informe interno. ANALAB. El programa idóneo para evaluar analistas y laboratorios. ICINAZ-MINAZ-ACC..
9. Perdomo A. Experiencia del MINAZ en ensayos interlaboratorios. Calidad 2003.
10. Aguilar N. y Delgado D. M. Revista Normalización No. 2/2002, Cuba Técnicas estadísticas: herramientas para el mejoramiento de la calidad.

MODELO I
" Preparación de las muestras para el control interno "

Actividad a evaluar:_____

Identif del Analista	IDENTIFICACION		Fecha d/m/a	ENSAYOS										
	Original	Control Interno		Pol	Hum	Cen	CI	CH	TG	Dex	Red	Ins	Alm	PFe

Instrucciones para llenar el Modelo I " Preparación de las muestras para el control interno "

1- **Actividad a evaluar: Muestra en paralelo o doblemente ciegas, muestra ciega o repetibilidad del método**
2- **Identif . del analista: Se anotarán las iniciales del nombre y primer apellido de los analistas que participan en el ensayo.**
3- **Identificación**
   - **Original: Se anota la codificación interna (real) de la muestra.**
   - **Control interno: Identificación muestra en paralelo o doblemente ciegas, muestras ciegas y repetibilidad del método.**
4- **Fecha (d/m/a): Fecha de preparación de las muestras**
5- **Ensayos: se marca con una (x) los ensayos a realizar: Pol, Hum. –Humedad, Cen.-Cenizas, CI –Color ICUMSA, CH-Color Horne, TG-Tamaño de grano, Dex-Dextrana, Ins-Insolubles, Alm-Almidón y PFe-Partículas ferromagnéticas.**

Modelo II

“ Evaluación de la confiabilidad analítica”

Método: _____

Identificación		Analista		Resultados		Original - Control Interno
Original	Control Interno	Original	Control Interno	Original	Control Interno	

Instrucciones para llenar el Modelo II “ Evaluación de la confiabilidad analítica”

1- **Identificación:**
   - **Original: Se anota la codificación interna (real) de la muestra.**
   - **Control Interno: Identificación de la muestra en paralelo o doblemente ciega acorde al registro I**
2- **Analista:**
   - **Original: Inicial del nombre y del primer apellido del analista que realiza el ensayo inicial .**
   - **Control Interno: Inicial del nombre y del primer apellido del analista que realiza el ensayo de la muestra en paralelo o doblemente ciega.**
3- **Resultados:**
   - **Original: Transcripción de los resultados originales a partir del registro P03-02 o del informe de ensayo correspondiente.**
   - **Control interno: Transcripción de los resultados a partir de la libreta de análisis.**
4- **Original - control interno: Es la diferencia analítica que permite evaluar la confiabilidad analítica.**

MODELO III

DESEMPEÑO DEL PERSONAL

Nombre completo:	
Cargo que ocupa:	
Período a evaluar:	
Fecha:	**No. de análisis realizados:**
EVALUACIÓN	
MENOS DE 60	**DEFICIENTE**
60 – 79	**REGULAR**
80 – 90	**BIEN**
91 - 99	**MUY BIEN**
100	**EXCELENTE**

ASPECTOS CONSIDERADOS	EVALUACIÓN	
1. Organización del puesto de trabajo	0 - 15	
2. Dominio de los procedimientos	0 - 15	
3. Realización de los cálculos y llenado de todos los registros	0 - 25	
4. Confiabilidad analítica	0 – 35	
5. Accidente del trabajo y capacitación	0 – 10	

Comentario Resumen:

En el presente modelo se sugiere una puntuación que pudiera repartirse en los aspectos siguientes que podrían considerarse en la evaluación siendo entre otros los siguientes:

1. Organización del puesto de trabajo
Uso de la bata, fumar y/o comer dentro del laboratorio, garantizar el mantenimiento de las condiciones de trabajo con los recursos disponibles para el ensayo del método analítico en cuestión. Limpieza y cuidado de los instrumentos de medición, utensilios, reactivos, cristalería, asignados al método de ensayo, etc.

2. Dominio de los procedimientos
Conocer los procedimientos del Sistema de Calidad y actuar acorde a estos, participación en cursos internos, externos y evaluación, cumplimiento del horario en la recepción y devolución de las muestras.

3. Realización de los cálculos y llenado de todos los registros
Llenado de la libreta del analista: legibilidad, no sobre escritura, claridad, tachaduras, etc. Resultado del chequeo de los cálculos en la libreta de análisis

4. Confiabilidad analítica
Dominio de los métodos de ensayo, resultado de muestras ciegas, resultados de muestras en paralelo o doblemente ciegas, incertidumbre de la medición, resultado de una auditoria técnica, resultado de repetibilidad y reproducibilidad interna, evaluación en los ensayos interlaboratorios.

5. Accidente del trabajo y capacitación
Se debe dominar el contenido del capítulo: Consejos de utilidad en el Laboratorio, (MACU 1996. 33-44), Acorde con este acápite se debe evaluar si ha habido algún accidente en el laboratorio, así como la marcha de la capacitación técnica.

ELABORACIÓN E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE CALIDAD PARA LA ACREDITACIÓN DE UN LABORATORIO.

Bárbara Torres Ponce, Armando Perdomo Morales, Fernando Fernández Álvarez y Julián Rodríguez López
ICINAZ
leycaz@icinaz.co.cu

Resumen:

Cada año el número de laboratorios acreditados a escala mundial se incrementa motivado por la necesidad de mantenerse en el mercado, constituye actualmente casi un requisito indispensable para tener acceso al mercado la acreditación de los sistemas de calidad

La acreditación no es más que el procedimiento mediante el cual un órgano directivo expresa su reconocimiento formal de que un órgano es competente para realizar tareas específicas de evaluación de la conformidad. La acreditación es realizada por diferentes órganos de acreditación.

Los principales aspectos de la acreditación lo constituyen: El Sistema de la Calidad y la competencia de los evaluadores de la conformidad.

En este trabajo se da a conocer toda la documentación que se debe elaborar para organizar e implantar un Sistema de Calidad en un laboratorio de ensayo y calibraciones cumpliendo con los requisitos de la Norma Internacional NC ISO/IEC 17025:2000 con vistas a su acreditación, así como las ventajas que conlleva la acreditación del Sistema implantado.

Palabras claves: Acreditación, Sistemas de Calidad, Documentación, Laboratorios.

ELABORATION AND INSTALLATION OF A QUALITY SYSTEM FOR THE ACCREDITATION OF A LABORATORY.

Bárbara Torres Ponce, Armando Perdomo Morales, Fernando Fernández Álvarez y Julián Rodríguez López
ICINAZ
leycaz@icinaz.co.cu

Summary:

Every year the number of accredited laboratories increases on a world scale motivated by the necessity of staying on the market, as the accreditation of the quality system is almost an indispensable requirement at the moment for accessing any market.

Accreditation is a procedure by which a leading organ expresses formal recognition that an organ is competent to carry out specific tasks of evaluation of conformity. Accreditation is carried out by different accreditation organs.

The main aspects of accreditation are: The Quality System and the competence of the assessors of conformity.

This work shows the whole documentation to be prepared in order to organize and implement a Quality System in a testing and calibration laboratory in compliance with the requirements of the Cuban Standard NC ISO/IEC 17025:2000 with a view to its accreditation, as well as the advantages brought about by the accreditation of the System implemented.

Key words: Accreditation, Quality System, Documentation, Laboratory.

Introducción.

Para permitir la aceptación a escala mundial de los servicios de calibración y ensayo, se ha introducido la acreditación como herramienta para garantizar la competencia y credibilidad de los órganos de evaluación de la conformidad.

La acreditación es realizada por diferentes órganos de acreditación. Para facilitar la aceptación de los resultados de estos órganos de acreditación y del servicio acreditado, se han creado asociaciones regionales, nacionales e internacionales de órganos de acreditación tales como:
- EA, Colaboración Europea para la Acreditación
- ILAC, Colaboración Internacional para la Acreditación de Laboratorios (Laboratorios)
- IAF, Foro Internacional de Acreditación (Órganos de Certificación)

EA, IAF e ILAC facilitan el reconocimiento de los servicios acreditados de evaluación de la conformidad a través de los Acuerdos de Reconocimiento Multilateral (AML).
- ONARC, Órgano Nacional de Acreditación de la República de Cuba.

La acreditación en los ensayos requiere trazabilidad y la trazabilidad requiere el uso de laboratorios de calibración acreditados. Por trazabilidad se entiende la capacidad para seguir la historia, la aplicación o la localización todo aquello que este bajo consideración. Al considerar un producto, la trazabilidad puede estar relacionada con el origen de los materiales y las partes; la historia del procesamiento; la distribución y localización del producto después de su entrega. (NC-ISO 9000:2000a). En el campo de la metrología, se considera la propiedad del resultado de una medición o el valor de un patrón, el cual puede ser relacionado con los patrones de referencia, usualmente patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena interrumpida de comparaciones, teniendo establecidas las incertidumbres (NC-OIML V2: 1995).

En nuestro país para que un laboratorio de ensayo y/o calibraciones sea reconocido como un laboratorio acreditado tiene que cumplir con la Norma Internacional NC ISO/IEC 17025:2000 la cual establece los requisitos generales para la competencia de los ensayos y calibraciones.

Materiales y Métodos.

La Norma Internacional NC-ISO/IEC-17025:2000 se emplea en nuestro país para el desarrollo y aplicación de un Sistema de Calidad en los laboratorio de ensayos y/o calibraciones. La misma establece los requisitos generales que debe cumplir un laboratorio de ensayo y/o calibraciones, incluyendo el muestreo para que sea reconocido como competente. Esta norma ha sido elaborada por la Oficina Nacional de Normalización y es idéntica a la Norma Internacional ISO/IEC 17025:1999 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Los organismos de acreditación que reconocen la competencia de los laboratorios de ensayos y/o calibraciones utilizan esta norma como base para la acreditación.

Un Sistema de gestión de la Calidad es sistema para establecer la política y los objetivos y para lograr dichos objetivos ISO ISO 9000:2000b). Los elementos del Sistema de Calidad son los siguientes: extensión, estructuración, documentación, auditoria, revisión /evaluación y el mejoramiento.

Para la elaboración e implantación de un Sistema de Calidad en un laboratorio, lo primero que se necesita es que la dirección del mismo este consciente de la necesidad del sistema. El laboratorio o la organización de la cual este forme parte debe ser una entidad con responsabilidad legal, debe de poseer disposiciones con vistas a identificar potenciales conflictos de intereses con otras áreas para evitar que afecten negativamente la conformidad del laboratorio con los requisitos de la Norma Cubana, además debe de poseer disposiciones para asegurar que la dirección y su personal estén libres de cualquier presión o influencia indebida, comerciales, financieras o de otro tipo tanto internas como externas.

Las instalaciones del laboratorio deben ser tales que faciliten la correcta ejecución de los ensayos y/o calibraciones, debe existir una separación efectiva entre las áreas adyacentes en las cuales se realicen actividades incompatibles, así como debe estar controlado el acceso y la utilización de las áreas que influyen sobre la calidad de los ensayos y/o calibraciones, así como todos los equipos deben estar verificados y calibrados antes de su puesta en funcionamiento.

El desarrollo y aplicación de un Sistema de Calidad conlleva a que conjuntamente con la elaboración de la documentación del Sistema, se realice la capacitación del personal del laboratorio, primeramente se deben de formar los auditores internos de la calidad que se encargaran de la elaboración e implantación de toda la documentación del Sistema, el personal del laboratorio debe de tener conocimientos sobre técnicas estadísticas, así como debe de conocer y dominar las normas de Buenas Prácticas de laboratorio y toda la documentación del Sistema de Calidad.

La documentación del Sistema de Calidad, todos los elementos, requisitos y disposiciones adoptados por una organización para su Sistema de Calidad serán documentados de forma sistemática y ordenada, los mismos deben ser legibles, fechados, limpios, identificados de forma única, ser trazables y su conservación por plazos definidos, debe comunicarse, ser entendida, estar disponible e implementada por el personal apropiado. Los principales documentos son:

- Manual de Calidad.
- Procedimientos operativos de calidad.
- Planes de calidad.
- Registros, Instrucciones, modelos y especificaciones de trabajo.

Manual de Calidad.
Constituye el documento principal que se emplea para presentar el Sistema de Calidad, el mismo generalmente contiene:
-El título, alcance y el campo de aplicación del Manual
- La Política y los Objetivos de la Calidad, la Política de la Calidad no es más que orientaciones y objetivos generales de una organización con respecto a la calidad, constituye un elemento de la política general y debe ser aprobada por su máxima dirección, mientras que los Objetivos de la Calidad se definen como algo ambicionado, o pretendido, relacionado con la calidad (ISO 9000:2000c), generalmente se basan en la política de la calidad, los mismos deben de cumplir con los siguientes requisitos: ser específicos, medibles, realizables, estimulantes y compatibles .
- El organigrama de la estructura organizativa y de dirección del laboratorio, las responsabilidades y funciones que deben desempeñar cada uno de ellos.
- La referencia a los procedimientos y a las instrucciones.
- La estructura y distribución de toda la documentación del Sistema.

Procedimientos Operativos de Calidad.
Forma especificada para llevar a cabo una actividad o un proceso(ISO 9000:2000d). Constituyen el documento base del Sistema de Calidad, ellos definen como las actividades se realizan, se controlan y se

ejecutan, generalmente contienen: el objeto y el alcance de la actividad; que debe hacerse y quien debe hacerlo; cuándo, donde y como debe hacerse; que materiales, equipos y documentos deben utilizarse; y como debe controlarse y ejecutarse. Se deben elaborar todos los procedimientos exigidos por los requisitos de la Norma Cubana.

- Procedimiento para la edición, emisión, control y distribución de los documentos.
- Procedimientos para asegurar la protección de la información confidencial y los derechos de propiedad de los clientes.
- Procedimientos para la revisión de solicitudes ofertas y contratos.
- Procedimientos para la subcontratación de los ensayos y las calibraciones.
- Procedimientos para la selección compra de servicios y suministros.
- Procedimientos para ofrecer servicio al cliente.
- Procedimientos para resolver las quejas recibidas.
- Procedimientos para el control de los trabajos no conformes de ensayos y/o calibración.
- Procedimientos para las acciones preventivas y correctivas.
- Procedimientos para la identificación, acceso, almacenamiento y disposición de los registros.
- Procedimientos para realizar periódicamente auditorias internas a sus actividades, incluyendo las actividades de ensayo y/o calibración.
- Procedimientos para efectuar periódicamente las revisiones por la dirección del sistema de la calidad.
- Procedimientos para identificar las necesidades de entrenamiento del personal del laboratorio.
- Procedimientos de instalaciones y condiciones ambientales.
- Procedimientos para todos los ensayos y/o calibraciones considerados dentro de su alcance.
- Procedimiento para la validación de los métodos
- Procedimiento par estimar las incertidumbre de la medición.
- Procedimientos para el control de los datos.
- Procedimiento para la manipulación, transportación el uso y el mantenimiento de los equipos de medición, patrones de referencia y materiales de referencia.
- Procedimiento para la calibración de los equipos, patrones de referencia y la trazabilidad de las mediciones.
- Procedimientos para el muestreo.
- Procedimientos para la manipulación del objeto de ensayo.
- Procedimiento para el control interno de la calidad.
- Procedimiento para elaborar el informe de ensayo y el suplemento de ensayo.

Planes de calidad.

Documento que especifica qué procedimientos y recursos asociados deben aplicarse, quién debe aplicarlos y cuándo deben aplicarse a un proyecto, proceso, producto o contrato específico (ISO 9000:2000e).

Se deben elaborar los planes exigidos por la Norma.

- Planes para capacitación, entrenamiento y desarrollo del personal.
- Plan para el abastecimiento de los recursos materiales.
- Plan para el mantenimiento, calibración y verificación de los equipos y patrones de referencia.
- Plan de muestreo.
- Plan de acciones correctivas
- Plan para introducción de métodos de ensayo y calibración desarrollados por el laboratorio, en caso que desarrollen métodos.
- Plan de auditorias.

Registros de trabajo.

Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades desempeñadas, pueden utilizarse, por ejemplo, para documentar la trazabilidad y para proporcionar evidencia de verificaciones, acciones preventivas y acciones correctivas, no necesitan estar sujetos al control del estado de revisión. (ISO 9000:2000f).

.

Cada procedimiento elaborado evidencia que ha sido implantado cuando los registros reflejen los resultados obtenidos.
Se deben poseer los siguientes registros.
- Registro de las autoridades y responsabilidades de todo el personal que dirige y realiza o verifica los trabajo de ensayo y/o calibración.
- Registros de los resultados de los métodos de ensayo y/o calibraciones considerados dentro de su alcance.
- Registros con el listados de las firmas autorizadas.
- Registro del control de la distribución y modificaciones de los documentos.
- Registros de los contratos de servicios
- Registros para el control de los informe de ensayo y el suplemento de ensayo emitidos.
- Registros para programar y controlar la ejecución de las auditorias internas así como los informes de las auditorias realizadas.
- Registros para evidenciar el desempeño del personal.
- Registros que reflejen las no conformidades detectadas, acciones correctivas y acciones preventivas tomadas.
- Registros para el control de la limpieza.
- Registros de los documentos de fuentes externas.
- Registros de las encuestas realizadas a los clientes por el servicio ofrecido.
- Registros para el control de las condiciones ambientales (temperatura y humedad).
- Registro del plan mantenimiento, reparación, verificación y calibración de los instrumentos de medición.
- Registros del plan para la capacitación y desarrollo de personal.
- Registros para controlar la calidad del agua para análisis.
- Registros que reflejan las revisiones ejecutadas por la dirección.
- Registro del listado de los equipos del laboratorio.
- Registros de control y uso de los equipos de medición.
- Registros de las evaluaciones a los proveedores de insumo y suministros.
- registros de las reclamaciones realizadas a los suministradores.
- Registros de la recepción de suministros al laboratorio (equipos y reactivos).
- Registros de las validaciones y verificación de los métodos de ensayo y/o calibración.
- Registros de identificación de los clientes.
- Registros para controlar la decisiones de los clientes a efectuar la subcontratación.
- Registros de las evaluaciones a los subcontratistas.
- Registros de las solicitudes de servicios.
- Registros de las reclamaciones recibidas.
- Registros de los informes enviados por los clientes.
- Registro para registrar los datos pertinentes a las operaciones relacionadas con el muestreo.
- Registros para recepción del objeto de ensayo.
- Registros para reflejar toda anomalía al recibir el objeto de ensayo.

Instrucciones.
Todos los equipos del laboratorio deben de poseer las instrucciones de su modo de operación y las mismas poseen el mismo formato utilizado para los procedimientos, es decir deben de poseer el nombre y la firma de la persona que la elabora y lo aprueba así como la fecha de elaboración.

Resultados y Discusión.

Con la organización e implantación del Sistema de Calidad se logra:
1-Propicia la acreditación del Sistema de Calidad.
2-Incrementa la confianza y la credibilidad de los resultados de los ensayos y calibraciones realizadas.

Una vez que el laboratorio tiene elaborada e implantada toda la documentación y todo su personal está capacitado, conoce y domina toda la documentación del Sistema de Calidad, realiza la solicitud para su acreditación.

Proceso de acreditación se realiza:
El laboratorio presenta una solicitud, visita preliminar al lugar, revisión de los documentos, evaluación "in situ", informe interno de acreditación, emisión del certificado de acreditación, supervisión y re-acreditación.

Qué implica la acreditación para los laboratorios?
Obligación de eliminar no conformidades, aceptar la oferta de acreditación, pagar las tarifas, operar a partir de un sistema acreditado, utilizar el certificado de acreditación y aceptar las visitas de supervisión y re-acreditación

La acreditación garantiza:
- imparcialidad
- competencia
- idoneidad
- independencia

Beneficios potenciales que reporta la acreditación de un laboratorio.
- Mejores condiciones de trabajo
- Mayor satisfacción en el puesto de trabajo
- Más salud y seguridad
- Mayor participación en el mercado
- Aumento de las ganancias
- Mejores resultados organizativos
- Reducción de los costos
- Mejor régimen de vida
- Mayor estabilidad laboral

Una vez que el laboratorio ha sido acredito sus resultados garantizan a los clientes:
- Conformidad con los requisitos
- Trazabilidad a patrones nacionales e internacionales
- Aceptación internacional.

Conclusiones.

La acreditación del Sistema de Calidad de un laboratorio de ensayo y/o calibraciones garantiza:
- Mayor confianza a la dirección, de que las actividades internas se desarrollan según los procedimientos establecidos.
- Mayor confianza a los clientes respecto al servicio brindado.
- Aumenta el prestigio y la reputación del laboratorio.
- Reducción de los costos, aumento de las ganancias y propicia una mayor participación en el mercado.

Referencias Bibliográficas.

1- ISO 9000:2000 Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y Vocabulario.
2- NC ISO/IEC 17025:2000 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
3- NC-OIML V2: 1995 Vocabulario Internacional de términos generales y básicos de metrología.

ENSAYOS DE APTITUD NACIONALES E INTERNACIONALES EN LOS LABORATORIOS DE ENSAYOS

Dra. Aracelia Hernández Gutiérrez, Ing. Elsa González Rodríguez, Tec.Yanelis Díaz Pérez, Dr. Agustín Irulegui Rodríguez.
Unión de Investigación- Producción de la Celulosa del Bagazo, Cuba-9
Apdo. 8, Quivicán, Tel. 574744, FAX 53 67 53455, Email: investc9@enet.cu

INTRODUCCIÓN

El ensayo de aptitud es el uso de comparaciones interlaboratorios con el fin de determinar el desempeño de laboratorios individuales para efectuar ensayos y hacer el seguimiento del desempeño continuo de dichos laboratorios. Puede además suministrar información para otros fines.
Participar en programas o esquemas de ensayos de aptitud provee a los laboratorios de un medio objetivo para evaluar y demostrar la confiabilidad de los datos que ellos producen. Tener la confianza que un laboratorio de ensayo obtiene resultados confiables en forma consistente es de importancia primordial para los usuarios de los servicios del laboratorio.
En el presente trabajo se dan a conocer los resultados obtenidos por el Laboratorio de Pruebas Físicas de la UIP Cuba-9 (Acreditado desde 1997 por la ISO/IEC Guía 25:1992 y por la ISO/IEC 17025:1999 desde el 2001) en la realización de ensayos de aptitud tanto nacionales como los realizados internacionalmente con la Confederación de Industrias Papeleras Europeas CEPI.

Las comparaciones interlaboratorios se llevan a cabo por numerosos objetivos pudiendo ser usados por los laboratorios participantes y otras partes para:

a) determinar el desempeño de laboratorios individuales para efectuar ensayos o mediciones específicos y hacer el seguimiento del desempeño continuo de dichos laboratorios;
b) identificar problemas en los laboratorios e iniciar acciones correctivas que puedan estar relacionadas, por ejemplo, con el desempeño del personal o con la calibración del instrumental;
c) establecer la efectividad y el grado de comparación de nuevos métodos de ensayo o de medición y, en forma similar hacer el seguimiento de los métodos establecidos;
d) proveer confianza adicional a los clientes de los laboratorios;
e) identificar diferencias interlaboratorios;
f) determinar las características de desempeño de un método, a menudo conocido como 'ensayos colaborativos' tales como repetibilidad, reproducibilidad e incertidumbre;
g) asignar valores a materiales de referencia (MR) y evaluar su adecuación al uso en ensayo específico o procedimiento de medición.

El ensayo de aptitud es un proceso para chequear el desempeño actual de un laboratorio y es un elemento a considerar para la acreditación, según lo declarado en el documento **Criterios de Acreditación, emitido por el ONARC en Marzo del 2001.**

DESARROLLO

BIBLIOGRAFÍA

1. NC-ISO/IEC Guía 43-1:2000. Ensayos de aptitud por comparaciones interlaboratorio. Parte 1. Desarrollo y funcionamiento de programas de ensayos de aptitud.

2. NC-ISO/IEC Guía 43-2:2000. Ensayos de aptitud por comparaciones interlaboratorios. Parte 2. Selección y uso de programas de ensayos de aptitud por organismos de acreditación de laboratorio.

3. ISO/DIS 13528:2000. Métodos estadísticos utilizados en los ensayos de aptitud mediante comparaciones interlaboratorios.

4. NC-ISO 3534-1:1999. Estadística-Vocabulario y símbolos. Parte 1. Técnicas de probabilidades y estadística general.

5. ISO 5725-2:1994. Exactitud (veracidad y precisión) resultados y métodos de medición. Parte 2: Método básico para la determinación de la repetibilidad y la reproducibilidad de un método de medición normalizado.

6. ILAC G13:2000 Guía sobre los requisitos para la competencia de los proveedores de programas de ensayos de aptitud.

7. ISO – Guía para la Expresión dela Incertidumbre de las Mediciones (1995)

SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD ISO 9001:2000 Y PERFECCIONAMIENTO EMPRESARIAL EN EL MINISTERIO DEL AZUCAR.

ISO 9001:2000 QUALITY MANGEMENT SYSTEM AND ENTER PRENEURIAL IMPROVEMENT AT THE SUGAR MINISTRY

Villamil, G; Hernández Gutiérrez, A (*); Sáenz, T(**); Irulegui, A (***).

(*) UIP de la Celulosa del Bagazo, Cuba 9, Apdo.8 Quivicán, La Habana, Cuba email: cuba9@enet.cu
(**) MINAZ, Calle 23 e/ N y O, C. de La Habana, email: atac@ocentral.minaz.cu
(***) ONN, C. La Habana, email: agustin@ncnorma.cu

RESUMEN

El sistema empresarial del Ministerio del Azúcar de Cuba está inmerso, a partir de 1998 en un profundo proceso de reorganización, el cual se vio potenciado en el año 2002 motivado por la decisión de reestructurar de raíz la agroindustria azucarera cubana. Estos cambios han estado enmarcados en el denominado perfeccionamiento empresarial, que es el sistema de gestión, basado en las mejoras continuas, que asumió la máxima dirección del país con el objetivo central de incrementar al máximo la eficiencia y competitividad de la empresa estatal cubana.

En la misma medida, para lograr ese objetivo y demostrar la capacidad de satisfacer los requisitos y expectativas de los clientes se requiere de un Sistema de Gestión de la Calidad dirigido a la prevención de no conformidades y la mejora continua en todas las etapas de la producción o la prestación de servicios.

Se trata pues en este trabajo de evidenciar la importancia de la implantación de un Sistema de Gestión de la Calidad por las Normas ISO 9001:2000 en las empresas que se encuentran en Perfeccionamiento Empresarial y la necesidad que tiene el país de que así sea, para demostrar la competencia y reconocimiento de nuestros productos en el mercado.

Palabras claves: Perfeccionamiento empresarial, agroindustria, sistemas de gestión de la calidad, no conformidades, mejora continua, competencia.

ABSTRACT

From 1998 the Sugar Ministry of Cuba is involved in a deep reorganization programme, powered in 2002 by the decision of reorder the cuban sugar industry. These changes are inside of the called enterpreneurial improvement, that is the management system, based on the continues improvement, assumed by the cuban government for to improve the cuban enterprise effciency and competitivity .

At the same way, for to get this objective and demonstrate the capacity of satisfy the claims requirements and expectatives, it is necessary a quality management system guided to prevent no conformities and continues improvement in all the production stages or service lending.

This paper treat to become apparent the importance of the quality management system implantation by standard ISO 9001:2000 in the enterprises involved in the enterpreneurial improvement and the country necessity in order to show the cuban products competition and reunderstanding on the international market.

Keywords: enterpreneurial improvement, cuban sugar industry, quality management system, no conformities, continues improvement.

Introducción

La implantación de sistemas de gestión de calidad esta basado en 8 principios, uno de los cuales se refiere a la mejora continua que es también el principio básico del perfeccionamiento empresarial para lo que se requiere ver la empresa como un sistema de relaciones funcionales y organizativas que interactúa de manera armónica y cambiante tanto interna como externamente.

La gestión empresarial requiere de un nivel de competencia reconocido en la calidad de sus productos(o servicios) para obtener resultados integrales exitosos y permanecer en el mercado.

En la búsqueda de esa competencia se encaminan los esfuerzos de directivos empresariales con el establecimiento de modelos de organización que garanticen su objetivo.

Actualmente, la gestión empresarial deberá tener en cuenta además de los requisitos de eficiencia económica, la calidad, el entorno medioambiental, seguridad industrial, entre otros aspectos, con un concepto integrador, donde la participación del hombre es importante y definitiva.

La Organización Internacional de Normalización, creó la familia de normas ISO con el fin de implementar sistemas de calidad, poniendo a la calidad en el centro de esta problemática, integrador de todas las actividades que de alguna manera llevan al objetivo final de alcanzar productos y servicios que satisfagan las necesidades de los clientes y sean competitivos en el mercado.

Las empresas cubanas tienen también que entrar de manera urgente en este mundo competitivo, incorporando las experiencias de las empresas que en el mundo han tenido éxitos en su gestión, con la adecuación que corresponda, pero sin dejar de tener en cuenta los elementos que clasifican, por definirlo de alguna manera, en lo que se llama competencia.

En el marco de la Tarea Alvaro Reynoso, reestructuración de la agroindustria azucarera cubana, un grupo de empresas están vinculadas al perfeccionamiento empresarial y tienen hasta el año del 2006 para tener implantado y certificado sus sistema de gestión de la calidad.

El presente trabajo trata sobre la importancia de la implantación de sistemas de gestión de la calidad acorde a las normas ISO 9000:2000 en las empresas en perfeccionamiento empresarial.

Desarrollo

Los sistemas de gestión de calidad enmarcados en la **ISO 9001:2000** se basan en 8 principios fundamentales que son:

- Enfoque al cliente
- Liderazgo
- Participación del personal
- Enfoque de proceso
- Enfoque de sistema para la gestión
- Mejora continua
- Enfoque basado en hechos para la toma de decisión

- Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor

La Norma ISO 9001:2000, basada en primera instancia en un enfoque de procesos, amplió su alcance respecto a la ISO 9001:1994, se centra en la eficacia del sistema de gestión de la calidad, incluyendo la mejora continua del sistema y el aseguramiento de la conformidad con los requisitos del cliente .(ISO 9001:2000).

La ISO 9001 pues se basa en la eficacia o lo que es igual, cumplir los requisitos planteados.

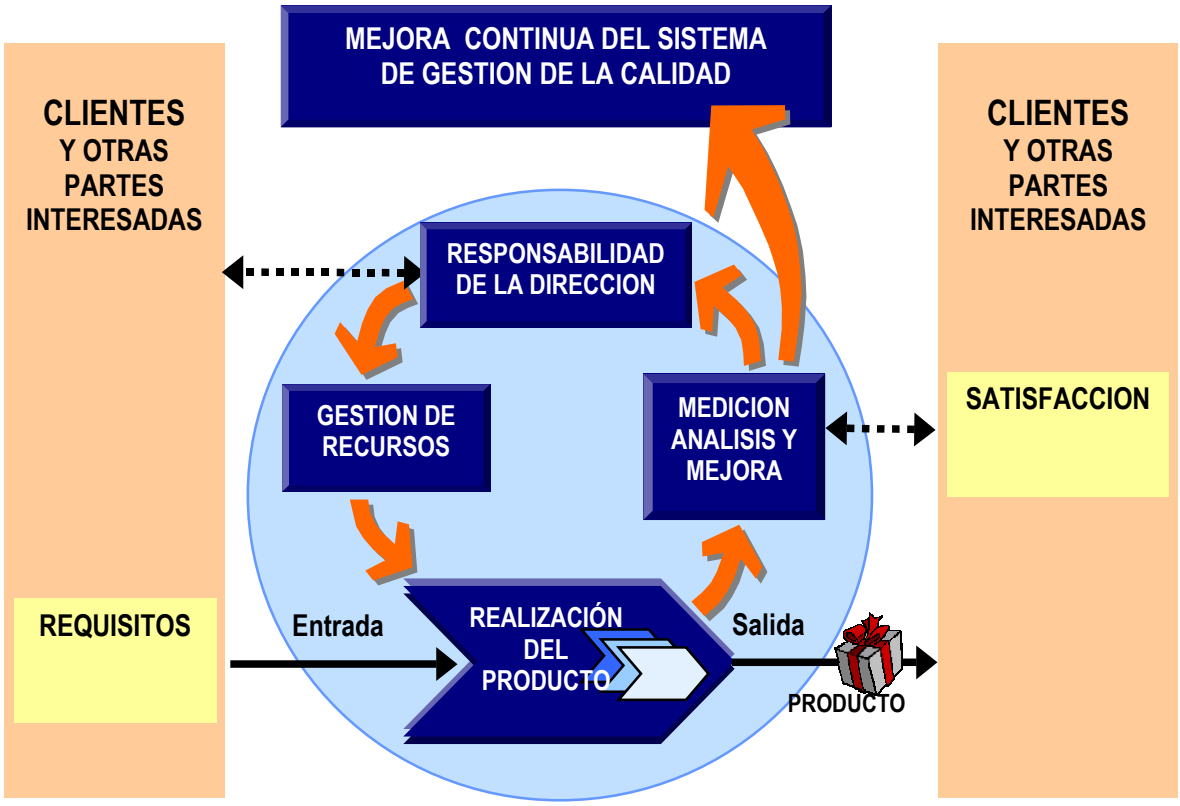
Esta norma Internacional permite a una organización integrar o alinear su propio sistema de gestión de la calidad con requisitos de sistemas de gestión relacionados.(ISO 9001:2000)

Para que una organización funcione de manera eficaz, tiene que identificar y gestionar numerosas actividades relacionadas entre sí. Una actividad que utiliza recursos y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados, se puede considerar como un proceso. La aplicación de un sistema de procesos dentro de la organización junto con la identificación e interacciones de estos procesos, así como su gestión puede denominarse como enfoque basado en procesos

De manera adicional puede aplicarse a todos los procesos la metodología conocida como "**PHCA, Planificar-Hacer-Comprobar-Actuar**. El enfoque de este ciclo corresponde a las entradas y salidas de los procesos.

Se presenta a continuación la figura 1: Modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos, que lleva implícito las etapas del ciclo PHCA; las entradas y salidas, así como los procesos que interactúan y accionan en función de la mejora continua del Sistema de Gestión de la Calidad y la satisfacción de los clientes.(ISO9001:2000).

Fig. 1 Modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos.



La gestión de la calidad es parte del perfeccionamiento empresarial, de la misma manera que lo son la gestión: financiera, de inversiones, de mantenimiento, de recursos humanos, medio ambiental, de higiene y seguridad laboral.

El Sistema de gestión de la Calidad tiene que ver con todas las actividades y procesos, tanto estratégicos, de realización, como de apoyo, para garantizar la calidad de la gestión integral de una entidad, orientada hacia la mejora continua y en la dirección por objetivos tiene una herramienta fundamental.

La calidad es parte integral de la gestión empresarial, debiéndose reflejar en los indicadores económicos de la entidad, eficiencia de los procesos, mejora continua y en la plena satisfacción de los clientes.

El Perfeccionamiento Empresarial es un sistema de planificación y gestión empresarial basado en las **mejoras continuas**, para lo cual se requiere ver la empresa como un sistema de relaciones funcionales y organizativas que interactúa de manera armónica y cambiante tanto interna como externamente (BG Perfeccionamiento Empresarial,1998).

Sus resultados se alcanzan por aproximaciones sucesivas, a diferencia de otros sistemas aislados (redimensionamiento, "justo a tiempo", reingeniería, etc.), en este caso nunca se termina en el proceso de "evolución", por eso con gran certeza se plantea que el Perfeccionamiento Empresarial es un proyecto de innovación tecnológica (Bacallao, E, 2003).

Las mejoras continuas constituyen un sistema complejo de gestión empresarial, las cuales permiten a las empresas adaptarse constantemente ante las exigencias de los mercados, las necesidades internas y la búsqueda permanente de niveles superiores de eficiencia y competitividad. Atañen a todas las áreas y segmentos organizativos de las empresas e incluyen, como mucha frecuencia, la ejecución de más de un proceso de transformación en su interior pero de manera concatenada y ordenada (por ejemplo, redimensionamiento + certificación e implantación de un sistema de gestión de la calidad). Se requieren cuando se está consciente que se necesita más de un proceso de cambio para lograr un fin y las condiciones del mercado son cambiantes con relativa frecuencia.

Este sistema de gestión requiere, entre otros, de:

- Una estrategia de desarrollo clara
- Confianza de los trabajadores en la alta dirección
- Alta preparación del personal de dirección y técnico
- Colectivos dispuestos a asumir el cambio
- Disposición a desarrollar una dirección participativa

Estas condiciones están presentes, en sentido general, en nuestro país y nuestro sector, quizás donde se presente la mayor complejidad sea en la resistencia al cambio, motivado por un alto conservadurismo, el cual hasta cierto punto es lógico.

Para unificar, garantizar el orden y una comprensión meridiana de qué se estaba buscando, al sistema de gestión, basado en las mejoras continuas, a aplicar se le denominó **Perfeccionamiento Empresarial**, lo cual mantiene totalmente su validez en la actualidad. Cada cual lo aplica y cumple con su objetivo central bajo sus condiciones específicas, pero con "reglas generales de juego" únicas e inviolables (Sáenz,T, 2004).

La Reestructuración de la Agroindustria Azucarera Cubana (Tarea "Alvaro Reynoso") en su primera etapa consistió en un fuerte proceso de redimensionamiento y reingeniería de la estructura empresarial principal del sector y su sistema empresarial de apoyo, con el objetivo de sentar las bases para lograr resultados económico – productivos mínimos (o aceptables) ante la coyuntura actual y tendencial del mercado de azucarero, sostén económico histórico del ramo.

La II etapa de la reestructuración, requiere de un mecanismo, que permita alcanzar los resultados indicados por la máxima Dirección del País en el corto –plazo, y en el mediano - largo plazos optimizarlos. Por tal motivo, el Perfeccionamiento Empresarial, como el sistema apropiado de planificación y gestión empresarial aprobado por el V Congreso del Partido Comunista de Cuba, tiene que convertirse en la herramienta eficaz en que se sustente la segunda etapa de la Tarea "Alvaro Reynoso", para lograr su objetivo central (ambos coinciden íntegramente): **incrementar al máximo la eficiencia y competitividad.**

Para lograr este fin, se requiere que todos los actores económicos adopten como herramienta de trabajo las **Bases Generales del Perfeccionamiento Empresarial** (más los documentos establecidos por para la certificación del Sistema de Gestión de la Calidad), a partir de lo establecido en cada uno de sus 16 subsistemas, prestando especial atención e integrando a ellos aspectos específicos, propios del Ministerio del Azúcar, e imprescindibles para el desarrollo ordenado y eficiente de su sistema empresarial: ***caña; diversificación agropecuaria e industrial; perfeccionamiento de las unidades productoras agropecuarias***; entre las principales; utilizando para ello herramientas de gran utilidad y efectividad probada como: ***los sistemas de gestión de la calidad (normas ISO); la gestión tecnológica y medioambiental; la teoría de las restricciones; la gestión por procesos***, entre otras.

El Perfeccionamiento Empresarial y sus Bases Generales no entran en contradicción alguna con el sistema de Gestión de la Calidad basados en las normas ISO, pues el Sistema de gestión y sus bases teóricas no establecen una "camisa de fuerza" a las empresas, por el contrario, solo trazan pautas donde se exige la eficiencia y competitividad como máxima y cada cual escoge las vías apropiadas para lograrlo, y lógicamente un sistema empresarial que básicamente produce alimentos (agroindustria azucarera) y que por demás exporta más del 50% de su producción principal está obligado a "jugar" con las reglas y exigencia del mercado, por tanto la certificación de estas normas se convierten en un imponderable, dentro de un amplio espectro de transformaciones constantes a que está urgido este sector económico.

CONCLUSIONES

- El sistema de gestión de la calidad por las Normas ISO 9001:2000 es un sistema integral cuya implantación contribuye al alcance de los objetivos productivos y económicos de las empresas, no de forma aislada sino en conjunto con otros sistemas de gestión financieros, recursos humanos, etc.
- El Perfeccionamiento Empresarial y sus Bases Generales no entran en contradicción con el sistema de gestión de la Norma ISO 9001:2000, por el contrario exige eficiencia y competitividad y está basado igualmente en la mejora continua, uno de los principios fundamentales de la Norma.
- El sistema empresarial del Ministerio del Azúcar tiene por delante el reto de la competencia y exigencias del mercado internacional y la implantación y certificación de su sistema de gestión de la calidad es el reconocimiento internacional establecido, razón por la cual queda por delante un arduo trabajo para alcanzar ese objetivo en el plazo establecido.

Bibliografía

1. ISO 9001:2000,Ginebra,Suiza.
2. Bases generales del Perfeccionamiento Empresarial.Anexo al decreto-ley187,agosto (1998)

3. Bacallao,E., Quevedo,V (2003) Innovación y Pefeccionamiento Empresarial. Herramientas indispensable para la competitividad. Edit Academia y Pub.Azucareras, La Habana,Cuba.
4. Sáenz,T (2004) El Perfeccionamiento empresarial: Bases, principios y su aplicación en el MINAZ.Conferencia impartida en el MINAZ,La Habana, Cuba..

"ESTRATEGIA PARA LA ACREDITACIÓN DE LA PIANTA PILOTO DE FERMENTACIONES DE CUBA 10"
"STRATEGIC FOR THE FERMENTATION PILOT PLANT OF CUBA 10 CERTIFIED"

Díaz, A., Leal, C., *Rodríguez, E., Hernández, Y., San Juan, A.N., *Sosa, A. y Díaz, A.O.

Instituto Cubano de los Derivados de la Caña de Azúcar.
cuba10@enet.cu
*Centro de Ingeniería Genética y Biotecnologia (C.I.G.B.).

Resumen

El auge que ha alcanzado el desarrollo de productos Biotecnológicos en nuestro país exige la necesidad de contar con plantas que cumplan con los requerimientos de seguridad biológica y ambiental.
Con el objetivo de obtener una planta acreditada por el Centro Nacional de Seguridad Biológica se realizó un estudio de remodelación del área de producción en la Subdirección de Desarrollo de Procesos Biotecnológicos (Cuba 10). Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar. Este trabajo fue concebido por un proyecto a solicitud del CIGB para la producción del preparado enzimático de dextranasa "*Hebertec Dextranase*", con el objetivo de cumplir con las normas internacionales de calidad. En el trabajo se expone una descripción física de la instalación con el estado actual de la planta y las características de la misma una vez modificada. Para la remodelación de la planta se realizó un estudio con diferentes diseños entre los cuales se encuentran: las nuevas características constructivas, la ubicación de las diferentes áreas de trabajo, características del sistema de ventilación e iluminación, flujo de producción, flujo de personal y flujo de materiales, así como tratamientos de residuales sólidos y líquidos. La planta remodelada contará con una batería de fermentadores que prestan servicios de producción de inóculos para una capacidad de 3.5 m^3 de fermentación, laboratorio, área de recobrado, tratamiento de los desechos, así como un área de almacenamiento del producto final.

Palabras claves: acreditación, dextranasa, planta piloto, productos biotecnológicos.

Summary

Due to the develoment of biotecnological products in our country it's demands the necessity of plants that provides the biological and enviromental security requerements.
In order to obtain a certified plant for the National Center of Biological Security a study to modify the production area of the biological processes plant (Cuba-10. ICIDCA) had been done. This work was done as a proyect for the Genetic Engineering and Biotecnological Center (CIGB) for the production of an ensigmatical prepared of Dextranase " Herbertec Dextranase with the objetive of international norms--. In this work physical characteristics of the installation in the actual and modified plant state are shown. For the modification of the plant different studies were done altending to bulding characteristics, localisation of work areas, ventilation and illumination systems, production personal and material fluxes, as will as treatments of solids of liquids residuals.
The modified plant will have a fermentors battery till 3.5 m^3 of capacity, laboratory, recovery by products area, residues treatments, as will as final product storage area.

Key words: certified, dextranase, pilot plant, biotecnological products.

Introducción

El desarrollo científico técnico, el avance necesario de la biotecnología, la ingeniería genética, la producción de medicamentos, vacunas, y otros productos, donde participan bacterias, levaduras y hongos, cuyo metabolismo y capacidad de biosíntesis están orientados hacia la fabricación de sustancias especificas, y que hoy día constituye los principios que se sustenta la bioseguridad. Los productos obtenidos para la Agroindustria, la acuicultura, para animales y para uso humano, comienzan a preocupar, a la comunidad científica internacional, que ve la necesidad de regular el avance, a pasos agigantados de la biotecnología moderna.

Para el trabajo con agentes biológicos es importante tener en cuenta un conjunto de medidas científico-organizativas entre las cuales se encuentran las humanas y técnico - ingenieras que incluyen las físicas destinadas a proteger al trabajador de la instalación, a la comunidad y al medio ambiente, las cuales están encaminadas a disminuir al mínimo los efectos que se puedan presentar y eliminar rápidamente sus posibles consecuencias en caso de contaminación, efectos adversos, escapes o pérdidas. Estas mediadas son evaluadas por El Centro Nacional de Seguridad Biológica (CNSB), el cual es el centro rector, encargado de dar los pasos legislativos en la materia de Bioseguridad. Ecoportal.net.

El trabajo ha tenido como objetivo la presentación al Centro Nacional de Seguridad Biológica un estudio de remodelación del área de producción en la Subdirección de Desarrollo de Procesos Biotecnológicos (Cuba 10), para la obtención de la acreditación para producción del preparado enzimático "Hebertec Dextranase", en colaboración con el CIGB. El documento fue elaborado de acuerdo a la base legal en la materia, que lo constituyen las resoluciones el Decreto Ley 190/99 de la Seguridad Biológica, en el que se establecen los preceptos generales que regulan el trabajo con agentes biológicos y sus productos, así como la liberación de estos al medio ambiente en el territorio nacional.

Desarrollo

Preparado enzimático " *Hebertec Dextranase"*

La tecnología para la producción del producto *Hebertec Dextranase* es desarrollada por el Centro de Investigación Genética y Biotecnología (CIGB) empleando el hongo *Penicillium minioluteum* como donante del gen de la dextranasa utilizado para expresar en la levadura *Pichia pastoris*. El microorganismo hospedero *Pichia pastoris MP36* es no patógeno, no contiene agentes adventicios y a la vez está descrita su utilización a gran escala con un alto nivel de bioseguridad y no posee limitaciones para su exposición ambiental ya que no tiene un impacto ambiental adverso. El organismo modificado presenta los mismos criterios que el organismo hospedero, García B. M. (2000). Este producto es utilizado en la industria azucarera con el objetivo de hidrolizar las dextranas presentes en los jugos de cañas.

Teniendo en cuenta lo prometedor de este producto y las posibilidades de explotación de la infraestructura existente en Cuba 10 se procedió a estudiar la posibilidad de remodelación de la planta de producción, con el objetivo que la misma cumpla con las normas internacionales de calidad que se exigen para áreas de producción de bioproductos. Una vez acreditada la planta de producción la misma se encuentra en condiciones de producir el preparado enzimático ***Hebertec Dextranase,*** así como de absorber otras producciones biotecnológicas.

Descripción física de la Instalación

1. Planta actual

La planta de producción cuenta con dos niveles, un nivel 0,00 metros, con un área de 150 m^2; y un nivel + 4,00 metros con un área de 119 m^2. Las paredes son de hormigón, con azulejos hasta una altura de 2 m del piso. Este a su vez, está conformado por losas de mosaico de 20 x 20 m y se encuentra unido a las paredes a través de rodapiés sanitarios.

Además, presenta ventanas de vidrio y aluminio que se encuentran en mal estado de forma general, dispuestas al fondo de la misma. El techo es de fibrocen, el cual se encuentra sujeto a vigas de acero al carbono presentando filtraciones, así como, vigas que se encuentran desprovistas de protección.

La instalación actualmente tiene dos puertas de entrada; una esta construida de madera y cristal y la otra de acero. Las tuberías de servicio (agua, vapor, etc.) son de acero inoxidable y presentan una distribución aleatoria.
También observamos un área de preparación de distintas materias primas, todo ubicado a un nivel de 0,00 m. En el nivel 4.00 m se encuentran ubicados los paneles de control de procesos y en la otra los paneles de electricidad pertenecientes a los equipos disponibles en dicha instalación.
Toda estas áreas en su conjunto estaban destinadas a otros procesos, como por ejemplo la producción de levadura Torula. Anexo I, (fig.1 y 2)

2. Características de la planta una vez modificada

Una vez realizada la remodelación, la planta tendrá nuevas características constructivas. Anexo II. (fig. 3 y 4)
El área de producción de igual forma, constará de dos niveles: el nivel 0,00 metros, donde estarán ubicados los equipos fundamentales que intervienen en el proceso; y el nivel + 4,00 metros, desde el cual se operarán los fermentadores de 3.5 m^3, 120 L (volumen de trabajo) y la centrifuga alfa laval.
El laboratorio de control se encontrará ubicado dentro esta misma área, pero como un cuarto independiente. El mismo es de mansposteria y los sistemas auxiliares de fregaderos serán de aluminio, ya que este material es resistente a la acción de las sustancias químicas y productos desinfectantes utilizados en el área de trabajo.
La carpintería que delimitará cada área entre sí, estará conformada de aluminio lacado blanco, con vidrio bronce y melanina; materiales probados para estos tipos de usos; ya que cumplen los requisitos de resistencia a temperaturas y limpiezas químicas necesarias.
En cada una de estas áreas, las divisiones serán de pa⟩o fijo con vidrio superior y melanina inferior con excepción del área de almacén, la cual será de pa⟩o fijo con vidrio superior y melanina superior e inferior. También, de acuerdo al área que lo requiera, existirá un módulo de dos ventanas correderas de dos hojas con pa⟩os fijos laterales y central; además de una puerta de una hoja de apertura con vidrio superior y melanina inferior.
El techo estará conformado por placas COVER - LIFE, cubierta ligera única en el mundo la cual mantiene su Know How en secreto, se puede decir solamente que el material Polym - Cryl tiene un alto % de Carbonato de Calcio; la materia prima se funde con el color y se produce por tecnología de estrucción. La misma está tropicalizada y se vende en 64 países entre ellos, algunos de Caribe como Martinica, Guadalupe y Jamaica.
Este material es resistente al fuego ya que no es inflamable, además, una de sus condiciones principales es la capacidad de absorber los golpes de origen accidental o naturales sin romperse. Este material está avalado por la prueba UNI 8044. Respecto a las cubiertas metálicas tradicionales, el ruido es cinco veces menores. Como otra de sus características técnicas se puede citar, su resistencia a los agentes químicos ambientales. La cubierta COVER LIFE está garantizada durante 15 a⟩os en su inalterabilidad estética y estructura.
Las paredes estarán repelladas y desprovistas de azulejos. La terminación de las mismas con las uniones del piso será lo más lisas posibles, redondeadas, y sin rodapiés sanitarios. Es de destacar, que las vigas de toda la estructura, así como, el espacio existente entre los fermentadores y el piso estarán forradas de planchas de Pladur, del tipo impermeable al agua; de la firma canadiense UNIFIX y comercializada en Cuba por REGOR INTERNATIONAL, similares a las utilizadas en construcciones análogas a la nuestra; como la planta de vacuna número 3 del Instituto Finlay.
Todo el piso será recubierto con resina de mortero Furanico-Exporxidico (Rr). Este producto se caracteriza por endurecer a temperatura ambiente, presenta alta estabilidad al contacto con solventes orgánicos, combustibles, lubricantes y productos químicos (excepto al sulfúrico al 98%), tiene una alta estabilidad mecánica susceptible de maquinarse, etc. Se emplea fundamentalmente en el recubrimiento para la impermeabilización, hermetización y protección anticorrosiva.
Las áreas de producción, laboratorio y almacén estarán pintadas con pintura de aceite color verde claro; y el área de preparación de materia prima estará pintada con pintura de aceite color azul claro.
El sistema sanitario será convencional y estará ubicado en el cuarto de transfer, específicamente en la sección que se encuentra dentro de la planta.

Todo el sistema de tuberías estará sobre una misma bandeja y pintados acorde al sistema de marcación vigente. Las tuberías que por necesidad no estén sobre la bandeja serán ocultadas por el falso techo.
A su vez, la planta contará de un sistema de falso techo de escayola aligerada resgistrable, así como, los sistemas de ventilación e iluminación necesarios para llevar a cabo toda la actividad.

2.1 Flujo de personal

Todo el acceso a la planta se realizará a través del tranfer. El mismo estará situado en el nivel 4.0 m. El mecanismo de acceso se hará a través de una llamada sonora o en un inicio abriendo la puerta el personal autorizado, esta puerta estará en interloc con la otra puerta de acceso final a la planta. El personal primeramente debe pasar por el baño para limpieza de las manos, después podrá cambiarse la ropa por la vestimenta propia de trabajo. La ropa individual será guardada en las taquillas independientes, las que estarán habilitadas para guardar ropas y zapatos. A continuación se sentará en el banco de cambio de calzado, y estará habilitado una percha para las batas y cubre bocas, así como un depósito para el desecho de la vestimenta usada. Todo este proceso será de obligatorio cumplimiento para todo el personal que por cualquier motivo debe entrar a la planta.
La planta constará en el nivel 0.00 m de una doble puerta para ser solamente utilizada en casos extremos por personal de mantenimiento y nunca estando en producción la misma.

2.2 Flujo de producción

El diagrama de flujo del proceso incluye una línea de semilla para inoculo, dos líneas de fermentación a 3.5 m^3 (volumen de trabajo) y una línea común para el recobrado, formulación y almacenamiento del producto.
La planta de producción consiste en un bloque compacto que incluye cuatro áreas fundamentales: laboratorio, preparación, producción y almacenamiento del producto final. El área de laboratorio incluye el control cualitativo, control de procesos y laboratorio de inoculo. El área de preparación incluye el equipamiento para el tratamiento de mieles y las facilidades auxiliares y esta a su vez está conectada al área de producción.
El proceso de producción del preparado enzimático Hebertec Dextranase, comienza en el laboratorio de inoculo de dicha planta, donde el cultivo es crecido hasta 7.5 L de fermentación. Posteriormente se transfiere a un fermentador de 120 L (volumen de trabajo), con el objetivo de obtener suficiente cantidad de célula para inocular el reactor de producción de 3.5 m^3 (volumen de trabajo).
En este equipo, una vez agotada la fuente de carbono inicial, se aumenta la agitación a 100 r.p.m., se deja la señal de pH libre y se adiciona 1% (p/v) de metanol. Durante el consumo, la señal de pH irá disminuyendo y al alcanzar el valor de 5.2 se fija éste al controlador. Nuevamente la carencia de sustrato es vista por el incremento brusco de la señal de pH, por lo que en ese momento se comienza la dosificación continua del metanol al cultivo (directamente a la fase líquida) a razón de 2 g/L/h, lo cual se realiza por medio de una bomba peristáltica previamente calibrada.
Terminada la etapa de producción se descarga el fermentador a un tanque de volumen 4 m^3 y se procede al recobrado del producto, separando el sobrenadante de la biomasa húmeda en una centrífuga alfa laval, suministrando el cultivo a través de una bomba a flujo de 90 L/h. El sobrenadante se colecta a temperatura ambiente y se pasa por gravedad a tres tanques de 1200L, se cuantifica el volumen y se formula el preparado enzimático con la adición de 0.05% de benzoato de sodio (0.5 g/L). Para la obtención de un cultivo libre de células el formulado se somete a un proceso de separación en una centrífuga sharpless de alta resolución y por último es sometido a un proceso de filtración.

2.3 Flujo de materiales

Los materiales limpios salen del área de Preparación de materias primas y llegan a los locales de fermentación - Centrifugación a través del bombeo y de los tanques almacenes auxiliares.
Los materiales sucios procedentes de los laboratorios se friegan en la misma área. Los tanques de Cosecha, los rotores y demás materiales sucios empleados en la centrifugación y extracción de la biomasa se limpian en la planta teniendo en cuenta las especificaciones para cada uno.
Los reactivos entran al área a través del tranfer de persona.
En caso de volúmenes pequeños de productos químicos u otras materias primas se trasladan a través del transfer de productos ubicado en el almacén de producto terminado.

2.4 Tratamiento de los desechos

En el proceso de producción son generados diferentes tipos de desechos, entre los que se encuentran:

- ***Desechos blandos***: puntas de micropipetas, materiales de PVC, goma, papel, cartón. Estos desechos son comunes, por lo tanto, son depositados en bolsas de nylon y posteriormente son recogidos por servicios comunales.
- ***Biomasa***: primeramente se le dará un tratamiento con vapor en el tanque receptor del producto proveniente de la centrífuga de disco (mayor cantidad de biomasa en forma de crema), con el objetivo de matar al microorganismo, la biomasa proveniente de la centrífuga sharpless y del filtro prensa serán tratada en un autoclave con el mismo objetivo. Después será incinerada en el Centro Nacional de Biopreparados. Además, se encuentra en estudios otras vías para dar solución a esta problemática, como por ejemplo: pudiera ser aprovechada, después de secada, para uso como suplemento nutricional del alimento de aves, siempre que su contenido por peso en él no exceda el 10 %. (FDA, Regulación I 573 750). Después de haber recibido el tratamiento, estos desechos se almacenarán en tanques herméticamente cerrados y serán transportados en un camión hasta el lugar de destino.
- ***Placas filtrantes***: se acumulan en bolsas de nylon y posteriormente son recogidos e incineradas.

2.4.1 Sistema de tratamiento de los residuales líquidos

Las producciones de *Hebertec Dextranase* realizadas en las instalaciones del CIGB y CUBA 10, han demostrado que los efluentes líquidos presentan una carga orgánica no elevada. Los mismos son generados fundamentalmente producto de la limpieza e higienización del equipamiento y las áreas de trabajo. Su volumen no excede los 5 m^3/día.

En la actualidad, estos residuales líquidos al salir de la planta se van hacia un pozo, donde se unen a los provenientes de Cuba-9 y se dirigen a través de la conductora a la laguna de oxidación de la región, la cual desemboca en la playa el Tomate.

Después de realizada la remodelación de la planta, el sistema de tratamiento cambiará sus características, ya que los residuales líquidos serán vertidos en un mismo punto. Posteriormente pasarán a un pozo o piscina de control, la cual tiene un volumen de 8 m^3 y un sistema de agitación por recirculacion por bombeo, así como, suministro de vapor; con el objetivo de eliminar cualquier contaminación presente en dichos efluentes. Esta piscina tiene controles de seguridad de mínimo y máximo nivel, con el objetivo de evitar el retorno por máximo nivel. Una vez tomadas las muestras y comprobado la ausencia de contaminación, los mismos son dirigidos a la conductora principal a través de una bomba.

El sistema de tratamiento del área de preparación de materia prima no presenta cambios.

2.5 Localización de los medios para la extinción de los incendios y salida de evacuación

- Extintores de CO_2 y polvo categoría C y D en el pasillo sucio del nivel 4.0 m
- La salida de evacuación es por la doble puerta en nivel 0.0 m al pasillo sucio.

2.6 Características del sistema de ventilación

El sistema de ventilación será centralizado, que incluye un sistema de inyección y extracción para cada área en particular. En el caso del nivel +4.00 metros, será instalado un ventilador centrifugo con flujo de 14 900 m^3/h y presión igual a 30 mmca, motor de 4 Kw y un banco de filtros mediano tipo BFG. En el caso del sistema de extracción se presentan las mismas características.

El nivel 0.00 metros, presenta un sistema de ventilación con un flujo de 9700 m^3/h y Pe de 30 mmca. La potencia del motor es de 3 Kw. También presenta un banco de filtro mediano tipo BFM, con igual sistema de extracción.

El almacén de producto terminado consta de ventilador centrífugo con mueble de inyección para un flujo de 2100 m^3/h, Pe de 30 mmca, motor de 0.75 Kw y banco de filtros mediano tipo BFG; con igual sistema de extracción.

El área de preparación de materia prima constara de extractores Axial de pared con flujo 11100 m^3/h y un motor de 0.55 Kw.

En todas las áreas, los conductos de inyección y extracción serán de sección rectangular, de acero galvanizado de 0.8 mm de espesor, con rejillas de simple deflexion Mod. RA, que estarían ubicadas por encima del falso techo.

2.7 Sistema de iluminación

Este sistema de iluminación está diseñado sobre la base de lograr un nivel de iluminación próximo a 400-500 Lux, valores apropiados para estas plantas. El mismo está compuesto por luminarias de 2 tubos independientes de 40 W, precalentamiento, 220 V, con dispersor plano transparente y empotradas en al falso techo

Riesgos

1. Riesgo biológico

El microorganismo de trabajo es la *Pichia pastoris*; la cepa MP 36 que no es patógena.

En el área de recobrado el equipamiento usado es una centrifuga continua que emite aerosoles del caldo de cultivo a toda el área de trabajo por lo que se utilizan tapabocas y para la extracción de la biomasa se utilizan guantes quirúrgicos, que además, es recogida en bolsas de nylon en forma manual por el encargado de dicho paso.

Todo el personal del turno que esta compuesto por: un J' de Turno, y dos operarios están expuesto al microorganismo y la frecuencia de trabajo es de 24x48.

El personal que trabaja con este microorganismo no puede ser infectado. Sin embargo, se hacen exámenes médicos anuales igual que a todo el personal de la planta.

2. Riesgo químico

En el área se laboran con volúmenes de reactivos corrosivos mayores de 5 L:

- Ácido concentrado (ortofosfórico al 40 %).
- Base concentrada (hidróxido de amonio al 25 %).
- Formaldehído

El ácido y la base se usan en la parte de fermentación para controlar el pH.

El amoníaco y el formaldehído se usan para desinfectar y descontaminar los fermentadores y el propio local con vapores de formaldehído. Estas sustancias se trabajan con guantes y caretas antigases. Los volúmenes de trabajo son 5 L para cada uno y su frecuencia está dada por las contaminaciones del equipamiento (los fermentadores). El formaldehído se usa una vez al mes para descontaminar el área y su volumen es de 2 L.

3. Medidas de Seguridad Biológica

1. Área panelizada para separación física de las operaciones
2. No se cruza el material limpio con el sucio
3. Superficies lisas fáciles de lavar y desinfectar
4. Control de Areosoles en las centrífugas
5. Control de uso y mantenimiento del equipamiento
6. Acceso Controlado al área
7. Uso de Gabinete de seguridad para el inóculo inicial
8. Uso de uniformes en el área
9. Desinfección química y rotación de desinfectantes
10. Elaboración de los planes de emergencia
11. Todos los procedimientos contenidos en Procedimientos Patrones de Operación
12. Control de ambientales en el área (Control de proceso)
13. Inactivación o Destrucción del residual biológico
14. Control de salud del personal
15. Control exterior de vectores

ANEXOS

Anexo I. Diagrama del Área actual (Figura 1 y 2)
Anexo II. Diagrama del Área remodelada (Figura 3 y 4)
Anexo III. Diagrama de flujo

Conclusiones

A modo de conclusión podemos plantear que:

1. Presentación de la remodelación de la planta de producción de Procesos Biológicos Cuba 10 para la producción del preparado enzimático de dextranasa "Hebertec Dextranase", en colaboración con el CIGB.
2. Obtención de una planta de producción que cumpla con las normas internacionales de calidad que se exigen para áreas de producción de bioproductos.
3. Una vez acreditada la planta de producción de Procesos Biológicos, esta planta se encuentra en condiciones de absorber la producción de otros productos entre los cuales se encuentran los desarrollados en nuestro Instituto como son: Gluticid, Probicid, Nemacid, Verticid y otros. Así como prestar servicios a otras instituciones.

Referencias

- Documento htlm: *Cuba en Post de la Seguridad Biológica*- Ecoportal.net.
- Decreto-Ley- Nro. 190. Resolución Nro. 8/2000 y Resolución Nro.103/2002
- García, B. M., Rodríguez, E., Rivero, T., Hidalgo, Y., Menéndez, J. (2000). *Biotecnología Aplicada* 17, 11-15

Anexo I.

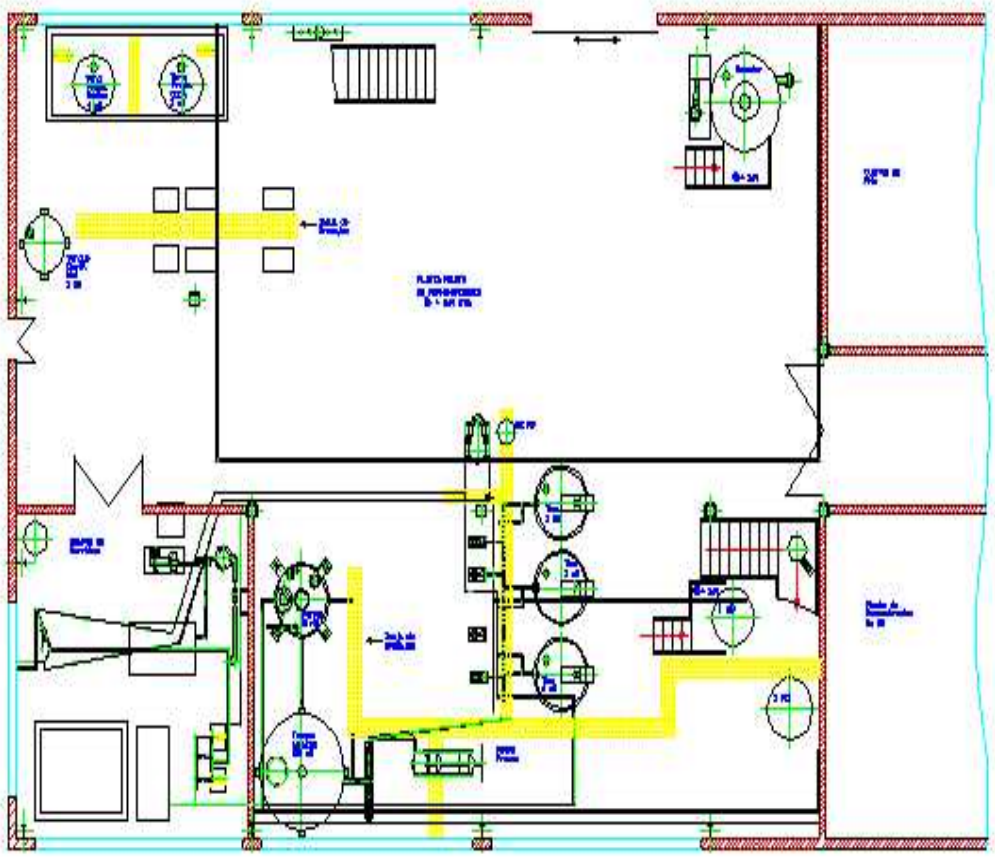


Figura 1. Nivel 0.00 m de la planta de producción actual de Cuba 10

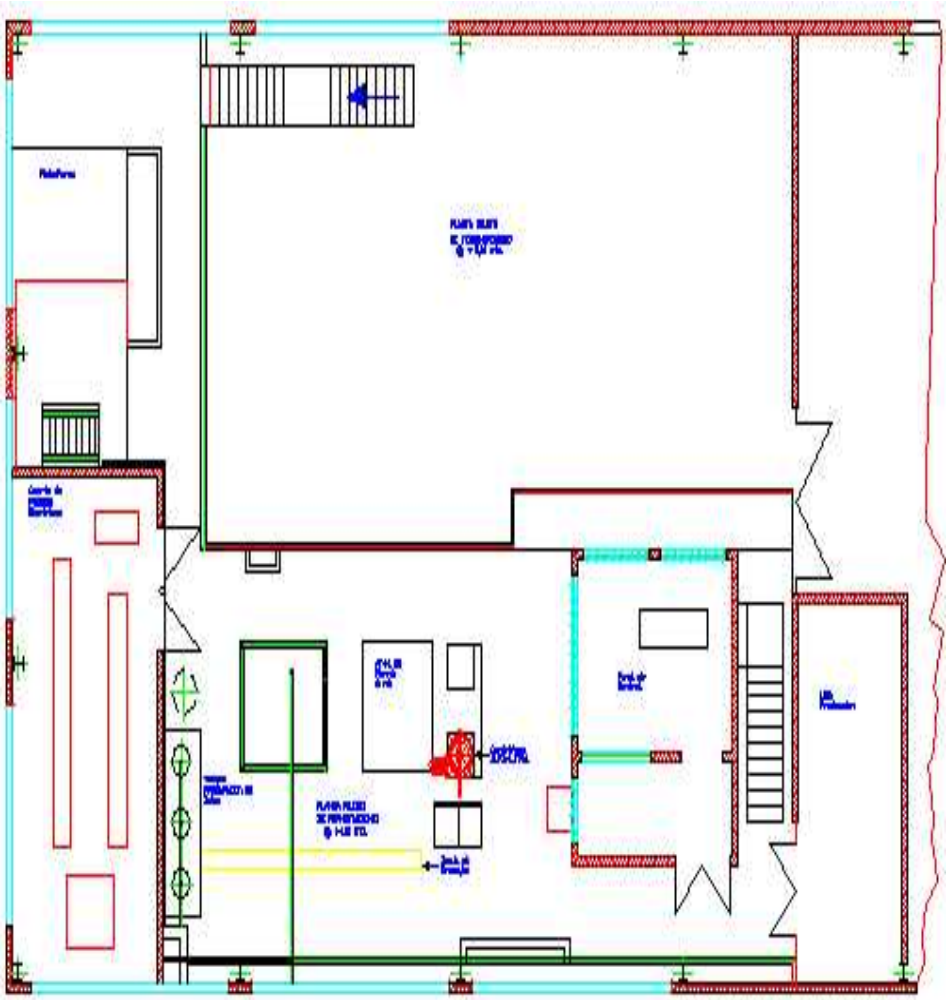


Figura 2. Nivel 4.00 m de la planta de producción actual de Cuba 10

Anexo II.

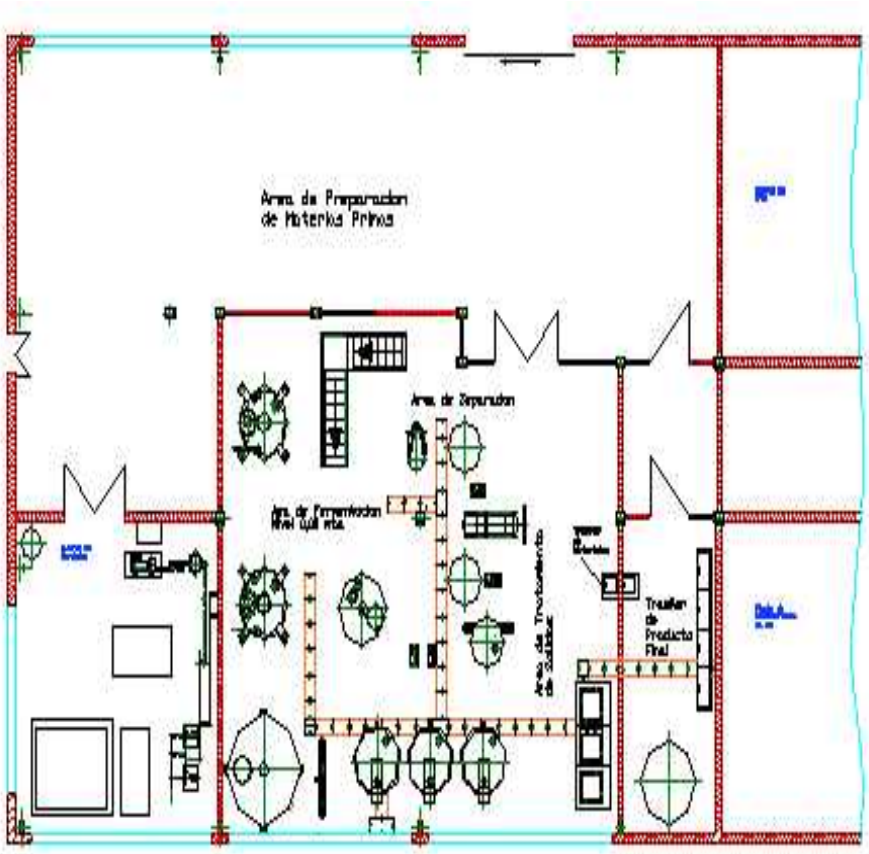


Figura 3. Representación del nivel 0.00 m de la planta de producción de Cuba 10 remodelada.

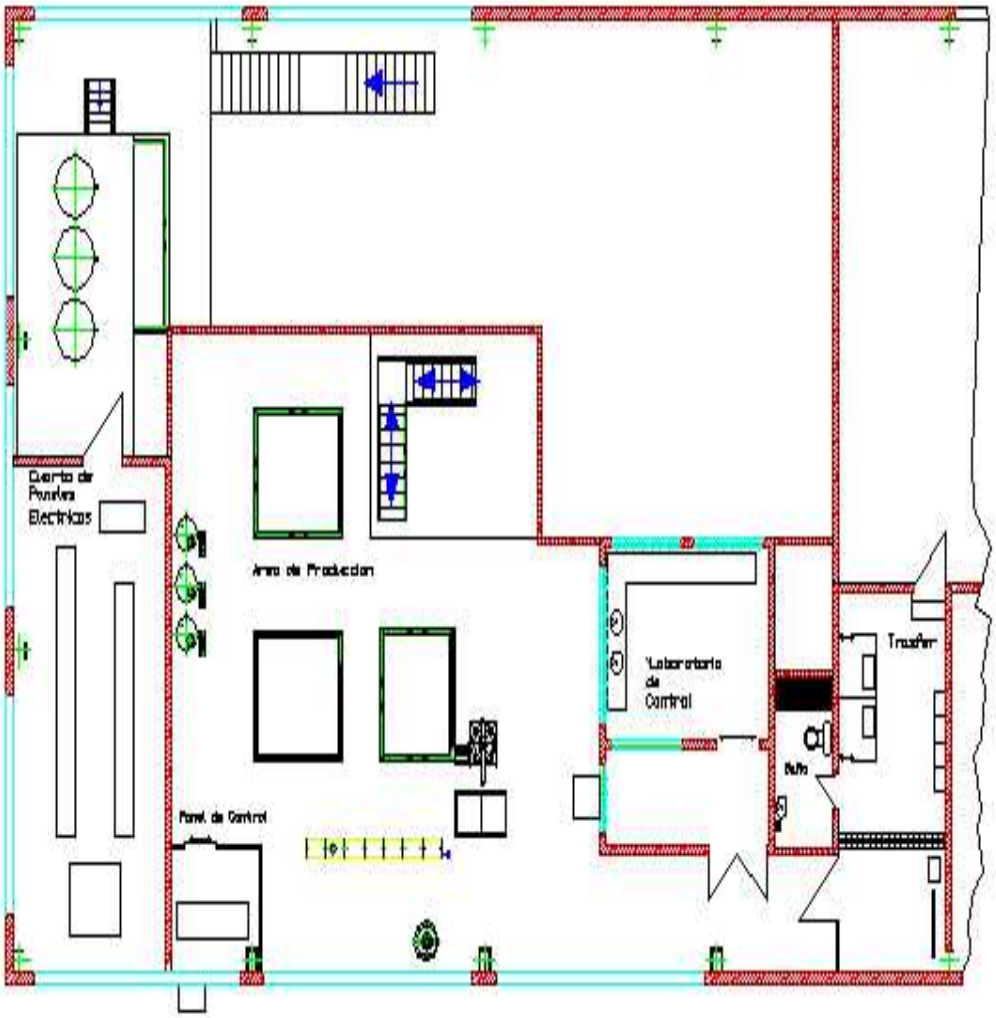


Figura 4. Representación del nivel 4.00 m de la planta de producción de Cuba 10 remodelada.

Anexo III.

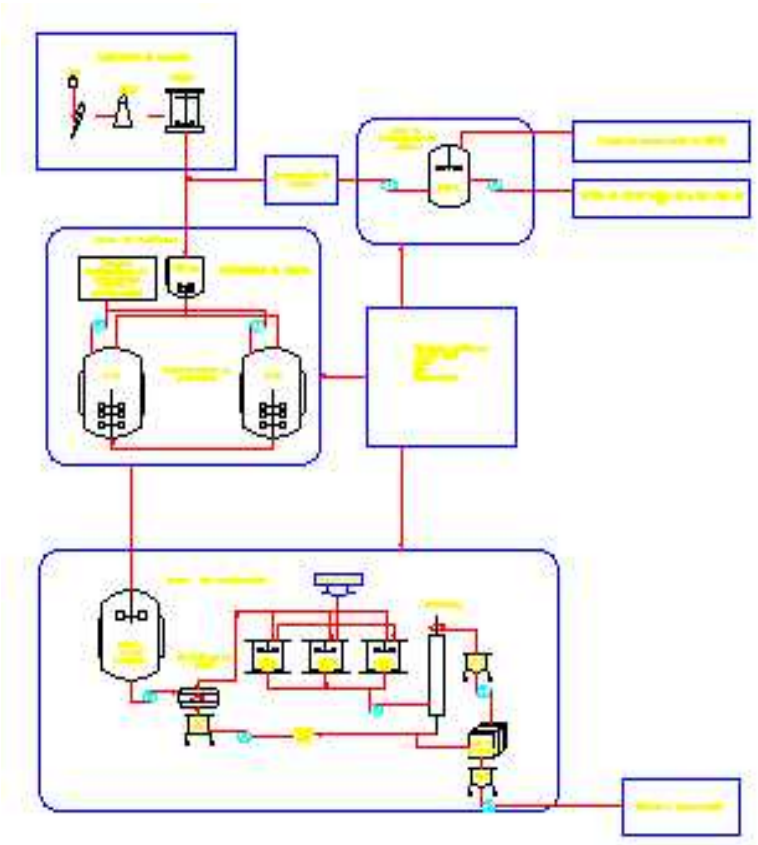


Figura 5. Diagrama tecnológico del proceso de producción de "Herbertec Dextranase" en la planta de Cuba 10.

ALGUNAS EXPERIENCIAS EN LA INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE CALIDAD Y EL PERFECCIONAMIENTO EMPRESARIAL SOMETHING RESULTS IN THE COMBINATIONS OF REENGENEERING AND ANOTHER'S QUALITY SYSTEMS.

Autor: María del Carmen Vasallo, Mariela Gallardo, Ana Julia Martínez y Luis O. Gálvez Taupier

ICIDCA, *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Vía Blanca No. 804. Apartado 4026. CP 11000. La Habana. Cuba. E-mail:* **ceralbe@icidca.edu.cu**

Resumen

El Instituto Cubano de Investigaciones de la Caña de Azúcar, comienza a trabajar en una política de Calidad en correspondencia con la estrategia y los objetivos de la Organización.
Aún, cuando se están dando los primeros pasos en la implantación del Sistema de Calidad, en la acreditación de los laboratorios (según ISO 17025), sistema de inocuidad (HACCP) y el Perfeccionamiento Empresarial en el Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas.
La Dirección se ha mostrado receptiva en apoyar las actividades relacionadas con la Calidad, con la finalidad de llevar a término con eficacia los objetivos propuestos y que sea aplicable a la mayoría de los proyectos de investigación que se desarrollan actualmente en el sector azucarero, actividades propias de la gestión que son aplicables tanto a los productos y procesos de cualquier línea de investigación y/o desarrollo del Instituto y sus organizaciones vinculadas garantizando el cumplimiento de las Normas Internacionales para su comercialización y la protección del medio ambiente en el proceso de diversificación de dicha industria.

Palabras claves: calidad ,acreditación ,perfeccionamiento empresarial

Abstract

The Cuban Research Instituted of Sugar Cane-by products has been stablemen in the organisation a new quality systems.
In the Reference Centre of Alcohol and spirits is necessary to show that is possible the combination of many quality systems as: ISO/IEC 17 025, Food Safety (HACCP) and Reengineering
According to the activities, the highest direction of our Institute help to will obtained good results in the objectives at the end and prepare under our conditions the application in the sugar sector, in the products, in the investigations.
Every result should be accompanied by International Recommendations in the diversification of our industries for the commercialisation and environmental protection.

key words: quality, accreditation, reengineering

Introducción

La vorágine en la que se ve envuelto el empresario hoy, pocas veces le permite contar con el tiempo suficiente para pensar estratégicamente. El "bombardeo" de información lo hace dudar en aplicar ésta o aquella idea que desde los libros y seminarios se muestran como indispensables para la supervivencia y crecimiento de la empresa en mercados que cambian constantemente. Sabemos que debemos cambiar algo, pero... ¿qué?
Entender, hacer entender, y asumir, que los sistemas de la calidad son sistemas de gestión de una organización, y no meros sistemas de control de la producción y del producto es la parte principal de la gestión e integración de los Sistemas.

La gestión por procesos no es una actividad nueva, ya lleva muchos años en marcha. Hay que tener en cuenta el tamaño de la empresa, a sus componentes, el sector, los clientes, etc., para formalizar los sistemas de calidad.
Hay que huir de los sistemas standard de calidad que se aplican en las empresas en la actualidad, que se copian y pegan sin tener en cuenta lo que en la realidad hacen y como lo hacen. Lo importante no es hacer papeles, si no GESTIONAR.(Gould W.A. y otros, 1993)

No hay dos empresas iguales, si parecidas, pero no iguales. Está muy bien que se definan mapas de procesos, diagramas de flujo, se ponga como ejemplos de la mejora continua, etc., pero de nada sirven si no son entendidas por los componentes de las empresas, y se les saca provecho, mejorando los resultados empresariales y facilitando el trabajo. No nos engañemos, existen muy pocas personas con capacidad para entender las herramientas de la calidad y sacarles provecho. Hay que buscar sistemas de calidad / organización, capaces de adaptarse a los continuos y rápidos cambios que ocurren hoy en día, sin causar traumas a las organizaciones. Se debe ser flexible y ampliar y mejorar el uso de herramientas informáticas, con el objetivo de aumentar la productividad en las empresas.

Hay que orientarse a la gestión de sistemas, sin perder el sentimiento de las personas que componen una empresa. Hay que destinar los recursos a la innovación y la mejora (optimización) organizativa, además de implantar sistemas de calidad.
Las empresas están para realizar actividades que aporten valor a sus clientes, y aplicando el sentido común, los diferentes sistemas que hoy en día existen (calidad, medioambiente, prevención, etc.), han de acabar en un único sistema de gestión: Gestión Integral (ISO 9001:2000)
El objetivo de nuestro trabajo es brindar las experiencias obtenidas como una herramienta metodológica para armonizar las normas ISO 9000 con la implantación del sistema de Perfeccionamiento Empresarial

Materiales y Métodos

- Creación de un Departamento de Calidad adjunto a la Dirección

En esta etapa se seleccionaron los activistas de Calidad por Subdirecciones Administrativas y se crearon comisiones de trabajo para buscar los problemas y soluciones dentro la organización para la implementación del Perfeccionamiento Empresarial

- Capacitación del personal por etapas, incluyendo las organizaciones de masas, políticas y la administración

Se impartieron y se recibieron cursos de Certificación y Acreditación de sistemas de Calidad a partir del año 2000, Liderazgo, Formación de Auditor Líder, Como pasar una Auditoría de Calidad y Formación de Auditores Internos

- Definición por parte de la Dirección de áreas específicas para aplicación e integración de Sistemas de Calidad

En los laboratorios del Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas se definió la implantación de la NC ISO/ IEC 17 025 (ISO 17025::1999), en la producción de rones el Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) (Codex Alimentarius ,1997.)

- Elaboración del expediente de Perfeccionamiento Empresarial

Para buscar los problemas y soluciones dentro la organización se involucró al 40 % de los trabajadores y se realizaron encuestas directas, en buzones, murales y a través de comisiones de trabajo.

Resultados

Lo más importante de las organizaciones, son las personas. Las personas deben saber que hacer, como hacerlo y tener la capacidad y los medios para hacerlo. Es básico que aquellos que toman decisiones estén preparados y capacitados para hacerlo y se asuma el resultado de sus acciones. Por esta razón, la capacitación fue una etapa importante para la motivación.

Si asumimos que la calidad es gestión y organización, y que la nueva norma ISO 9001::2000 ya no es aseguramiento de la calidad sino **gestión de la calidad**, la realidad es que la gestión de las empresas en el siglo XXI va mucho más lejos que la nueva ISO 9001 : 2000 y es mucho más exigente, como lo fue en la anterior versión de 1994 que nació con un enfoque que ya estaba obsoleto en su momento en los países industriales más avanzados (USA, Japón, Alemania, Reino Unido) (Giordano, J.E; 2002)

En la Tabla 1, se puede observar el resultado de la encuesta realizada a los trabajadores del ICIDCA sobre los problemas, causas y efecto esperado después de tomar una solución al aplicar los sistemas de calidad y el perfeccionamiento empresarial

Además, de los resultados en la búsqueda de problemas se pudo inferir que aún, cuando se estaban dando pasos en la implantación del Sistema HACCP y en la acreditación de los laboratorios y la Dirección se ha mostrado receptiva en apoyar las actividades relacionadas con la Calidad, no constituía una herramienta, ni formaba parte de los compromisos individuales de la mayoría de los directivos. Esto ocasionó que solo se identificaba realmente con este sistema, el personal que ha tenido que trabajar directamente en ello, como es el caso del Centro de Referencia de Bebidas, el Centro de Referencia de Medio Ambiente y la Planta de Fural.
A pesar de que en el ICIDCA, se han impartido cursos de Calidad, Conferencias, y es seguido por el Consejo de Dirección y el Consejo Científico Central los aspectos relacionados con la Calidad, generalmente se relaciona esta actividad con las áreas de investigación y producción, no así con las de Economía, Aseguramiento, Recursos Humanos y otras. Esto trae como consecuencia, que la atención al resto del personal, no sea eficiente, ya que no los ven como clientes internos, lo que demuestra la necesidad de que hay que lograr la mayor integralidad del programa de la calidad y su aseguramiento, toda vez que se acometen proyectos de Investigación y Desarrollo, que al ser integradores de actividades, procesos, etc, comprenden el trabajo conjunto de todo el centro.

Los propios trabajadores del Instituto, fueron capaces de proponer las soluciones a los problemas encontrados, lo cual se muestra en la Tabla 2 .

Tabla1. Encuesta realizada a los trabajadores seleccionados para la búsqueda de problemas.

PROBLEMA	CAUSA	EFECTO ESPERADO DESPUÉS DE LA SOLUCIÓN
Es necesario la implantación de un sistema de Calidad	▪ Pobre cultura de Calidad. ▪ Insuficiente capacitación ▪ El sistema de Gestión de la Calidad no es objetivo fundamental de todos los directivos de primer nivel	▪ **Motivar a los trabajadores y personal dirigente en implantar sistemas de Calidad**
Aplicar el Sistema con un enfoque de proceso que abarque todas las áreas.	▪ Sólo se habla de Calidad en las áreas relacionadas con la investigación. ▪ Todos los jefes no se encuentran sensibilizados con la actividad.	▪ **Aumento de la confiabilidad y competitividad en los servicios que presta la institución ya sean internos o externos**
Equipamiento mayormente obsoleto	▪ Deficientes recursos financieros. ▪ Falta de previsión de algunos jefes. ▪ Insuficientes créditos	• **Aumento de la eficiencia.** ▪ **Aumento del nivel en las investigaciones**
Calibración del equipamiento	▪ No existe, un plan de calibración y el mantenimiento de los equipos no se realiza como está previsto en plan	▪ **Mayor confiabilidad en los resultados**
Falta de accesorios, partes y piezas para acometer con calidad los mantenimientos	▪ Deficientes recursos financieros. ▪ Falta de una estrategia en el área de mantenimiento que permita ver las demás áreas como clientes.	▪ **Mayor calidad en los mantenimientos y resultados .**
Deficiente estado técnico de los laboratorios y equipamiento	▪ No Homologación de los laboratorios	▪ **Aumento de la calidad.**

Tabla 2. Soluciones propuestas por los trabajadores para llevar a cabo la integración de sistemas

JERARQUÍA	PROBLEMA	Soluciones
1	Es necesario la implantación de un sistema de Calidad	- Seleccionar las áreas con más posibilidades para establecer Sistemas de Calidad, certificar o acreditar según sea el caso y no hacerlo en todo el Instituto a la vez. - Establecer ISO 17 025 en los laboratorios de análisis y la ISO 9001:2000 en la producción de bebidas. - Capacitar de forma paulatina a todos los trabajadores impartiendo como mínimo dos cursos de Calidad por año - La Calidad será un aspecto permanente a tratar en todos los Consejos de Dirección y Consejillos de las áreas, siendo los Jefes Administrativos los máximos responsables
2	Aplicar el Sistema con un enfoque de proceso que abarque todas las áreas.	▪ Capacitar de forma especial al personal de los Departamentos que están relacionados con las actividades de las áreas donde se establecen sistemas de calidad y motivarlos ▪ Tratarlo como clientes ▪ Contar con la documentación de Calidad que esté relacionada con las áreas específicas. ▪
3	Equipamiento mayormente obsoleto	▪ Realizar un levantamiento del equipamiento del Instituto. ▪ La compra de equipos nuevos con recursos propios debe satisfacer las necesidades de varios proyectos y debe ser de conocimiento de los trabajadores -
4	Calibración del equipamiento	▪ Realizar la calibración y verificación del equipamiento y dejar aquellos que sean verdaderamente confiables ▪ Calibrar y verificar la cristalería y accesorios que se empleen en las técnicas analíticas validadas
5	Falta de accesorios, partes y piezas para acometer con calidad los mantenimientos	▪ Destacar como aspecto especialmente positivo en los grupos de investigación que logran fuentes de financiamiento externas para la compra de equipos y accesorios ▪ El área de Electrónica debe opinar sobre la compra de nuevos equipos y facilitar información para la toma de decisiones para poder enfrentar su reparación y mantenimiento ▪ Planificación de los mantenimientos
6	Deficiente estado técnico de los laboratorios y equipamiento	▪ Ir remodelando las áreas según se vayan implantando los Sistemas de Calidad ▪ Reparación y adquisición de equipos de forma planificada y según necesidades.

El éxito en la integración de los Sistemas fue que todo el personal del Instituto participó en el cambio. Conocían los pasos a seguir, los pro y los contra de las decisiones y cual era la razón por la que se estaba cambiando y se escucharon las ideas y opiniones de las personas aunque no pertenecieran a las primeras áreas seleccionadas para gestionar sistemas

A partir de ese momento, muchos trabajadores comenzaron a comprender de forma positiva, que lo único que no cambia, es que todo cambia todo el tiempo y que había que estar preparados para redefinir la cultura de nuestra empresa

La utilización de estas herramientas metodológicas en el ICIDCA ha posibilitado la obtención de resultados como la reformulación de la política de calidad, implantación del sistema documental, validación de técnicas analíticas, acreditación de laboratorios y el aumento de la satisfacción del cliente interno y externo.

La calidad hace mucho tiempo dejó de ser un valor agregado. Hoy en día es un derecho adquirido por los clientes, por lo cual debemos ofrecerles un verdadero paquete de valor, ya que ellos no solo vienen a comprar un producto, vienen a comprar también servicios, soluciones, comodidad y muchas otras cosas que debemos descubrir con celeridad (National Academy of Sciencies,2003)

CONCLUSIONES

La herramienta metodológica propuesta es efectiva para la implementación de sistemas de la calidad ISO 9000 integrados al sistema de Perfeccionamiento Empresarial, siendo aplicable a cualquier organización.

BIBLIOGRAFÍA

1- Gould W.A. and Gould R.W. Total Quality Assurance. CTI Publications. Ed.1993.

2- ISO 9001:2000. Gestión de Sistemas de Calidad.

3- ISO 17025::1999. General Requeriments for the competence of testing and calibration laboratories.

4- Codex Alimentarius CAC/RCP 1-1969, Rev.3 (1997).Código Internacional Recomendado de Prácticas. Higiene de los Alimentos . Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Organización Mundial de la Salud (FAO-OMS)..

5 Giordano, J.E. Tesis: Desarrollo de un Sistema eco-integrado para la industria alimentaria. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Ed 2002.

6- National Academy of Sciencies. Frontiers in Agricultural Reserch. Food, Health, Environment and Communities. Ed.National Academic Press 2003.

COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE COLOR ICUMSA Y CONTRATO DE LA CALIDAD MODIFICADO.

Autores:

Roberto Rodríguez Mambuca
Julián Rodríguez López
Armando Perdomo Morales
Ernesto Maseda Maestre

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras
Carretera al Central M. M. Prieto, Km 2½, Boyeros, Ciudad de La Habana
julian@icinaz.co.cu

Resumen

Con la adquisición por la Unión Europea de embarques de azúcar crudo procedente de Cuba mediante la utilización del pago por contrato de calidad, se crea la necesidad de comparar el método analítico utilizado por dicho contrato de calidad con el método ICUMSA que se emplea normalmente para la caracterización de los embarques de azúcar crudo.

El método de color según contrato de calidad utiliza una membrana de 1.2 micrómetros y un ajuste de pH a 8.5 unidades, por lo que difiere de las condiciones que utiliza el método ICUMSA y es necesario su comparación.

La comparación se efectuó con 66 análisis por duplicado por ambos métodos y se calculó la repetibilidad, la regresión lineal, los coeficientes de correlación y determinación. Se encontró una ecuación que permite expresar el color según contrato de calidad, en función del color según el método ICUMSA.

COMPARISON OF THE ICUMSA AND MODIFIED QUALITY CONTRACT COLOR METHODS

Abstract

The purchase by the European Union of shipments of raw sugar from the Cuban market through the so-called quality contract, created the need to compare the analytical method used by that contract with the ICUMSA method normally used for the surveillance of the raw sugar shipments.

The color method according to the quality contract uses a 1.2 micrometers membrane and a pH adjustment to 8.5 units, so it differs from the conditions employed by the ICUMSA method and a comparison is required.

The comparison was carried out with 66 duplicate analyses by both methods and the repeatability, the linear regression and the correlation and determination coefficients were calculated. An equation was found that allows expressing color according to the quality contract as a function of color according to the ICUMSA method.

Keywords: color, repeatability, quality contract.

Introducción

Para medir la calidad de los azúcares crudos, existen varios parámetros, entre los cuales uno de los mas sensibles es el color.

Los refinadores de azúcar prefieren azúcares de bajo color, pues los de alta intensidad de color hacen significativamente mas alto el costo de la refinación.

El método Oficial del ICUMSA, es el método GS1-7 (1994) ICUMSA M. B. (1994) que es el que se utiliza para la determinación de color en azúcares crudos y refinos, requiere de membrana con un tamaño de poro de O.45 micrómetros y un diámetro de 47 mm. Estas membranas se caracterizan por su alto costo, por lo que en Cuba han sido varias las investigaciones relacionadas con la búsqueda de un sustituto: Carpenter (1978); Urrutia (1981); Ramos (1982); Rodríguez (1990).

La posibilidad de vender crudo cubano a refinerías de países de la unión europea (UE) mediante la aplicación de primas y descuentos según lo estipulado en el Contrato de Calidad (conocido como Contrato 14 de la Bolsa de Azúcar y Café de Nueva York, E.E. U. U.) CSC Exchange (1994) ha motivado la necesidad del montaje de la técnica requerida en dicho contrato y ganar experiencia en su manipulación.

El objetivo de este trabajo es comparar los métodos ICUMSA y Contrato 14 modificado y hallar si existe una buena correlación entre ambos métodos. La modificación consistió en utilizar membranas de 1.2 micrómetros, en lugar de filtros de miocrofibras de vidio Whatman GF/C del mismo tamaño de poro.

Materiales y métodos

a) Método GS1-7 (1944)

La determinación de color en solución del azúcar crudo se basa en la disolución de azucar crudo, a una concentración entre 8 y 10 ° Brix.
Utilizando el embudo de filtración para membranas (membrana de acetato o de nitrato de celulosa de 0.45 micrométros de porosidad y 47 mm de diámetro), se filtran entre 15 y 20 ml de disolución, se ajusta el pH a 7.0 ± 0.1 con disoluciones de ClH o NaOH 0.1 N, teniendo precaución pues los saltos de pH pueden ser muy bruscos. Posteriormente se lee el Brix refractométrico y la temperatura y se efectúa la lectura del color a 420 nm, en un espectrofotómetro como está previsto en la técnica, ICUMSA M. B. (1994).

b) Método del Contrato de Calidad.

Se basa en una modificación del antiguo método ICUMSA 1ª y 1b de color ICUMSA (1966), según consta en la documentación en poder del Leycaz y que a continuación se transcribe literalmente:

1. Con la muestra de azúcar prepare una solución de 25% de sólidos (25g de muestra + 75 ml de agua destilada).
2. Filtre la solución a través de un soporte de filtración Millipore de 47 mm, utilizando un filtro de microfibras de vidrio Whatman GF/C (de 1.2 micrómetros de tamaño de poro. Recoja el filtrado en un kitasato limpio y seco (Nota: Para filtrar toda la solución podría necesitar cambiar el filtro mas de una vez.
3. Trasvase el filtrado a un beaker limpio y seco) de 150 ml y ajústele el pH a 8.5 ± 0.1 unidades con HCl 0.5 N y NaOH 0.5 N.

4. Si es necesario extraiga, mediante vacío o ultrasonido, el aire ocluido en la solución.
5. Llene una de las celdas de un cm previamente homologadas con la solución (la otra celda contendrá agua destilada y puede utilizarse como referencia cuando cambie la longitud de onda) y determine la absorbancia (o - el log de la transmitancia) a 420 nm y a 720 nm. Anote ambos valores.
6. Calcule el color de la solución de la forma siguiente:

   Color = (Abs a 420nm – 2 x Abs a 720nm) x 100/0.2764

Si la muestra esta muy obscura, diluya con agua destilada y si es necesario, vuelva a ajustar el pH. En este caso el cálculo será como sigue:

Color = (Abs. A 420 nm – 2 * Abs. A 720 nm) x 1000/gravedad específica x Brix/100* longitud de la celda

Si el espectrofotómetro no indica la absorbancia, esta puede sustituirse en la fórmula por – log de la transmitancia.

Modificaciones al método del Contrato de Calidad.

La técnica se realizó como esta prevista en el método del Contrato de Calidad con la variante, en vez de utilizar el filtro de microfibras de vidrio Whatman GF/C, se utilizó una membrana de 1.2 micrómetros de porosidad y 47 m de diámetro.(Nitrato de Celulosa) en el embudo de filtración para membranas y para evitar cambios de membrana durante la filtración, por su alto costo, se trabajo con cantidades entre 15 y 20 ml del filtrado.

Resultados y Discusión

Tabla 1. Comparación de Dos Métodos para la Determinación de Color

Parámetros	Contrato Calidad	Método GS1-7 (1994)
Valor máximo	7546	5116
Valor mínimo	1014	662
Valor medio	4845	2389
Dif. Media entre Métodos	2279	2279
Repetibilidad (hallada)	251	122 - 237
Repetibilidad (reportada)	No se ha reportado	110 - 300

El número de muestras de azúcar crudo empleadas en este trabajo fue de 24 y en ellas eran representativas de los colores obtenidos durante la zafra 2000-2001. Como la diferencia entre ambos métodos es tan evidente, que se consideró innecesario una prueba de t pareada. El método GS1-7 (19940 (1) ajusta el pH a 7.0 ± 0.1 unidades, mientras que el contrato de calidad (6) lo ajusta a pH 8.5 ± 0.1 unidades y como es conocido, las disoluciones de azúcar aumentan la absorbancia con el incremento del pH. Las muestras se realizaron por duplicado aplicando la técnica analítica del contrato de calidad. Se realizaron 64 réplicas y por el método oficial de la ICUMSA 66 réplicas.

Posteriormente, se trazó un gráfico de color, Contrato de Calidad versus Método Oficia
Ver anexo

Como se puede apreciar, existe una correlación visual entre ambas variables, pol lo que se procedió a calcular la ecuación de regresión lineal correspondiente, obteniéndose los
resultados siguientes:

Tabla 2. Resultados de la regresión lineal Contrato Calidad versus Método Oficial

Parámetros	Valor
Variable dependiente (Y)	Color según Contrato Calidad
Variable independiente (X)	Color según el Método Oficial
Coeficiente de correlación R	0.9681
Coeficiente de determinación R^2	0.9372
Ecuación de regresión	Y = 1.5095 x X
X = 3013	Y = 4763

Aunque evidentemente hay correlación lineal, en algunos casos los valores pueden estar alejados de la regresión lineal en mayor medida que la repetibilidad de un método ya que los errores de ambos métodos se suman geométricamente. No obstante lo anterior, la ecuación propuesta permite predecir el valor que tendrá un azúcar crudo según el contrato de
calidad utilizando el método oficial de la ICUMSA.

Conclusiones

1. Se encontró una correlación aceptable entre los valores de color utilizando las técnicas analíticas de la ICUMSA y del Contrato de Calidad, empleando membranas de nitrato de celulosa en lugar de microfibras de vidrio. Coeficiente de correlación, R = 0.9681 y el coeficiente de determinación R^2 = 0.9372
2. La ecuación encontrada Y = 1.51 x X permite calcular el color según el método del Contrato de Calidad, conociendo el valor del color en unidades de la ICUMSA. y viceversa.

Recomendación

1. Hasta tanto no se puedan conseguir los materiales para realizar las determinaciones analíticas correspondientes, adoptar como coeficiente para la ecuación del cálculo de color el valor de :

   $UC_{calidad} = 1.51 \times UCI$

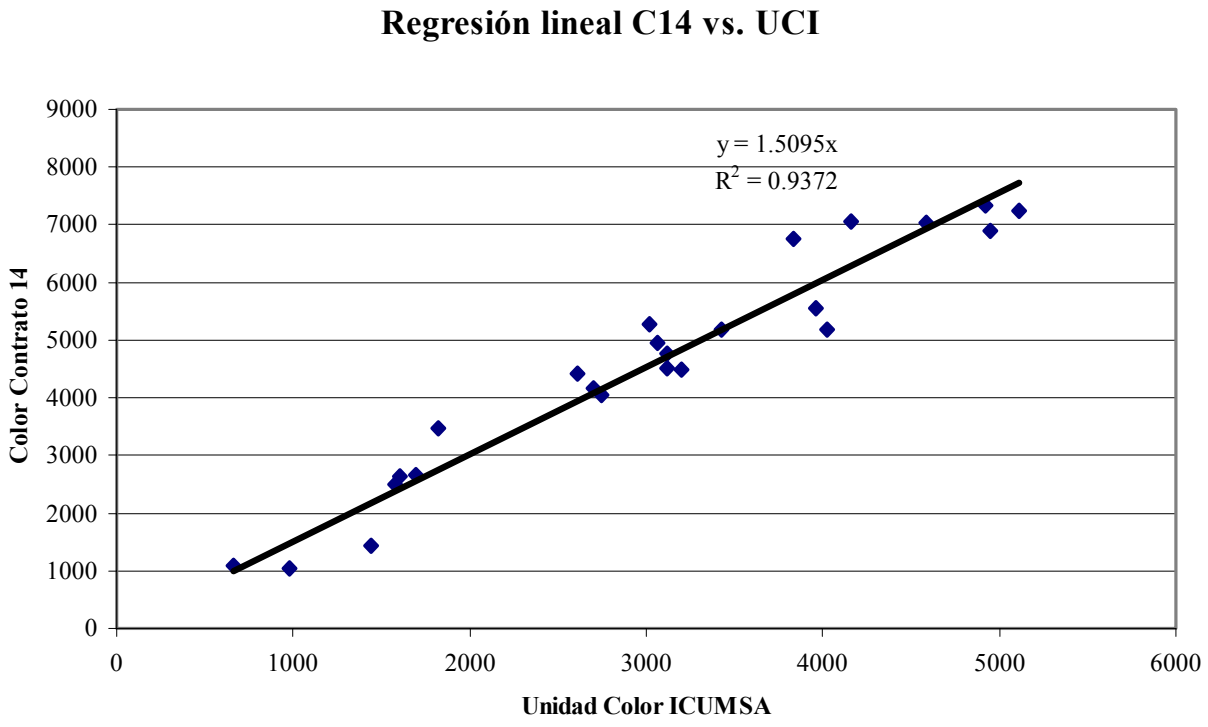
   Donde:

   $UC_{calidad}$: Unidades de color por el método del Contrato de Calidad

   UCI: Unidades de color por el método de la ICUMSA.

Bibliografía

1. Método GS1-7 (1994). La Determinación de Color en Solución del Azúcar Crudo – Oficial de la ICUMSA. ICUMSA Methods Book. 1994.
2. Carpenter, F. G. Y colaboradores (1978) Proceeding 17th ICUMSA Session, Subject 22, 343-344.
3. Urrutia, J. A.; Rodríguez, A.; Alamo, A; y Linares, R. ":Determinación del Color del Azúcar". ATAC. Marzo-Junio 1981, pp45-55.
4. Ramos, E "Determinación de Color de las Soluciones Azucaradas" Cuba-Azúcar. Octubre-Diciembre 1982. pp21-28.
5. Rodríguez, A.; Fernández, F. Y Perdomo, A. Segundo Seminario Internacional sobre el Azúcar y Derivados de la Caña. Tomo II. Diversificación 90. Comunicaciones cortas pag. 204.
6. Coffee, Sugar and Cocoa Exchange, Inc. Sugar No. 14 Rules. The rules governing Transactions om the Sugar No. 14 Contract 3/94. Tomado de la Coffee, Sugar and Cocoa Exchange Guide.
7. ICUMSA Colour and Turbidity. Subject 22 in the Proceedings of the 14th Session. 1966. page 129.



EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LA CAPACITACIÓN LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

EVALUATION OF YTHE EFFECTIVENESS OF THE TRAINING MANAGMENT OF THE KNOWLEDGE

Dra. Agüero, C.; Dr. Irulegui, A.; Ing. Taquechel Y.; Ing. González A.; Tec. Mendiola, G.; Tec. Ro9mán J. C.

UIP de la Celulosa del Bagazo CUBA-9, Apartado postal 8, Quivicán CP. 33500, Habana, Cuba. ·Email: direcc9@enet.cu

RESUMEN.

Evaluar la eficacia de la capacitación involucra una serie de problemas co9mo9 por ejemplo:

- Loa capacitación no es una actividad que se proyecta con continuidad.
- No se plantean las necesidades de capacitación en base a objetivos definidos.
- La falta de condiciones adecuadas para el desarrollo de la capacitación (material didáctico, profesores no
- Competentes, locales sin condiciones, tiempo insuficiente).
- No existe un gerenciamiento total de la competencia que garantice los resultados y la mejora continua.
- No existen métodos que evalúen la eficacia de la capacitación.

Sobre este último aspecto trata este trabajo, ofreciendo un método para evaluar la eficacia de la capacitación basado en las experiencias acumuladas por el Dpto. de Gestión de la Calidad de la UIP Cuba-9 en la docencia.

SUMMARY:

To evaluate the effectiveness of the training involves a series of problems like for example:

- The training is not an activity that is projected with continiuity.
- The training necessities are not base on define projected objectives.
- There are no the appropiate conditions for the development of the training activities (didactic material, non competent professors, local without conditions, insufficient time).
- A total management of the competition that guarantees the results and the continuous improvement doesn´t exist.
- Lack of methods in order to evaluate the effectiveness of the training.

This work treats on this last aspect, offering a method to evaluate the effectiveness of the training based on the experiences in training accumulated by the departmen of Quality Managment of the UIP Cuba-9.

INTRODUCCION

Las empresas que mayores beneficios obtienen diariamente en el mundo, repiten que el aprendizaje es el corazón de la actividad productiva, permitiendo una ventaja competitiva intransferible. Si la capacitación es una variable estratégica, es necesario buscar formas para determinar no solo la calidad de la misma sino también para conocer si las personas han sido bien capacitadas.

La entidad responsable por la capacitación del pe4rsonal debe velar por evaluar la eficacia de la capacitación por dos razones fundamentales: probarle a la Empresa que la inversión tendrá un retorno efectivo en ingresos para la misma y como retroalimentación sobre el proceso de capacitación mismo, para adecuar el ritmo y métodos a emplear de acuerdo a los resultados.

El presente trabajo expone un método para evaluar la eficacia de la capacitación basado en la experiencia acumulada por el Grupo de Gestión de Calidad de la UIP Cuba-9 en la docencia de este aspecto, avalada por más de 25 cursos, talleres y seminarios.

DESARROLLO

No siempre es fácil evaluar la eficacia de los cursos, talleres y entrenamientos post-empleos de una institución. Cada empresa en la práctica termina empleando métodos empíricos que no siempre pueden ser aplicados en todos los casos. La naturaleza de este análisis es compleja si se tiene en cuenta las características de los empleados, en los cuales el sistema de resultados por notas, característico de la enseñanza pre-empleo (media, profesional o universitaria) y sus intereses particulares en elevar su competencia (habilidades, calificaciones y conocimientos)

Para que la empresa llegue a una evaluación correcta de la eficacia de la capacitación, es preciso definir e implementar indicadores para ello, y comúnmente las empresas con gran tradición en cursos para sus funcionarios adolecen de herramientas eficaces para demostrar realmente la asimilación del contenido del curso.

El método empleado por el Grupo de Gestión de la Calidad de la UIP Cuba-9 se basa en la estimación del Indicador General de Conocimiento (IGC) y su evolución a partir de una estrecha interacción con los entrenados.

Para ello de acuerdo al programa de entrenamiento se prepara se prepara una encuesta donde los cursistas evaluarán en una escala cuali-cuantitativa su nivel de conocimiento en los temas a tratar. Para que la encuesta sea efectiva, debe reflejar todos los temas del programa de forma clara, sencilla de responder y breve (se considera apropiado máximo 2 preguntas por tema, en correspondencia con la novedad o complejidad del mismo). Para facilitar la objetividad de respuesta, la encuesta debe ser anónima (aunque se permite que el cursista la identifique de alguna forma, para reconocer su encuesta en caso de que sea empleada la misma al final del curso).

El conocimiento del cursista de cada temática lo evaluará en una escala de5 niveles:

a) nivel inferior: 0 (no sabe nada)
b) nivel básico: 1 (entiende o conoce algo)
c) nivel intermedio: 2 (domina en términos generales)
d) nivel avanzado: 3 (se siente capaz de explicar el tema) o
e) nivel superior: 4 (se cree en condiciones de convencer o instruir a otros)

Para el procesamiento de las encuestas se desarrollo una aplicación base Microsoft Excel 97-2000 que tabula y visualiza en gráficos las respuestas, estimando para cada temática encuestada el IGC, el diagnostico de la preparación por niveles de conocimientos para determinar los temas que requieren un

tratamiento más profundo, el nivel de asimilación de loas conocimientos por temáticas y general del curso.

El algoritmo para la estimación del IGC se basa en el cálculo en % que representa el promedio de respuestas, ponderadas de acuerdo a la escala de niveles de conocimiento, respecto al esperado si todas hubiesen reflejado el nivel superior. Para ello la cantidad de respuestas se multiplica por el valor de la escala correspondiente, se suman y se dividen entre la cantidad de encuestas multiplicado por 4 (nivel superior de la escala). Nótese que cuando los cursistas responden no saber nada, se multiplica por cero, no aportando nada al numerador, sin embargo si se tienen en cuenta para estimar el IGC en el denominador.

La encuesta se realiza al inicio del curso, para establecer un diagnostico del auditorio y al finalizar la capacitación, para comprobar el nivel de asimilación (IGC final -IGC inicial) de la materia impartida a criterio de los propios cursistas, lo que se puede realizar de acuerdo a la clasificación de los niveles de conocimiento del auditorio en general o por temas específicos y de esta manera evidenciar si las medidas tomadas con los temas críticos (aquellos cuyo IGC es igual o inferior al IGC promedio de todas las temáticas encuestadas) lograron alcanzar los niveles superiores (avanzado y superior).

Partiendo de la escala de niveles de conocimiento determinamos como satisfactorio cuando9 el IGC rebasa el nivel intermedio (correspondiente a 65%), ya que el principal objetivo de la capacitación es lograr un dominio en los temas objeto del entrenamiento, y muy satisfactorio cuando rebasa el 75%, cuando el cursista es capaz de multiplicarse en su radio de acción, ya que la frontera entre la capacidad de explicar y convencer está poco definida.

El método basado en la estimación del IGC se ha aplicado en combinación con otros métodos evaluativos: debate público del cumplimiento de las expectativas previamente expuestas por los cursistas, comparación con los resultados de las evaluaciones sistemáticas y finales de los cursistas, seguimiento de su desempeño en las tareas específicas (cuidando el tiempo de maduración de los conocimientos recibidos), corroborando la validez de los resultados.

CONCLUSIONES

La estimación del **Indice General de Conocimiento** ha resultado un indicador para **alcanzar y demostrar la eficacia de la capacitación,** particularmente en la capacitación postgraduada, por el nivel de información cualitativa y cuantitativa que brinda para la gestión del conocimiento,

BIBLIOGRAFIA

NC ISO 9001:2000. Sistemas de Gestión de Calidad
NC ISO 9004:2000. Sistemas de Gestión de la Calidad. Lineamientos para la mejora.
Martins M.; (2000) Aprendiendo en el empleo. Banas Qualidade, No 101
Cotrim M.; (2000) Cultura de Calidad. Estudio de cuatro casos. Banas Qualidade, No 102
Cuni & Asociados (2000) ¿ Y si el enemigo fueramos nosotros?. Un enfoque sobre la eficacia del proceso de formación. Colaboración del Servicio 20x20 de SoftCal.
Informes Internos del Grupo de Gestión de Calidad, UIP Cuba-9

DESARROLLO DE LA GESTIÓN DE INNOVACIÓN EN EL ICINAZ

Lic. Lucía Cruz González, Dr. Rinaldo Caro Sanabria, Lic. Pablo Gutiérrez Moreno y Ing. Gladys Menéndez

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras
e-mail: lucy@icinaz.co.cu

Resumen

Cada vez es más complejo lograr que las empresas sean competitivas y mantengan su liderazgo en el mercado, por lo que es necesario innovar permanentemente.

La innovación es un cambio en la forma de hacer las cosas, convertir ideas en productos, procesos o servicios nuevos o mejorados, así como la forma en que los produce, comercializa u organiza, para esto hay que estar en una permanente actitud de vigilancia del entorno y mejoras de las capacidades de organización.

La gestión de innovación no es más que el proceso orientado a organizar y dirigir los recursos disponibles, tanto humanos como técnicos y económicos, con el objetivo de convertirse en un instrumento capaz de contribuir al éxito y al desarrollo de la empresa.

El ICINAZ ha estado realizando innovaciones, muchas de las cuales se han introducido en la industria azucarera, algunos de sus productos se han diversificados encontrando mercados; se lograron procedimientos con mejoras en técnicas analíticas y nuevos servicios científico técnicos con mayor calidad, los que se ofrecen a diferentes industrias. Está institución está aprendiendo ha adaptarse con flexibilidad y eficiencia a las exigencias de un entorno cambiante. Esto es posible, porque logrará establecer un sistema de gestión de innovación y vigilancia tecnológica que contribuya al desarrollo y difusión de las nuevas tecnologías

Palabras claves: innovar, innovación, gestión de innovación, vigilancia tecnológica.

DEVELOPMENT OF THE MANAGEMENT OF INNOVATION IN THE ICINAZ

Lic. Lucía Cruz González, Dr. Rinaldo Caro Sanabria, Ing. Gladys Menéndez y Lic. Pablo Gutiérrez Moreno

Cuban Sugar Research Institute
e-mail: lucy@icinaz.co.cu

Abstract

It is becoming increasing complex for the companies to stay competitive and keep their leadership in the market, so that they must be permanently innovating.

Innovation is a change in the form of marking the things, to turn ideas into new or improved products, processes or services, as well as the for of producing them, marketing them or organizing them. This requires a permanent attitude of monitoring the environment and improving organization capabilities.

Innovation management is a process intended to organize and manage the available human, technical and economic resources in order to become an instrument contributing to success and development of the company.

ICINAZ has made innovations, many of which have been introduced in the sugar industry, and some of its diversification products have found their way into the market. Procedures with improvements in analytical techniques have bee developed, and new scientific and technical services with improved quality are being offered to different industries. This institution is learning to adapt itself with.

Key words: innovation, management, technological surveillance

DESARROLLO DE LA GESTIÓN DE INNOVACIÓN EN EL ICINAZ

Lic. Lucía Cruz González, Dr. Rinaldo Caro Sanabria, Lic. Pablo Gutiérrez Moreno, Ing. Gladys Menéndez

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras
e-mail: lucy@icinaz.co.cu

INTRODUCCIÓN

Cada vez es más complejo lograr que las empresas sean competitivas y mantengan su liderazgo en el mercado, por lo que es necesario innovar permanentemente. Innovar es convertir ideas en productos, procesos o servicios nuevos o mejorados, que el mercado valora.

La innovación es un cambio en la forma de hacer las cosas, tanto en lo que se refiere a productos, tecnologías y servicios que ella ofrece, como la forma en que los produce, comercializa u organiza, para esto hay que estar en una permanente actitud de vigilancia del entorno y de mejoras de las capacidades de la organización.

La gestión de innovación no es más que el proceso orientado a organizar y dirigir los recursos disponibles, tanto humanos como técnicos y económicos, con el objetivo de convertirse en un instrumento capaz de contribuir al éxito y al desarrollo de la empresa, el cual crea nuevos conocimientos, genera ideas que permiten obtener nuevos productos, procesos y servicios o mejorar los existentes, y transferir esas mismas ideas a las fases de fabricación y comercialización.

En las empresas es vital diseñar un procedimiento para la gestión de la innovación, la que no se produce por si sola, es preciso gestionarla, alimentarla y controlarla de forma sistemática.

Para gestionarla y alimentarla se deben conocer las señales del entorno que alerten sobre amenazas y oportunidades, interpretar estas señales y definir una estrategia. Para esto es importante la revisión continua de entorno y de todas las fuentes posibles de información.

La mayoría de la información valiosa está en el exterior, sin embargo, la complejidad y abundancia de esta hacen difícil la tarea de captar nuevas ideas y nuevos resultados. Organizar y tratar dicha información, y disponer de la misma en el momento oportuno, es un cometido de la vigilancia, la que es vital, para llevar la introducción de la innovación en cualquier empresa.

La actualización continua de los objetivos o factores críticos a vigilar y su difusión en la organización servirán para estar más atento, de qué es, lo que hay que proteger con mayor celo en cada momento; es ineludible un sistema organizado de observación y análisis del exterior, seguido de una correcta circulación interna y utilización de la información, lo que constituye la esencia de la vigilancia tecnológica, y debe participar el colectivo de la empresa con el concurso de recursos externos si es necesario.

En la actualidad los cambios científicos y tecnológicos son cada vez más acelerados e impredecibles, y hay que lograr que las empresas sean capaz de aprender y adaptarse con flexibilidad y eficiencia a las exigencias de un entorno cambiante. Esto es posible, si se logra establecer un sistema de gestión de innovación y vigilancia tecnológica que contribuya al desarrollo y difusión de las nuevas tecnologías, logrando sensibilizar a todas las instituciones y empresas del MINAZ; aprovechando el potencial científico y técnico existente en el sector para el desarrollo e implantación de ambos sistemas.

II. ANTECEDENTES

El Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ) cuenta con un gran número de investigadores y personal técnico calificado, desde sus inicios a trabajado en el desarrollo de nuevas tecnologías y productos para la Industria Azucarera.

Su estructura organizacional esta formada por siete divisiones: Secretaria Científica, Análisis Económico, Comercialización, Tecnología Azucarera, Ingeniería Mecánica, Energía, Aseguramiento de la Calidad y Economía. Además de tener vinculas tres filiales.

Nuestra institución ha estado realizando innovaciones, muchas de las cuales han sido introducidas en la industria azucarera, ejemplo de esto, es la tecnología para limpieza de tachos, evaporador para jugo y licores azucarados, etc; sus productos se han diversificados encontrando mercados, ejemplos: el dinitrato de isosorbida, glucosa, IFOPOL, etc; se lograron procedimientos con mejoras en técnicas analíticas y nuevos servicios científico técnicos con mayor calidad, los que se ofrecen a diferentes industrias. Se realizaron transferencia de tecnologías, como la producción de glucosa por vía ácida, diferentes sales de gluconato, tecnología para la dextranasa, etc.

El ICINAZ ha estado realizando innovaciones, muchas de las cuales se han introducido en la industria azucarera, algunos de sus productos se han diversificados encontrando mercados; se lograron procedimientos con mejoras en técnicas analíticas y nuevos servicios científico técnicos con mayor calidad, los que se ofrecen a diferentes industrias. Está institución está aprendiendo ha adaptarse con flexibilidad y eficiencia a las exigencias de un entorno cambiante. Esto es posible, porque está implantando un sistema de gestión de innovación y vigilancia tecnológica para contribuir al desarrollo y difusión de las nuevas tecnologías en la industria azucarera.

III. INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LOS SERVICIOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS DEL ICINAZ

La gestión científico técnica del ICINAZ es abarcadora y se complementa con grupos de trabajo para la realización de estos servicios, para lo que se ha conformado grupos multidisciplinarios, como DIAGEN, CEIDA, SMP Y LEYCAZ, los cuales se personan en los lugares de trabajo, donde analizan integralmente la problemática existente, colegian sus impresiones y propuestas y le ofrecen por tanto a la industria, una solución superior capaz de resolver la problemática existente, partiendo de las condiciones reales en el lugar.

Dentro de los servicios científico técnicos que brinda el ICINAZ se pueden citar la realización de estudios aplicados a la industria con el fin de introducir nuevos equipamientos y/o tecnologías, La realización de remodelaciones de instalaciones existentes con el propósito de incrementar su vida útil y/o vencer su obsolescencia, incremento de capacidades y otras, La asistencia técnica para el montaje, la puesta en marcha, la operación y la capacitación del personal de las fábricas, los servicios técnicos de auditorías de la calidad, de ensayos y realización de muestreos químicos y otros que en general, complementan el universo azucarero de la región y otros.

DIAGEN: Diagnóstico energético

Tiene como objetivos fundamentales el incremento de la capacidad de generación en los ingenios azucareros a niveles tales que permita la obtención de importantes excedentes de energía eléctrica, la elevación de la eficiencia energética, la sustitución del fuel oil en la producción de derivados y la obtención de indicadores técnico-económicos ventajosos y competitivos en todos los casos.

Temas tan necesarios y actuales como la combustión del bagazo, la generación eficiente de vapor, esquemas de su consumo y otros similares, son algunas temas de los que se ocupa este grupo.

También realiza diseño de equipos completos o partes de ellos, y elaboración de la correspondiente documentación de proyectos, a partir de la tarea técnica elaborada en conjunto con el cliente.

Estudio Técnico Económico de todas las posibilidades que existen en el país para aumentar la capacidad y la eficiencia de las calderas mediante Remodelaciones con desarrollos realizados en el ICINAZ. De llevarse a cabo todas las posibles remodelaciones estudiadas representaría la entrada en funcionamiento de un equivalente a 80 calderas de 45 t/h de vapor nuevas representando un ahorro de 2 millones de pesos por unidad. En la reconversión de calderas el país ahorrado USD 160 000,

Se remodelaron de 8 calderas de vapor de ingenios azucareros, elevándoseles sus capacidades y eficiencias como parte de la aplicación del Plan de Remodelación de Calderas realizado. Este Plan identificó, elaboró los estudios técnicos y realizó el análisis económico correspondiente de todas las posibilidades que tienen las Calderas de todos los Ingenios cubanos, para el aumento de su capacidad y eficiencia mediante pequeñas inversiones y en una gran cantidad de ocasiones, aprovechando la oportunidad de las reparaciones capitales.

LEYCAZ: **Sistema de gestión de la calidad. Norma ISO 9000**

Se aplica en todas las fábricas de azúcar del país y sus laboratorios, las instalaciones analíticas provinciales y las terminales para el embarque de azúcar. Los servicios analíticos permiten a los grandes consumidores de azúcar controlar sus compras. También brindan ventajas a las entidades cubanas dedicadas a la exportación y al control de la calidad del azúcar exportada.
Evalúa la calidad de la producción azucarera y brinda sus servicios en todo el país. Gran parte de sus analistas y consultantes han sido certificados con las normas ISO 9000 y tienen experiencia en el cumplimiento de las buenas prácticas de laboratorio. LEYCAZ (Laboratorio de Análisis y Calibraciones Azucarero), forma parte de este grupo, y es la entidad que certifica las producciones azucareras y asesora al sistema MINAZ en materia de aseguramiento de la calidad.

- Reducción de costos y precios.
- Elevación de eficiencia y calidad.
- Incremento de productos en el mercado nacional.

El sistema de pago de caña, que se aplica en la actualidad, se basa en el establecimiento de un RPC norma para cada CAI y los suministradores son evaluados en función del cumplimiento de este parámetro y en función del precio base de la caña y el coeficiente encontrado en cada caso se establecerá el pago final.

Teniendo en cuenta la posibilidad que brinda la propuesta donde se elimina los muestreadores de sonda o compuerta, se ahorra 400 000 USD en cada punto de muestreo o en cada CAI. Esto, se confirmó cuando se aumentó la calidad de la materia prima en el primer año de aplicado el sistema de 0.03 de rendimiento industrial por mayor calidad de la caña y un precio promedio de la tonelada de azúcar de 120 USD, dando un total para el 2000 la cantidad de 2153.800 MUSD y para el 2001 la cantidad de 1905.162 MUSD.

La investigación profunda del mercado; ensayos interlaboratorios; la revisión de las normas y las auditorias de calidad; etc. constituyó la base técnica para la propuesta de pago en divisa líquida por calidad a los CAI vigente en el país desde el año 2000.

Se ha contribuido a la elevación de la pol en azúcar en los dos últimos años de 98.40 a 98.80. Las primas cobradas por sobrecumplimiento de la norma de pol en las exportaciones han sido entre 14000 de USD y 19000 de USD, lo que demuestra el incremento que resulta de la elevación de la calidad del producto.

Ahorro al país de **USD 2095.162**

CEIDA: Consultoría azucarera para el área de fabricación

Es un paquete tecnológico de gestión que atiende el área de fabricación de los ingenios mediante la realización de consultorías técnicas, diagnósticos y asesorías de diferentes tipos, diseño y proyección de equipos, estudios técnico-económicos de factibilidad y la capacitación técnica de los directivos industriales. Atiende las fábricas de azúcar crudo, refino, blanco directo y azúcares especiales de diferentes calidades.

Resultados que se pueden obtener de CEIDA en las fábricas

- Máxima eficiencia y mínimo tiempo perdido en operación. Asesoría técnica ante la presencia de accidentes, roturas de equipos, paradas por baja eficiencia y otras.
- Sensibles mejoras en la ingeniería de la cristalización en movimiento, enfriamiento y agotamiento de mieles.
- Remodelación de bloques tecnológicos ya obsoletos para la elevación de su eficiencia y de otros indicadores.
- Asesoría técnica.
- Diversificación de la producción.
- Capacitación

El Clarificador de Bajo Tiempo de Retención, Tanque Flash, Recipiente para cachaza, Estación de Floculantes y Metodologías de uso, con la ventaja de disminuir el tiempo de retención del jugo en esta área del proceso, con el consiguiente ahorro por evitar pérdidas de azúcar por inversión de sacarosa, y disminución de la formación de mieles, ahorro energético por disminuir la caída de temperatura del jugo clarificado, ahorro de materiales porque se modifican los tanques existentes.

Existe la posibilidad de obtener un Clarificador de Bajo Tiempo de Retención modificando los clarificadores existentes y aprovechando la chapa de las bandejas, el tanque, el movimiento, las bombas de cachaza y las tuberías a un costo total mínimo, que está avalado por cada ingenio. Se ha instalado en 104 ingenios de Cuba, Viet Nam y Brasil.

Por concepto de aumento de eficiencia se reducen los costos en aproximadamente 111 800 pesos por ingenio y por concepto de inversión alrededor de 100 000 USD también por unidad productiva.

Esta tecnología tiene un marcado efecto sobre el medio ambiente ya que cuando se liquida el clarificador (que se puede hacer en todas las paradas) la cachaza se guarda en un recipiente amiantado y cuando el ingenio arranca de nuevo se comienza filtrando esta cachaza, por lo que no hay necesidad de botarla y por tanto se elimina la contaminación al medio ambiente.

Con el uso de este clarificador se disminuye la formación de miel en un 15 % como mínimo (llega hasta 18 %), se eliminan las pérdidas en paradas y liquidaciones ya que se reducen a 0 en el CBTR. (pues se liquida (vacía)) en todas las paradas ; el jugo a la fábrica y la cachaza se guarda en recipientes amiantados y tratada con cal, se conserva no hay que botarla con el consiguiente beneficio adicional de evitar la contaminación del medio ambiente, esto significa

un ahorro aproximado de 111 800 $ por ingenio, ahorro por sustitución de inversiones, teniendo en cuenta que cada clarificador de similar tecnología tiene un valor aproximado de 100 000 USD hemos ahorrado por este concepto 10 400 000.00 U.S.D.

SMP: Mantenimiento industrial, ensayos no destructivos y preservación de equipos

Mediante el uso de técnicas de mantenimiento y preservación el grupo SMP pone en las manos de la industria todo su talento para asegurar la correcta operación y larga vida útil de los equipos e instalaciones. Sustenta su actividad sobre sólidas bases técnicas desarrolladas con alta efectividad y bajo costo.

El trabajo de SMP no sólo se limita al sector azucarero, sino que abarca también a otras esferas productivas

Su potencial se fundamenta en tres grandes opciones:

END MAINPACK PRESERV

MAINPACK: Software para la organización y control del mantenimiento y las reparaciones

Valora, planifica y controla las labores de mantenimiento desde el punto de vista de su avance físico, así como de los recursos materiales y sus costos, incluyendo el expediente de todo el proceso de mantenimiento en la fábrica y sus áreas aledañas a través de los años.

Capacitación del cliente para la explotación del sistema, interpretación de los resultados y toma de decisiones técnico-administrativas en función de minimizar los costos.

Sistema GRACIL para el control y la supervisión del proceso azucarero.

GRACIL es un software que se emplea para el control y la supervisión del proceso azucarero y constituye un elemento básico para los trabajos de automatización industrial.

Los productos extranjeros similares a GRACIL tienen un precio de unos 2 000 dólares por aplicación.

El número de aplicaciones de GRACIL en la industria nacional es de 116, entendiéndose como aplicación el número de computadoras donde se soporta el sistema en función de la automatización de cada subproceso.

Sustitución de importaciones en MLC: 232 000 USD

END: Ensayos no destructivos

Diagnóstico del estado técnico del equipamiento e instalaciones industriales, mediante las técnicas de medición de espesores por medio del ultraso-nido, detección de fallas mecánicas, balanceo di-námico, chequeo del funcionamiento de los roda-mientos, medición de vibraciones y otras afines.

PRESERV. Asesoría para la preservación de las instalaciones industriales

Ofrece consultorías al cliente para la toma de decisiones en el control y la solución de los problemas de corrosión y en la selección de materiales y recubrimientos para las diferentes instalaciones.

CONCLUSIONES:

La organización de conjuntos de resultados de la investigación en grupos personalizados con actividad propia y jerarquizada constituye una vía prometedora para la introducción de resultados de la investigación en la práctica social.

DERIVADOS

ÍNDICE
DERIVADOS

005 Finca integral agropecuaria a partir de la caña

036 Extracción de n-alcoholes de cadena larga a partir de cera cruda de caña de azúcar mediante CO_2 supercritico

025 Ingeniería y simulación tecnológica. PROBICID, un caso de estudio

029 Efecto de la relación matriz-endurecedor sobre la resistencia a la compresion de sistemas furano-epoxídicos y epóxicos.

004 Evaluación económica preliminar de la producción nacional de nitofurantoina y furoato de diloxanida

002 Purificación de caldos fermentados ricos en xilitol con membranas.

073 Optimización del proceso de tratamiento de hidrolizados de bagazo de caña de azúcar por método estadístico.

011 Purificación de licores de xilitol obtenidos por la fermentación de xilosa comercial y de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar por C*andida guilliermondii*¨

061 Determinación simultánea por HPLC de azúcares, ácidos orgánicos y alcoholes. Aplicación en el análisis de derivados de la caña de azúcar

006 Validación de la determinación de ácido jasmónico por HPLC.

047 Validación de la técnica “Determinación de ácido jasmónico (AJ) en fermentación de *Botryodiplodia theobromae* por cromatografía gaseosa

039 Utilización del análisis térmico diferencial en la caracterización de nuevos materiales obtenidos por diferentes vías de síntesis

020 Estudio del grado de pureza de la nitrofurazona

043 Validación de la técnica “Determinación de los monómeros libres furfural, monofurfurilidenacetona y difurfurilidenacetona en mezclas de resina FAM-FLI y epoxy mediante espectroscopía UV-vis”

012 Estudio por espectrometría FTIR de extracto de *Bothryodiplodia theobromae*

075 Disminución del costo de producción de tableros mediante la utilización de resina urea-formaldehído con rellenos inorgánicos

032 Uso de técnicas novedosas en la obtención de ésteres de sacarosa

018 Estudio de aditivos en rellenos inorgánicos para la producción de tableros de partículas de bagazo

013 Nueva metodología de síntesis de resina furánicas para machos y moldes de fundición de metales ferrosos y no ferrosos.

058 Tableros aglutinados con cementos y su evaluación físico mecánica.

040 Desarrollo de nuevas composiciones polimericas para recubrimientos impermiabilizantes.

041 Composiciones poliméricas para la protección de los palet de tableros de partículas.

035 Evaluación de matrices polimericas furanoepoxídicas.

072 Linter de celulosa como soporte de herbicida de acción controlada

053 Transesterificación de ésteres del ácido láctico

049 Colección de cultivos ICIDCA :una herramienta al servicio de la industria azucarera

008 Determinación de los parámetros más significativos en el proceso de lixiviación de poligalacturonasa obtenida por fermentación en estado sólido de cáscara cítrica.

021 Producción por fermentación en estado sólido y propiedades de pectinasa de *Aspergillus níger* W2

037 Detección de *Candida tropicalis* en diversas locaciones de la empresa azucarera “A. Guiteras” mediante análisis de secuencias nucleotídicas de regiones ITS.

052 Efecto del tratamiento con resinas de intercambio iónico en caldos de fermentación conteniendo ácido jásmónico.

003 Efecto económico comparativo de la producción de carne bovina y de cerdo a partir de mieles enriquecidas

010 Esquema integrado azúcar-alcohol-levadura torula.

071 Estudio de la generación de calor metabólico de *Sacharomyces cereviseae* en bagazo empacado

031 Estudio de medios de cultivo en el aprovechamiento de efluentes gaseosos ricos en etanol para el crecimiento de levadura forrajera.

057 Incremento de la capacidad de fijación de nitrógeno por el marcaje molecular de cepas de bacterias del género A*zospirillum* con genes de proteína verde fluorescente

034 Influencia de la fuente de carbono y nitrógeno en la producción de un biofungicida a partir de *Pseudomonas aeruginosa* cepa pss, para el control de hongos fitopatógenos"

014 Tratamientos preliminares de vinazas previos a la recuperacion de alfahidroxiacidos por cromatografia de intercambio ionico

048 Uso del nutriente de levadura QZ- 350 como sustituto de la miel final de caña en la producción de levadura forrajera de mezclas vinazas- miel final

239 Utilización de técnicas "*in vitro*" para la evaluación de propiedades probióticas funcionales en *Lactobacillus rhamnosus LB/103-1-5.*

045 Selección de un medio de cultivo para la obtención de fitasa empleando un diseño estadístico D-optimal.

022 Guarapo natural líquido y deshidratado en polvo como alternativas de diversificación

046 Facilidades de la planta piloto Cuba 10 para la obtención de productos usados en diferentes industrias.

024 Guia para la implementación de un sistema interno de propiedad intelectual en el instituto cubano de investigaciones de los derivados de la caña de azúcar.

163 Evolución de los sectores del azúcar y alcohol brasileños: Un análisis del Input-Output

164 Favorecimento de la producción de xilitol a partir de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña en presencia de glucosa durante el cultivo de inóculo de Candida guilliermondii

170 Estudios de las condiciones de hidrolis de la fracción celulósica de bagazo de caña de azúcar utilizando diseño de experimentos

171 Evaluación técnico-económica de opciones de diversificación productiva en la industria de azúcar y alcohol

173 Evaluación del desempeño de sistemas con células libres e inmovilizadas en soportes inorgánicos para la producción de xilitol a partir de hidrolizado de bagazo de caña de azúcar

176 Production of lactic acid with free and immobilized thermophil bacteria bacillus coagulans

187 Obtencion de mezcla de fitosteroles a partir de la cachaza de la caña de azucar.

186 Aplicaciones biomédicas de los fitosteroles. Tendencias actuales

188 Purificación por afinidad e inmovilización de levanasacarasa de *gluconacetobacter diazotrophicus* fusionada a cola de polihistidina

193 Immobilizacion de invertasa modificada con quitosana a traves de la formacion de un complejo polielectrolito con una matriz de quitina-alginato.

194 Microbiota responsable de la desulfuracion de biogas a partir de vinaza tratada

197 Fructooligosacáridos (FOS): una alternativa posible en la diversificación azucarera en cuba

198 Utilización de un preparado probiótico a partir de *Lactobacillus rhamnosus* denominado PROBICID en la alimentación de las aves.

135 Efecto de la inclusión de niveles crecientes del grano molido de *canavalia* sobre la fermentación en estado sólido de la caña de azúcar

153 Efecto de la inclusión de niveles crecientes del tubérculo yuca (*manihot sculenta*) sobre la fermentación en estado sólido de la caña de azúcar

109 Actividad anticoccidal del 2-(2-nitrovinil)-furano en infección experimental con *eimeria* en pollos

104 Biopranal: suplemento proteico de acción probiótica destinado a la alimentación animal

115 Obtención del principio farmacéutico activo 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano derivado de la industria azucarera

124 Estudio de la hidrólisis del bagazo con ácido sulfúrico concentrado para la obtención de etanol.

111 Producción de carbón activado a partir de residuos de la industria azucarera

127 Intensificación del proceso de producción del 2-(2-nitrovinil)-furano

184 Perfiles termoenergéticos y aprovechamiento de los coproductos de la caña de azúcar en México

250 Acid hydrolysis of biomass: optimization of xylose extraction from eucalyptus grandis residues.

253 Aspectos tecnológicos do desenvolvimento de compósitos termoplásticos com resíduos industriais de madeira

FINCA INTEGRAL AGROPECUARIA A PARTIR DE LA CAÑA
INTEGRAL AGRICULTURE AND CATLE FARM FROM SUGAR CANE

Autor: Norge A. Garrido

Eduardo Morejón

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 esq. Carretera Central. San Miguel del Padrón. Ciudad Habana.

EMAIL : ngarrido@icidca.edu.cu

RESUMEN

La instalación de molinos (2 a 60 t/d) para el procesamiento de la caña de azúcar nos permite disponer de una cantidad apreciable de productos que se pueden emplear en la alimentación humana y animal utilizando pequeñas instalaciones para la producción de estos alimentos, baste decir que, la caña de azúcar es capaz en condiciones de rendimientos medios de producir aproximadamente 100 t/Hect. de materia verde, las cuáles expresadas en términos energéticos significan 75000 Kcal de energía metabolizable. La caña como materia prima, cuando se utiliza en la alimentación animal aporta distintos productos como son:

- Bagazo (50 % Hum.) 28%
- Hojas y cogollo 16%
- Jugo 50%

Estos productos aportan fibra y energía, por lo que la proteína hay que obtenerla de otras fuentes, en este caso, se utilizaría el residuo de la cría de peces o sea del pez se utilizará parte del mismo en la alimentación humana (40%) y el resto en la producción de harina proteica, además se utilizaran otras fuentes agrícolas como son: soja, maíz, cáscara de arroz, girasol que complementarán tanto el alimento para los animales como para las personas. Los residuos líquidos y sólidos de los animales se utilizarán para generar energía (biogás) o abono orgánico.

Esta instalación se puede complementar con un área turística donde todos los alimentos que se oferten se obtengan en la finca (piscina, restaurante, etc.)

SUMMARY

The mills installation (2 to 60 t/d) for the prosecution of the cane of sugar allows to have an appreciable amount of goods that can be used as human or animal feeding, using small facilities for the production, be enough to say that, sugar cane is capable under certainly conditions of yields produce up to 100 t/hectare approximately of green matter, which expressed in energy terms mean 75000 Kcal of metabolic energy. The cane as raw material, when it is used in the animal livestock contribute mainly fibber and energy distributed in the following components:

- Bagasse (50% Humidity.) 28%
- Leaves and tops 16%
- Juice 50%

Of the above-mentioned it is inferred that protein contents should be obtained from other sources, in this case, the residual of breeding fish would be used in the production of gross protein. Other agricultural sources will also used from crops like: soy bean, corn, shell of rice as well as sunflower that will harmonize as food for human or animals proposals. The liquid and solids wastes of the animals will be used to generate energy (biogas) or fertilizing.

The installation can be supplemented with a tourist area where all the goods that will be offered can being obtained in the own property (pool, restaurant, etc.).

Introducción

La instalación de molinos (2 a 60 t/d) para el procesamiento de la caña de azúcar nos permite disponer de una cantidad apreciable de productos que se pueden emplear en la alimentación humana y animal utilizando pequeñas instalaciones para la producción de estos alimentos, baste decir que, la caña de azúcar es capaz en condiciones de rendimientos medios de producir aproximadamente 100 t/Hect. de materia verde, las cuáles expresadas en términos energéticos significan 75000 Kcal de energía metabolizable. La caña como materia prima, cuando se utiliza en la alimentación animal aporta distintos productos como son:

- Bagazo (50 % Hum.) 28%
- Hojas y cogollo 16%
- Jugo 50%

Estos productos son aportadores de fibra y energía, por lo que la proteína hay que obtenerla de otras fuentes, en este caso, se utilizaría el residuo de la cría de peces o sea del pez se utilizará parte del mismo en la alimentación humana (40%) y el resto en la producción de harina proteica, además se utilizaran otras fuentes agrícolas como son: soja, maíz, cáscara de arroz, girasol que complementarán tanto el alimento para los animales como para las personas. Los residuos líquidos y sólidos de los animales se utilizarán para generar energía (biogás) o abono orgánico.

Desarrollo y Discusión

La instalación puede constar de:

- Molino de caña
- Mini-destilería (producción de aguardiente, alcohol o alcohol absoluto)
- Planta de hongos comestibles
- Planta de pienso
- Estanque para peces
- Corrales y naves para la estabulación de los distintos animales

Producciones para la alimentación animal

- Miel rica (meladura)
- Miel amoniada
- Residuo de los hongos comestibles
- Bloques multinutricionales
- Pastos (kingrass, mora, napier, etc.)
- Bagazo para pienso

- Harina de pescado
- Residuos agrícolas no cañeros (soja, maíz, viandas, etc.)

Alimento Humano

- Raspadura
- Aguardiente
- Melao
- Carne de puerco
- Carne de puerco procesada (jamón, chorizo, etc.)
- Carne de res
- Pollos y huevos
- Carnero
- Leche fresca y procesada (queso, mantequilla, yogur, etc.)
- Pescado entero y en filete
- Frutas frescas y en conserva
- Hortalizas
- Combustible (alcohol absoluto, biogás)

El área disponible para la finca dependerá del tamaño del molino

Por ejemplo, un molino de 5 t/d y considerando una caballería de caña con un rendimiento promedio de 55000 @ nos permitiría moler durante 125 días.

Pudiéndose obtener por día:

1500 kg de bagazo con 50 % de humedad (rico en jugo).

800 kg de cogollo y hojas

2500 kg de jugo

Con esta cantidad de bagazo convertido a pienso se pueden alimentar 160 vacas diarias durante 125 días o 55 durante 365 días.

Con el jugo concentrado en forma de meladura se pueden obtener 800 kg/d pudiéndose alimentar 55 vacas y 155 puercos durante 365 días.

Es de destacar además, que los residuos de la agricultura no cañera también se consumirán como alimento animal (maíz, boniato, yuca, etc.).

Si consideramos que la finca contara con un estanque de 1000 m3 en el mismo se pueden obtener cada 6 meses:

240 t de pescado fresco, 96 t en forma de filete para la alimentación humana y el resto convertidas en pienso, aproximadamente 12,5 t de harina de pescado que se utilizaran en la formulación de los piensos como fuente de proteínas.

Los residuales líquidos y sólidos de los animales se utilizaran como abono orgánico o en una pequeña instalación para la producción de biogás para ser utilizado como combustible domestico.

Toda esta instalación se puede complementar con un área turística donde todos los alimentos que se oferten se obtengan en la finca, esta puede contar con piscina, restaurante, área de pesca deportiva, etc.

Aspectos económicos

La inversión de una finca de este tipo dependerá de la cantidad de productos y el volumen de los mismos a producir.

Para el caso de un molino de 5 t/d de caña.

La inversión es de aproximadamente $ 16 000.00 USD y un tiempo de recuperación de 2,08 años.

CONCLUSIONES

1 - Este tipo de instalación es apropiado para pequeños colonos o en áreas alejadas del ingenio

2 - La inversión depende de la variedad de productos, así como de el volumen de estos.

3 - No se utilizan fertilizantes químicas, estos se obtienen de los residuales del proceso tenológico

4 - Es una fuente alternativa de empleo en los países subdesarrollados.

5 - El equipamiento empleado en la instalación puede ser construido localmente y con pocos recursos

6 - La energía empleada es variada y puede ser obtenida en la misma finca(leña, bagazo, paja, etc.)

EXTRACCIÓN DE N-ALCOHOLES DE CADENA LARGA A PARTIR DE CERA CRUDA DE CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE CO_2 SUPERCRITICO

Alberto García, Abilio Lagunas*, Rafael Cañete, Amaury Alvarez, Irene Hernández

ICIDCA, albertg@icidca.edu.cu, 11000, La Habana, Cuba
*CPN, Centro de Productos Naturales, La Habana, Cuba

La cera cruda de caña de azúcar está considerada como uno de los lípidos de mayor contenido de alcoholes primarios alifáticos de la serie C_{22}-C_{30}. Para aislar estos compuestos existen métodos de transformaciones químicas y extracción con varios disolventes. En el presente trabajo se estudia un procedimiento novedoso que simplifica las técnicas anteriores pues emplea CO_2 en condiciones de temperatura entre 80 y 100^0C y presiones entre 300 y 350 bar. Para determinar las mejores condiciones de operación se ejecutó una matriz experimental en un módulo de extracción supercrítica de 500 ml de capacidad. Los rendimientos de la fracción rica en alcoholes oscilaron entre un 1.2 hasta un 2.0% base cera mientras que la concentración fue determinada por medio de cromatografía gaseosa; el contenido de alcoholes en los extractos osciló desde un 35 hasta un 80% siendo el octacosanol mayoritario en todas las muestras.

Supercritical extraction with CO_2 of long chain n-alcohols from sugar cane crude wax.

Alberto García, Abilio Lagunas*, Rafael Cañete, Amaury Alvarez, Irene Hernández

ICIDCA, albertg@icidca.edu.cu, 11000, La Habana, Cuba
*CPN, Centro de Productos Naturales, La Habana, Cuba

Sugar cane crude wax is rich in aliphatic n-alcohols C_{22}-C_{30}. The separation of these chemicals could be achieved through different extraction solvent procedures with chemical modifications. In the present paper a new way that make easier previous methods is discussed, with the advantage that CO_2 in supercritical conditions of temperature between 80 to 100^0C and 300-350 bar of pressure is used as extractive agent. In order to search for the best extraction yields an experimental matrix of 8 trials was performed in a 500 ml supercritical extraction unit . Yields of the rich-alcohols fraction were of about 1.2 to 2.0% crude wax based meanwhile the alcohols composition was determined by gas chromatography; the alcohols contents in the SC-extracts ranged from 35 to 80% and octacosanol occurred at higher ratio in the samples.

INTRODUCCION

La separación de los componentes de la cera de caña ha sido investigada por varios autores mediante el empleo de técnicas de extracción liquida con disolventes orgánicos, desde cetonas alifáticas hasta mezclas de etanol con solventes apolares como el heptano. Sin embargo, no ha sido factible hasta el momento llegar a un esquema tecnológico que permita obtener fracciones de aplicación industrial a costos competitivos por las pérdidas de solvente y gastos de energía para su recuperación(1).

Se conocen experiencias de autores japoneses (2) que en 1986 registraron una patente para separar alcoholes primarios alifáticos con fluidos supercríticos a partir de la cera de la caña de azúcar. Otros autores han reportado el uso de fluidos supercríticos para separar ceras vegetales, de lignito y de origen animal a partir de diferentes materiales, Stahl (3), Braun (4), Fragernas (5), Inada (6). Stahl y Quirin (7), reportan procedimientos similares para recuperar lanolina, ésteres de jojoba y propóleo.

Teniendo en consideración de que la cera cruda de la caña de azúcar es un material recuperado a partir de la cachaza, y que por su composición compleja puede separarse en 3 fracciones, cera dura, aceite y resinas, el proceso de aislar alcoholes y ácidos grasos de uso farmacéutico requiere primero la etapa de obtener cera dura o cera refinada con un disolvente y posteriormente es que esta se trata con otros disolventes para producir una mezcla de alcoholes primarios alifáticos cuyo componente principal es el octacosanol, seguido por el triacontanol y hexacosanol .Esta se conoce como Policosanol (8) y es el ingrediente activo del conocido fármaco PPG de amplio uso en la reducción del colesterol total y de lipoproteínas de baja densidad (LDC).

Con el objetivo de obtener esta mezcla directamente de la cera cruda es que se ha intentado en el presente trabajo someter la misma a tratamientos con CO_2 a presiones elevadas con el objetivo de aislar una mezcla donde se concentren los alcoholes primarios alifáticos de la serie C_{22}-C_{32} sin necesidad de fraccionar esta en cera refinada, aceite y resinas como se hace en la actualidad. De esta forma se eliminan disolventes orgánicos asi como etapas tecnológicas de altos insumos energéticos y se sustituyen por un nuevo esquema de extracción directa con CO_2 supercrítico.

PARTE EXPERIMENTAL

Materia prima:

Cera cruda de caña de azúcar

Pf:	57-61^0 C
% aceite;	33.8
% cera dura;	55.0
% resinas;	15.1

Aunque la cera cruda es sólida, su punto de fusión es inferior a las temperaturas que se escogieron para efectuar los ensayos de extracción por lo que bajo estas condiciones pasaría al estado líquido, lo que dificultaría la operación ya que la presencia de resinas hace que una vez terminado el proceso, sea necesario un despiece completo del extractor y una limpieza exhaustiva del mismo, pues estas resinas en estado líquido se adhieren a las superficies metálicas. Igualmente la introducción de elementos para la transferencia de masa y el contacto líquido-fluído supercrítico hacen que sea imposible su recuperación por la adherencia del residuo céreo después de la extracción. Para solucionar este inconveniente fue necesario soportar la cera en una matriz sólida.

Descripción de la Instalación experimental (Figura 1)

El CO_2 líquido, se enfría en un baño refrigerante, (SELECTA, Modelo Frigiterm 6000382), dotado de control digitalizado de la temperatura y con capacidad para enfriar hasta –8 ºC. Este enfriamiento es necesario para asegurar que el CO_2 llegue en estado líquido a la bomba, evitando así su posible cavitación.

Para la impulsión del fluido se utiliza una bomba de desplazamiento positivo (LDC Analytical, modelo Minipump Simplex 396-74) capaz de alcanzar presiones de hasta 415 Kg/cm^2 a caudales comprendidos entre 36 y 360 ml/h (B1
En el módulo de extracción es donde se lleva a cabo la extracción supercrítica propiamente dicha. Básicamente está constituido por un recipiente cilíndrico de 730 cm^3 de volumen (Dint= 17,48 mm. Longitud= 30,48 cm) construido en acero inoxidable AISI 316 y en el que puede alcanzarse una presión de hasta 690 Kg/cm^2 a 100 ºC

El extractor se calienta por medio de una resistencia eléctrica que se ajusta a las paredes, y la temperatura se regula de modo automático.

En el módulo de separación es donde el CO_2 se separa del extracto. Está constituido por un recipiente separador conectado a un medidor de caudal. La línea de entrada del fluido al recipiente separador es un tubo de acero AISI 316 de 3/16" de diámetro interno. La línea incluye una válvula todo o nada (V2) para abrir o cerrar el paso de fluido y una válvula micrométrica calefactada (VM) donde se produce la expansión del fluido supercrítico y se regula el flujo de CO_2. La válvula de cierre se ubica delante de la micrométrica con el fin de evitar posibles desperfectos en la válvula de aguja cuando es necesario interrumpir el flujo de fluido a través del sistema.

Una vez que el fluido atraviesa el extractor, atraviesa un medidor de burbuja de 250 ml con el que se medirá el caudal de CO_2 para, así, modificarlo manualmente con la válvula manométrica. Desde el medidor, el CO_2 se libera a la atmósfera.

La presión se regula de modo automático mediante el BPR (Back Pressure Regulator), mientras que la temperatura es registrada en la pared exterior del extractor, con un elemento de medición Pt 100 que se adhiere a las paredes. De esta forma se estima que en el interior del extractor la temperatura debe ser inferior al menos en 10^0 C.

El flujo de CO_2 se mantuvo constante en todos los experimentos a razón de 1.5 Litro/h.

La instalación experimental se muestra en el esquema anexo en la Figura 1.

Matriz experimental

A continuación se expone la matriz experimental y los rendimientos obtenidos

Variables. A - cera cruda tratada (T) y sin tratar
B - temperatura en pared exterior del extractor
C - presión

Tabla 1
Matriz experimental de la extracción de cera cruda de caña de azúcar con CO_2 supercrítico

A **Ensayo**	**B** **Temperatura ^oC**	**C** **Presión (Bar)**	**$\%Y_1$**	**$\%Y_2$**
1 CW	50	100	29.3	0.28
2 CW-T	50	100	5.9	0.41
3 CW	70	100	37.0	0.29
4 CW-T	70	100	8.9	0.90
5 CW	50	150	26.0	0.19
6 CW-T	50	150	7.1	1.1
7 CW	70	150	47.0	0.3

8 CW-T	70	150	10.8	2.0

$\%Y_{1:}$ Rendimiento de extracto céreo amarillo colectado en Separador 1
$\%Y_{2:}$ Rendimiento de extracto polvo blanco recuperado en paredes
CW: cera cruda
CW-KOH: cera cruda saponificada con KOH

Como se observa de los resultados de la Tabla 1, existe una influencia marcada en el tratamiento de la materia prima. Cuando la cera cruda reacciona con un determinado reactivo, el rendimiento del sólido blanco (alcoholes de alto peso moplecular con impurezas) es 3-4 veces mayor en los ensayos con la cera cruda natural (ensayos 1,3,5 y 7).

Caracterizaciòn de los Extractos

La determinación de los alcoholes se realizó por medio de una técnica reportada por A. García en la revista J.A.O.C.S, Vol. 73 no. 9 (1996) (9). La composición de la mezcla se identifica por un método de cromatografía gaseosa que emplea como forma de detección ionización de llama , el cual es capaz de distinguir e identificar los derivados metil-silanizados de cada alcohol individual presentes en la mezcla. El método se basa en la determinación de los tiempos de retención relativos de los derivados de cada alcohol individual comparado con un patrón interno el cual es 1-eicosanol.

A continuación se muestra el resultado de la determinación de los alcoholes alifáticos en los extractos:

Tabla 2
Contenido de alcoholes alifáticos $C_{22} – C_{32}$ en los extractos obtenidos de la cera cruda tratada y natural

Ensayo No.	% alcoholes totales en extracto céreo	% alcoholes totales en polvo blanco
1 CW	0.7	32.0
2 CW-T	1.0	61.0
3 CW	9.3	28.3
4 CW-T	0.3	64.0
5 CW	10.1	24.1
6 CW-T	9.3	62.1
7 CW	5.1	26.2
8 CW-T	0.3	78,3

De toas las muestras, la que se obtuvo de la Cera Cruda tratada (CW-7) mostró el mayor contenido de alcoholes, cercano al 80%. En la Tabla 3 se muestra su contenido

Tabla 3
Contenido de alcoholes en la muestra 8 CW-T

Alcohol Cn	Réplica 1 (mg)	Réplica 2 (mg)	Réplica 3 (mg)	Media (mg)	DE	CV%
C_{24}	0,00	0,00	0,08	0,08	----	----
C_{26}	4,25	4,15	4,34	4,25	0,10	2,24
C_{27}	0,60	0,62	0,66	0,63	0,03	0,76
C_{28}	53,52	52,74	53,30	53,19	0,40	0,75
C_{29}	0,18	0,20	0,21	0,20	0,02	7,77
C_{30}	12,30	12,47	12,27	12,35	0,11	0,88
C_{32}	6,19	6,47	6,12	6,26	0,19	2,96
C_{34}	1,38	1,50	1,41	1,43	0,06	4,37
Total	**78,42**	**78,15**	**78,39**	**78,32**	**0,15**	**0,19**

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

En la tabla 1 se refleja la influencia del efecto del tratamiento de la cera cruda en la solubilidad en CO_2 supercrítico. Operando en similares condiciones pero empleando la cera cruda sin ningun tipo de tratamiento se alcanzan rendimientos totales de extracto 4 veces superiores, pues es factible separar hasta casi un 48% en peso del material de partida cuando se trabaja a 350 bar y unos 100^0 C en las paredes del extractor. Es significativo el efecto del tratamiento en el rendimiento mucho menor de la fracción cérea, pero a su vez se incrementa el rendimiento de la fracción de polvo blanca casi dos veces, que resultó estar constituído por alcoholes céreos de alto peso molecular de la serie C_{22}-C_{30}

No se detectaron concentraciones apreciables de fitosteroles cuando se aplicó la técnica de HPLC en los extractos, lo que descarta el uso de este disolvente para este objetivo, aunque la literatura si menciona el uso de co-solventes con el CO_2 para extraer fitosteroles.

En la Tabla 2 se compara el contenido de alcoholes en todas las muestras. En las condiciones de la muestra 8 se alcanzó una proporción de alcoholes totales en la relativamente alto, cercano al 80%.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un procedimiento experimental mediante extracción supercrítica con dióxido de carbono que permite separar la cera cruda en dos fracciones, con rendimientos totales del orden de un 40-45%. Una de las fracciones está constituído por un material céreo de bajo punto de fusión, de olor agradable y color amarillo, que fue validada como materia prima adecuada de uso farmacéutico.

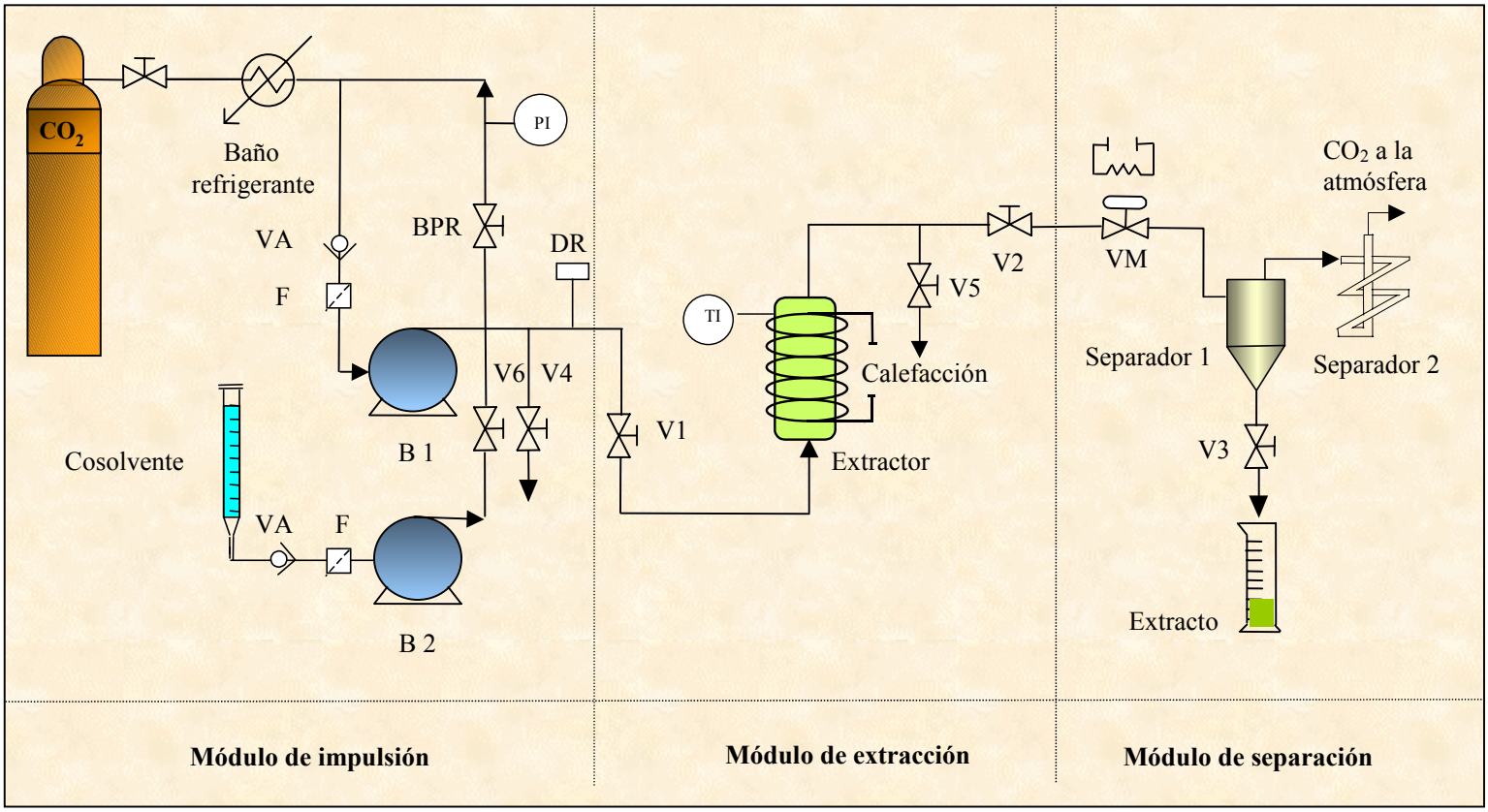
La otra fracción que representa entre 1 y 2% del material de origen, cera cruda, es una mezcla de alcoholes cuya pureza alcanzó hasta un 78.4% de alcoholes totales, lo que constituye una alternativa viable para aislar estos compuestos ya que se excluye el paso de obtener cera refinada de la cera cruda lo que simplifica notablemente el esquema de producir alcoholes.

Esta vía directa a partir de cera cruda elimina el uso de al menos dos disolventes orgánicos asi como reduce notablemente los gastos de energía, mano de obra, impacto ambiental y contenido de residuos tóxicos en los alcoholes.

BIBLIOGRAFIA

(1) García A., Subproductos y Derivados de la Industria Azucarera. Colección GEPLACEA, p 315, México, D.F.(1988)
(2) Furukawa, Kurune. Process for recovery primary normal aliphatic higher alcohols with supercritical fluids. US Patent 4714791(12.22.87)
(3) Stahl, E., Quirin, K.W. US Patent 4 548 755 Oct, 22 (1985)
(4) Braun, G., Schmidt, H. Ver. Busenges Phys. Chem., 88 (1984) p. 891
(5) Fragernas, L. Acta Chemica Scandinavica A 40 (1986) p. 538.
(6) Inada, s. Furukawa, K. Japan Patent 54-10539 (1983)
(7) Stahl, E., Quirin, K.W.; Dense gases for extraction and refining. Springer-Verlag, Berlin (1988) p. 103.
(8) Más, R. Policosanol. Drugs of the Future 2000, 25(6). 569-586.
(9) Revista J.A.O.C.S, Vol. 73 no. 9 (1996).

Figura 1. Esquema de la Instalación experimental de laboratorio de extracción con CO_2 del ICIDCA



INGENIERÍA Y SIMULACIÓN TECNOLÓGICA. PROBICID, UN CASO DE ESTUDIO.

ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL SIMULATION. PROBICID AN STUDY CASE.

Ing. Raúl Costales, Dr. Oscar Almazán, Ing. Julio Martínez e Ing. Luis A. Ramírez.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Vía Blanca Nº 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, CP 11000, Ciudad de la Habana Cuba.
e mail: costales@icidca.edu.cu

Resumen

Se presenta la Ingeniería Básica en de una instalación para la producción del probiótico PROBICID, soportada electrónicamente en el programa Excel. Aportar la capacidad productiva y el entorno de mercado disponible constituyen los datos de entrada fundamentales para obtener una respuesta tecnológica que analiza cada una de las áreas productivas y su equipamiento específico, costos y potencias instaladas. No escapan de ser atendidos los indicadores económicos de la inversión tomando como punto de partida precios de venta competitivos y en correspondencia los de venta acordes a la tendencia anteriormente analizada.

El conjunto esta constituido por 9 pestañas de trabajo en las cuales resulta sencillo evaluar y tomar decisiones económicas generales y a partir de la influencia de las materias primas, mano de obra, portadores energéticos así como el costo de la maquinaria representativa de esta tecnología analizar las incidencias de las mismas en los resultados técnico económicos de la futura gestión productiva de la planta.

Palabras Claves: Ingeniería, Simulación de Procesos, Probióticos, Análisis Técnico Económicos y de Rentabilidad.

Summary

A Basic Engineering of a technological installation for a probiotics production “PROBICID”, supported electronically in Excel is presented. Offering the productive capacity and the available market as opening data, the system reports a technological answer that take into consideration every productive area and their specific equipments, costs and energy consumption fundamentally. Economic indicators of the whole investment taking as starting point of view a competitive sale prices and in sales prices the correspondence with the so called tendencies are also analyzed by the system.

The system is compose by 9 tab sheets in which it is easy to evaluate and make general economic decisions starting from the influence of the raw materials, labor, energy as well as the cost of the representative machinery of this technology and the incidences in the technical and economic results of its future administration.

Key words: Engineering, Process Simulation, Probiotics, Technical Economic analysis Profitability.

Introducción

La participación activa de los probióticos en la alimentación animal en dietas balanceadas ha demostrado innegables beneficios en los géneros tratados elevando su sistema inmunológico, incrementando la asimilación de alimentos poco digeribles en condiciones normales, disminución de la morbilidad y mortalidad. En sentido general estos productos son analizados como un arma de doble finalidad; por una parte la erradicación de los antibióticos en la solución de múltiples problemas en la salud animal por demás denunciado como una práctica poco ética y adicionalmente a manera de un conversor eficiente del alimento ingerido tanto en el crecimiento como en la producción a la cual esta destinado el animal.

De lo anteriormente analizado puede inferirse el auge y los volúmenes de producción que va alcanzando esta temática en el mundo. No obstante las bondades de la producción y remarcada importancia para la sociedad, la misma ha de realizarse de forma tal que constituya una respuesta económica para sus productores, análisis que se hace en nuestro caso con un mayor énfasis como consecuencia de las actuales condiciones económicas del mundo, al cual, pertenecemos de hecho, a los sectores más desfavorecidos para lo cual se impone la necesaria evaluación del impacto técnico económico de su introducción en la práctica social.

Para el caso del sistema MINAZ le resulta muy particularmente aconsejable acometer esta inversión, no solo en relación a lo que a su potencial de animales se refiere sino por la posibilidad de lograr valores agregados a la miel final y la levadura torula seca, ambas con un porcentaje de participación dentro de las materias primas requeridas ascendente al 59% del total de este renglón de los recursos. Otro de los factores íntimamente relacionados con la producción y pertenecientes al sector radica en el conocimiento tecnológico vinculado al personal que dio lugar a la investigación que mostramos y que a los efectos técnicos se traduce como know how con una expresión económica importante en relación a la inversión si fuese adquirida de otros países.

Se presenta una aplicación en Excel con la cual se confecciona desde el punto de vista informático el anteproyecto tecnológico de una instalación destinada a estos propósitos condicionada a evaluar las tendencias económicas de la inversión a partir de la capacidad de producción de una planta, mostrando como parámetros limitantes el precio de venta y las potencialidades del mercado interno del país. Caso de no alcanzar el mercado interno la liquidación del inventario generado, podrían ubicarse siguiendo los mecanismos establecidos los excedentes de producción en el mercado internacional en consecuencia a la analogía de propiedades con similares en el mercado internacional y muy particularmente comercializarla en el sector latinoamericano y del Caribe a precios competitivos favorecidos además por las cercanías geográficas.

Materiales y Métodos

El análisis tecnológico analizado desde el punto de vista de su simulación a través de mecanismos tal cual aparece en este trabajo así como también en otras manifestaciones de esta índole, representa en las manos de los especialistas una metódica caracterizada por:

- Confiabilidad y seguridad en el trabajo.
- Posibilidades de estudiar la sensibilidad de la producción ante la influencia de las diferentes partidas del costo y su relación con la recuperación de la inversión.
- Desde el punto de vista de ingeniería, una herramienta de confirmación tecnológica.
- Antesala de un proyecto tecnológico sólidamente fundamentado.
- Proceder de adecuado valor metodológico y rigor profesional.

El trabajo cuenta con un estudio previo (1,2) en el cual se determinan los precios de productos análogos que son comercializados en el país y a su vez conformando parte de la demanda del país, igualmente arriban a conclusiones acerca de la capacidad de planta y enfoque particular en cuanto al equipamiento

requerido para la producción, parte de estos criterios son modificados a partir del anteproyecto tecnológico realizado. Debe tenerse en cuenta que estos productos en la actualidad no son empleados por la totalidad de los consumidores y por lo tanto el cúmulo de las importaciones no reporta la realidad del nicho de mercado, resulta igualmente posible plantear una demanda no solvente en divisas, para lo cual la producción nacional puede representar una solución a la situación actualmente analizada.

Desde el punto de vista técnico, el contar con una documentación tecnológica de pre ingeniería de la producción a vista (3), contribuyó a facilitar los análisis para la confección del trabajo que se expone. De todo lo anteriormente relacionado obtenemos una última metódica; el carácter multidisciplinario del trabajo.

Desarrollo del Sistema

La ingeniería de la producción fue analizada comenzando con la entrada de las materias primas a la planta diferenciándolas según tipo y características a fin de lograr las mejores condiciones de almacenamiento y los períodos de suministros de cada una de ellas de acuerdo a la procedencia, distancia al suministrador y forma de almacenamiento entre otras causales. La posible estadía de la producción se estipula igualmente a fin de análisis económicos puedan analizar posteriormente los flujos de caja y los ingenieros determinar la capacidad total del almacén.

Los balances de masa y energía analizados de conjunto brindan la idea general del transcurrir del proceso para la confección de la primera pestaña y base del trabajo realizado "*Balance*" y a partir de la misma se ideó el proceder de la simulación de forma tal que, con solo brindar la capacidad de la planta y algunos parámetros operacionales de la planta resultan de los cálculos requeridos los indicadores de la inversión resumidos en las pestañas "*C. Inv., C. Prod. y Flujo Total y Flujo Div*".

Se asumen los siguientes códigos de colores:

- Celdas en azul, únicas factibles de modificarse.
- Celdas en rojo, como resultado de operaciones lógicas del programa.
- Celdas en verde, indicaciones de productos intermedios o dualidad de existencia.

- *Costo de Inversión.*

El costo de inversión de la planta esta calculado teniendo en cuenta los siguientes supuestos y artificios matemáticos:

- Las cantidades de equipos son asumidas por el tecnólogo, de lo contrario se brindan por defecto
- Las potencias instaladas están afectadas por un factor de ocupación/día que redondea la potencia total insumida en la operación.
- Las capacidades de equipos se calculan a partir de formulas de estimación y/o regresión en función del equipo en cuestión.
- Las capacidades de equipos no factibles de encontrarse en el mercado para todos los rangos de capacidades están marcados en amarillo y deben recalcularse en función de los datos de fabricantes ubicados al final de la pestaña.
- Se asumen coeficientes de estimación para otros indicadores de la inversión (instalación, instrumentación, servicios, etc) factibles de modificarse por la convención estimada por el especialista.

El resultado de los cálculos correspondientes aparece reflejado en la celda *Total de la Inversión* y se tomará como referencia en la continuidad de los cálculos de la inversión.

- *Costo de Producción*

Al igual que en el Costo de Inversión, se asumen o calculan valores en la pestaña dependientes de los siguientes aspectos:

- Se toman como válidos los índices de materias primas por unidad de producción y aparecen reflejados en la pestaña "*Datos*".
- Los costos de las materias primas son aportados por el listado de precios del MINAZ en el año 2003.
- El valor de la miel depende de la selección realizada en la opción señalada (propia o tributada)
- Precio de venta del producto asumido como válido el expresado en la pestaña "*Datos*" y a partir del cual se obtendrán como resultados las ganancias anuales en moneda total y divisas.
- Salarios de operación procedentes de la pestaña "*Datos*" y asumidos como validos una vez que se llena la tabla correspondiente.
- Se toma como posible la fundamentación que la plantilla no varia con la capacidad de la planta (moviéndose en los términos de capacidades lógicas).
- La administración no grava considerablemente los costos debido a que se analiza anexa a una empresa azucarera.
- Se asume para el mantenimiento un 2% del total de la inversión total

La pestaña facilita comparar la influencia de las diferentes partidas (portadores energéticos, materias primas) así como también los costos fijos y variables en su conjunto y sus correspondientes magnitudes porcentuales en relación al total.

- *Flujo Total y Flujo Div.*

En estas pestañas se analiza el Flujo de la inversión tanto en moneda total como en divisas según el caso correspondiente. En esta se ofrecen los indicadores económicos de la inversión tales como el TIR, VAN y el período de recuperación. A estas instancias nos resulta suficiente el conocer estos indicadores para analizar la tendencia de la inversión según la capacidad estimada y los precios de venta asumidos.

El tomar como punto de partida las ganancias totales o en divisas establece la diferencia entre las dos pestañas analizadas en este acápite.

Aquí se toman como válidos los siguientes supuestos:

- Impuestos sobre la producción ascendentes al 35%
- Tasa de descuento anual del 12%
- 1 año destinado a la construcción y el montaje de la planta.
- Curva de distribución de capacidades del 70% en el primer año de producción, 85% en el segundo y alcanzar en el tercero el 100%.
- Período de vida de 15 años

Resulta de suponer que de las modificaciones de estos "supuestos" depende totalmente el resultado que obtengamos y su modificación o ratificación dependerá del momento del análisis y las influencias particulares de la localidad, existencias y consideraciones que realice el evaluador.

Caso de Estudio

Se tomó como caso de estudio una planta para la producción de PROBICID seco con una capacidad de 3,5 ton/día o 1050 t/año en concordancia con el régimen de explotación preestablecido. El producto de referencia fue el SORBIAL comercializado a 4.50 $/kg y cuyas características y propiedades son muy

similares al analizado en el presente trabajo (4). La demanda estimada podría ascender a unas 2165 ton/año a fin de cubrir las necesidades generales del país, lo cual nos arroja como resultado que se requerirían 2 instalaciones en el país para satisfacer totalmente las necesidades planteadas.

Los análisis de cada indicador se realizan por separado enfatizando en casos acerca de las condiciones impuestas a la inversión y sobre las cuales el proceder puede ser tan variado como situaciones se presenten en la vida cotidiana; por ello es que enfrentamos un caso de estudio muy probable para las actuales condiciones de la economía nacional.

Una vez introducidos todos los datos en la hoja de trabajo automáticamente aparecen reflejados los objetos de cálculos en la celdas respectivas y según la distribución de pestañas anteriormente explicitada.

¿Cómo se analiza la herramienta diseñada los datos anteriormente planteados?

- ***Costo de Inversión***

El costo de inversión de la planta resulta como aparece en la tabla Nº 1.

Indicador	Valor (miles de Pesos)	Valor (miles de USD)
Equipos y Maquinarias	**-**	**2 602,36**
Construcción y Montaje	**1 277,24**	**510,9**
Otros	**260,23**	**26,3**

Puede apreciarse que hemos asumido que la totalidad de la maquinaria principal asi como todos los elementos que aseguran la producción serán obtenidos en mercado de divisas así como para el resto de los indicadores mostrados, las divisas ascienden al 40 y 10% respectivamente comprendidos como construcción y montaje dentro de los cuales se agrupan: instalación de equipos y tuberías, trabajos de electricidad e instrumentación y los servicios auxiliares. Otros es asumido como imprevistos en la ejecución de la obra.

Resulta evidente que hemos analizado este caso como la peor condición por cuanto si para esta resultara beneficiosa, en el caso de instrumentar soluciones a partir de equipos principales de segunda mano, apoyo constructivo nacional así como la existencia de equipos en el país aptos para el uso en esta producción, el impacto económico sobre la inversión sería muy favorecedor al reducirse cuantiosamente la inversión o equiparar en parte las monedas que intervienen en el proyecto de inversión.

- ***Costo de Producción***

En relación al costo de producción resulta de interés mostrar las partidas del costo y su relación con el costo del producto terminado siendo las mismas como se muestran en la tabla Nº 2.

Indicador	%	Partidas Particulares	%
Costos variables	**65,46%**		
		Portadores energéticos	**23,38%**
		Materias Primas	**42,08%**
Costos Fijos	**34,54%**		
		Salarios	**18,33%**
		Mantenimiento	**14,40%**
		Otros Gastos	**1,80%**

Dentro de las partidas particulares podemos analizar por separado el caso de la miel y su influencia en el costo total dentro de los costos variables ascendiendo la misma al 2,94% si fuese considerada como propia y el 4,12% si fuese tributada de otras empresas azucareras y el total de los variables para este caso incrementaría un 0,42% por este concepto. El insumo de agua resulta elevado por cuanto es ampliamente

empleada en toda la tecnología (enfriamiento, generación de vapor, proceso y social) ascendiendo su influencia dentro de la partida del materias primas al 14% aproximadamente.

Para los portadores energéticos, la solución más viable sería una micro localización donde se dispusiera de gas natural y efectuar el secado de forma más económica que al emplear bombonas. Se debe enfatizar que el consumo eléctrico asciende a un 14,56% siendo posible un incremento del mismo al ser mayor el coeficiente de explotación de los motores o duplicidad de algunas posiciones en atención a la seguridad industrial, aspectos que los tecnólogos e ingenieros deberán analizar al adentrarse en el proyecto tecnológico.

➢ ***Flujo Total y Divisas***

Las tablas Nº 3 y 4 muestran los indicadores esenciales de la inversión según se analice bien la moneda total o componentes en divisas.

- ***Flujo Total***

Indicador	Valor
TIR	**54.77%**
VAN	**Positivo al año 4**
Período de Recuperación	**3,36 años**

- ***Flujo en Divisas***

Indicador	Valor
TIR	**35,69%**
VAN	**Positivo al año 5**
Período de Recuperación	**4,67años**

Análisis de los Resultados y Conclusiones

El proyecto de inversión resulta viable para la capacidad de producción analizada mostrando períodos de recuperación aceptables para la industria, estando sujetos a modificaciones en cuanto al tipo de moneda que se considere en la adquisición del equipamiento necesario.

Para el caso del sistema MINAZ le resultaría interesante el contar con la centralización de la producción no solo considerando la rentabilidad de la misma sino también por la revalorización de dos de sus producciones a saber la miel final y la levadura torula.

La hoja de cálculo ideada para esta tecnología resulta imprescindible para lograr análisis técnico económicos confiables y con gran rapidez toda vez que se carguen todas las suposiciones relacionadas con la forma de administración y distribución de fondos para la inversión acorde a las monedas que intervienen en la misma.

La posibilidad real de enfrentar diversos procesos tecnológicos empleando las facilidades de Excel resultan incuestionables toda vez que se domine el uso del paquete y se entrelace con un conocimiento tecnológico previo de forma tal que el producto final cumpla la doble finalidad de proceder tecnológico y evaluador de la variante seleccionada.

Bibliografía Consultada

1. Blanco. Herriman. M. Estudio de Prefactibilidad de la Producción del Probiótico Seco Forum 40 Aniversario, ICIDCA 2002
2. Blanco. Herriman. M. Análisis económico de la producción de un probiótico utilizando mieles de caña como sustrato. Revista ATAC # 2, Año 2002
3. Almazán. O, Brizuela. M. A, Serrano.P, et al, Anteproyecto Tecnológico para la producción de PROBICID Seco. ICIDCA, Septiembre del 2001.
4. Costales. R, Almazán. O, Martínez. J, Brizuela. M. A, Serrano. P, Paquete Tecnológico sobre la Producción del PROBICID. ICIDCA, Diciembre del 2003.
5. Internet, Búsqueda y Análisis de la Aplicación de PROBIOTICOS.

EFECTO DE LA RELACIÓN MATRIZ-ENDURECEDOR SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE SISTEMAS FURANO-EPOXÍDICOS Y EPÓXICOS.

THE EFFECT OF THE RESIN-HARDENER RATIO ON THE COMPRESSION STRENGTH OF FURAN-EPOXY AND EPOXY SYSTEMS.

Ing. Francisco Diez Torres. **Téc. Arelys Rodríguez Padrón** **Téc. Pablo Sosa Pérez**
Lic. Migdalia Dopico Paz. **Téc. Jorge Luis García González**
Lic. Andrés Gómez Estevez. **Téc. María Elena Rodríguez Dorrego**

ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar)
Email: fdiez@icidca.edu.cu
migdalia@icidca.edu.cu
agomez@icidca.edu.cu

RESUMEN
Entre los factores más importantes a tener en cuenta en el diseño de materiales resistentes a la fricción se encuentran el coeficiente de transferencia de calor, el coeficiente de expansión o dilatación térmica y la resistencia a la compresión. El calor generado por la interacción entre los cuerpos que rozan y que aumenta con la velocidad relativa, determina la importancia de los dos primeros factores mencionados, mientras que la resistencia a la compresión es un factor de principal importancia en el caso de materiales que serán utilizados en piezas que soporten grandes cargas de fricción, es decir, en sistemas donde la carga sea el factor predominante en el producto p.v (carga por velocidad).
El presente trabajo estudia el efecto causado por la relación matriz-endurecedor sobre la resistencia a la compresión de sistemas furano-epoxídicos y epóxicos para ser utilizados en el diseño de composiciones poliméricas resistentes al desgaste. En los sistemas epóxicos se observa un aumento de la resistencia a la compresión con el aumento del endurecedor en la relación hasta valores del 19%, a partir del cual se produce una sobre catálisis y la matriz espuma. En los sistemas furano-epoxídicos se observa un crecimiento de la resistencia a la compresión con el aumento del endurecedor en la relación de manera continua hasta valores de 25% de endurecedor, lo que se debe a que el equivalente epoxi es diferente, además de que los grupos carbonilos del sistema incrementan la posibilidad de reacción con las aminas utilizadas como endurecedor.

ABSTRACT
The most important factors to take in account in the design of friction resistant materials are the heat transfer coefficient, the thermal expansion coefficient and the compression strength. The generated heat by the bodies interaction that is increased with the relative velocity, determine the two first factors while the compression strength is the first important factor in materials that will be used in parts that carry out great friction loads or systems where the load will be the predominant factor in the p.v product.
The present paper study the effect of the resin-hardener ratio on the compression strength of furan-epoxy and epoxy systems to be used in the design of friction resistant polymer composites. In the epoxy system was observed an increase of compression strength with the hardener ratio increase up to 19% and with values over that it was observed an overcuring. In the furan-epoxy system it was observed a continuos increase of the compression strength with the hardener ratio increase up to 25% that is occur due to the epoxy equivalent is different, besides carbonyl groups in the system increase the reaction possibilities with the amines used as hardener.

PALABRAS CLAVES
Resistencia a la compresión, relación matriz-endurecedor, Sistemas furano-epoxídicos, sistemas epóxicos, composiciones poliméricas, resistencia al desgaste.
KEY WORDS
Compression strength, hardener-matrix ratio, furan-epoxy systems, epoxy systems, polymer composites, wear resistance.

INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de fricción de dos cuerpos (piezas o elementos de máquina) el desgaste que se produce en éstos depende de múltiples factores entre los que se encuentran, la naturaleza de los materiales de los cuerpos que interactúan, la velocidad del movimiento relativo entre éstos y la carga aplicada. El movimiento relativo genera calor que aumenta la temperatura del sistema, proceso directamente proporcional al incremento de la velocidad. La carga por su parte produce deformaciones por aplastamiento, siendo un factor a tener en cuenta como predominante en sistemas de baja velocidad relativa. ***Martínez Escanaverino y Martínez*** **(1986)**
En sentido general, se puede decir que los materiales resistentes a la fricción deben tener como características fundamentales, un alto coeficiente de conductividad o difusividad térmica, bajo coeficiente de expansión o dilatación térmica y una alta resistencia a la compresión, ésta última fundamentalmente en casos en que en el valor del producto (pv), predomine la carga. ***Fiedrich, Liu y Häger*** **(1993*), Gómez y Colab*. (1999)**
Para la construcción o mantenimiento de piezas que trabajan a fricción, los polímeros se utilizan por lo general en forma de compuestos poliméricos, con aditivos y rellenos que tienen diferentes funciones pero en común el objetivo de brindarles a éstos las características mencionadas. Es sabido por ejemplo que los polímeros son poco conductores del calor, por lo que se utilizan rellenos que ayuden a incrementar su conductividad térmica. De ésta misma manera, en el caso de polímeros termoestables o termofijos, que generalmente se comportan como materiales frágiles, se utilizan rellenos y aditivos para aumentar su tenacidad. Otro ejemplo son los lubricantes secos y aditivos que ayudan a disminuir el coeficiente de fricción.
No obstante cuando se diseña un compuesto polimérico a partir de una matriz termoestable determinada, se debe tratar de obtener en ella las mejores propiedades antes de comenzar el estudio de los aditivos y rellenos necesarios, así como en las concentraciones en que se debe realizar la mezcla. Es sabido que el comportamiento mecánico, la difusividad térmica y la resistencia química de éstas matrices dependen en gran medida de la cantidad y tipo de endurecedor o (agente de curado), así como de los parámetros del proceso, como son el tiempo y la temperatura de curado. ***d'Almeida y Monteiro*** **(1995 y 1997)**
Las propiedades de los compuestos poliméricos con matrices epóxicas y furanoepoxídicas, no dependen en primer término de las propiedades que le pueden suministrar los rellenos y aditivos, sino de las condiciones de proceso de la matriz. La variable más importante de éste proceso será la relación matriz-endurecedor (para cada tipo de endureceddor) y en segundo término la temperatura y el tiempo de curado. ***Gómez y Colab.*** **(1994, 2000)**
Se reportan resultados en estudio de sistemas epóxicos compuestos por DGEBA (diglicidil éter de bisfenol- A) como matriz y la amina alifática TETA (trietilen tretamina) como endurecedor, en el que se obtuvo como resultado que el comportamiento del sistema depende fuertemente de la relación matriz – endurecedor. Los compuestos más ricos en epoxi tuvieron un comportamiento frágil a la compresión, mientras que cuando se aumentaba el contenido de amina, aumentaba la capacidad de deformación del sistema. Éste resultado fue obtenido por ***d'Almeida y Monteiro*** **(1995).**

El presente trabajo muestra el resultado de un estudio realizado sobre el efecto que produce la relación matriz-endurecedor en la resistencia a la compresión de los sistemas epóxicos y furanoepoxídicos

MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema epóxico estudiado se obtuvo reaccionando DGEBA (GY-250) y la amina alifática HY-943 ambos de la CIBA GEIGY, cuya caracterización aparece en la tabla I.
El sistema furanoepoxídico se obtuvo reaccionando resina FAM obtenida en el ICIDCA por síntesis (en la cual se utiliza también DGEBA GY-250) y el mismo endurecedor HY-943. La caracterización de la

resina FAM también aparece en la tabla II. . ***Gómez y Colab.* (1994) *León, Gómez y Bermello* (1996); *Gómez, Bernal y Frontini* (2001)**
Se prepararon muestras con nueve (9) relaciones en peso resina / endurecedor, desde 9 hasta 25 partes de endurecedor por cada 100 partes de resina, tanto para el sistema epóxico como para el sistema furanoepoxídico

Tabla I. Propiedades de la resina epóxica (GY-250) y el endurecedor (HY-943)

Producto	Equiv. epóxico	Viscocidad DIN 53015 A 25ºC m Pa S	Densidad 20ºC/4ºC	Densidad 20ºC g/cm³	Cant. Rec. Por g mol de epoxi	Características
Epoxi (GY-250)	182-194	9000-12000	1,15	--	--	No modificada *
Endurecedor (HY-943)	--	34000-45000	--	1,08	40	Poliamina alifática.

** Cura con poliamidas alifáticas y aromáticas. Utilizada como adhesivo y recubrimiento anticorrosivo.*

Tabla II. Propiedades de la resina FAM

PROPIEDADES	DESDE	HASTA
Viscosidad (cPs)	150	14000
PH	5	6
Densidad (g/cm³)	1,2	1,9
Peso seco (%)	65	75
Furfural libre (%)	1	2
Relación monomérica (F_2 Ac/Fac)	1	1,7
Punto de gel a 170ºC con 3% ABS (seg.)	Menos de 90	
Almacenamiento a 25-30ºC (años)		1

Se prepararon muestras con nueve (9) relaciones en peso resina / endurecedor, desde 9 hasta 25 partes de endurecedor por cada 100 partes de resina, tanto para el sistema epóxico como para el sistema furanoepoxídico
Se utilizaron 6 réplicas de cada relación, pesadas en balanza analítica de ±0,0002g de precisión y se prepararon muestras cúbicas de 20 x 20 x20 mm según la norma UNE 5024 del año 1986. El curado de las muestras se realizó a temperatura ambiente durante siete (7) días a partir de los cuales se comenzaron los ensayos de compresión que se realizaron en una máquina universal de ensayos mecánicos TIRA test 2300 de procedencia alemana, a una velocidad de 10 mm/min.
Al final de los ensayos se determinó la resistencia a la compresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN
Los resultados obtenidos con el sistema epóxico se muestran en la tabla III y los resultados que se obtuvieron con el sistema furanoepoxídico se muestran en la tabla IV.

Tabla III. Resistencia a la compresión del sistema epóxico.

VALOR	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN								
	9% End.	11% End.	13% End.	15% End	17% End.	19% End.	21% End	23% End.	25% End.
Mínimo.	43,08	41,9	22,4	85,0	105,6	93,9	espumó	espumó	espumó
Máximo.	56,6	50,1	31,3	122,9	118,8	117,2	“	“	“
Media.	49,08	46,8	26,74	106,6	114,13	102,8	“	“	“
D. Estand.	6,5	2,67	3,24	13,9	4,60	2,67	“	“	“
Error.	0,33	2,17	1,04	16,99	4,63	10,35	“	“	“

Tabla IV. Resistencia a la compresión del sistema furanoepoxídico.

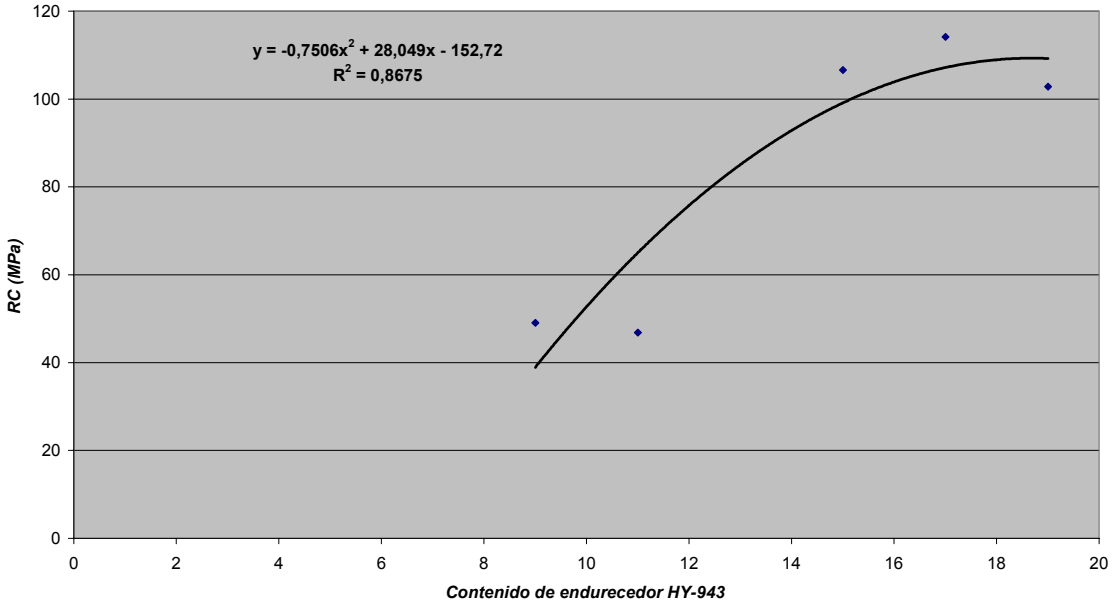
VALOR	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN								
	9% End.	11% End.	13% End.	15% End	17% End.	19% End.	21% End	23% End.	25% End.
Mínimo.	7,7	13,2	40,0	57,6	0,56	51,7	17,6	71,90	95,4
Máximo.	9,5	29,2	55,9	70,1	0,97	75,3	32,4	83,20	151,2
Media.	8,6	20,8	50,7	63,2	0,80	66,6	24,83	76,62	121,6
D. Estand.	0,59	7,8	6,95	4,3	0,1	10,0	4,7	4,26	23,4
Error.	0,64	6,7	7,58	4,5	0,08	8,2	3,2	4,19	18,26

De los resultados obtenidos con el sistema epoxídico se observa que la resistencia a la compresión comienza decreciendo hasta el 15% en peso de endurecedor donde se produce un salto brusco y continúa en aumento, aunque en el punto correspondiente a la relación con 19 % de endurecedor decrece ligeramente respecto a las dos anteriores. Durante los ensayos, las muestras con 9 y 19% de endurecedor, tuvieron un comportamiento frágil rompiéndose al ser comprimidas, mientras que en los puntos intermedios las muestras se comprimieron sin recuperación de sus dimensiones iniciales, es decir, que mostraron un comportamiento plástico. Las muestras correspondientes a las relaciones con 21, 23 y 25% de endurecedor, espumaron y por tanto su comportamiento fue extremadamente frágil por lo que se excluyeron del análisis de los resultados. El hecho de que hayan espumado se debe al haber sobrepasado el punto estequeométrico de la relación matriz/ endurecedor.

Existe una diferencia en cuanto a los resultados obtenidos y los resultados a los que llegaron ***d'Almeida y Monteiro*** **(1995)** los que observaron un continuo decrecimiento de la resistencia a la compresión de éste sistema desde 7 % hasta 21% en peso de endurecedor, presentando un comportamiento frágil las muestras correspondientes a los puntos hasta 11% de endurecedor y desde el 13 hasta el 21% observaron un comportamiento plástico con grandes deformaciones.

En la figura Nº1 muestra la tendencia que tiene el comportamiento de la resistencia a la compresión de los sistemas epoxídicos en función del contenido de endurecedor.

Fig. Nº1. Resistencia a la compresión en función del contenido de endurecedor en el sistema epoxídico

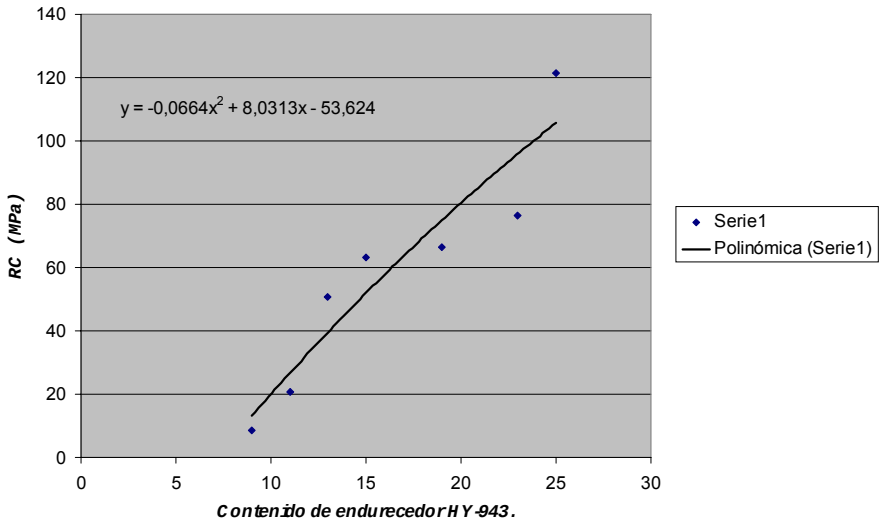


En la figura anterior se excluyeron los puntos que quedaban fuera de la tendencia general.

En el sistema furanoepoxídico por su parte, se observa una relación directa entre la cantidad de endurecedor en la mezcla y la resistencia a la compresión. En el punto correspondiente al 17% de endurecedor, se observa un salto brusco, al igual que en el correspondiente al 21%, los que no se

corresponden con la tendencia general con que se comportaron éstas matrices. Estos puntos fueron excluidos del gráfico mostrado en la Fig.Nº2., igual que en el caso del sistema epóxídico.
La Fig. Nº2. muestra la tendencia de la resistencia a la compresión en función del contenido de endurecedor de la mezcla en el sistema furanoepoxídico estudiado.
Con el análisis y comparación de ambas curvas, se corrobora que la tendencia del comportamiento de la resistencia a la compresión en función del contenido de endurecedor es más acentuada en el sistema furanoepoxídico, manteniéndose en ascenso hasta valores del 25% de endurecedor, sin que las muestras espumen.
Este comportamiento se debe básicamente a las mayores posibilidades de reacción de dicho sistema por encima del epoxídico dado que en primer término el equivalente epóxico de la matriz es diferente y en segundo lugar a que los grupos carbonilos y los furanos, incrementan la posibilidad de reacción de la amina alifática utilizada como endurecedor. ***Gómez, Bernal y Frontini* (2001).**

Fig. Nº2. Resistencia a la compresión en función del contenido de endurecedor en el sistema furanoepoxídico.



CONCLUSIONES

1. En el sistema epóxico se observa un aumento inicial de la resistencia a la compresión con el aumento de la cantidad de endurecedor. Posteriormente, a partir de la relación estequeométrica existe un salto y se comportan en relación directa. Con concentraciones de endurecedor por encima de 19% las muestras cristalizan.
2. En el sistema furanoepoxídico, se observa (excepto dos puntos), una tendencia al incremento de la resistencia a la compresión con el aumento de la cantidad de endurecedor en la relación, lo que debe estar directamente relacionado con el incremento de las posibilidades de reacción que producen los grupos carbonilos
3. Realizar análisis termogravimétricos y de IR, con vistas a identificar las causas reales del comportamiento de cada uno de los puntos de ambos sistemas.
4. Se propone una vez identificadas las relaciones adecuadas, realizar un diseño de experimento con más variables de respuesta.
5. Se propone estudiar el efecto de la relación matriz/ endurecedor sobre la difusividad y conductividad térmica, así como el coeficiente de dilatación de estos sistemas.

REFERENCIAS

1. d'Almeida, J.R.M., Monteiro, S.N., **The effect of the resin/hardener on the compressive behavior of an epoxy system.** Polymer Testing 15, 1996, 329-339, Elseiver publications.
2. d'Almeida, J.R.M., Cella, N., Monteiro, S.N., Miranda, L.C.M., **Thermal diffusivity of an epoxy system as a function of the hardener content.** Journal of Applied polymer Science, August 1997.
3. Gómez, A. **Polímeros para el mantenimiento de piezas de gran tamaño en la industria azucarera**, VI Congreso Sobre Azúcar y Derivados DIVERSIFICACIÓN'2000, Palacio de las Convenciones, Ciudad de la Habana, Cuba, año 2000.
4. Gómez, A., Bernal, G., Frontini, P., **Estudio de propiedades mecánicas en polímeros furánicos. Aplicaciones.** 17 Conferencia de Química de la Universidad de Oriente, ISBN 959-207-083-0.
5. Gómez, A., Dopico, M. Y Colab**. Informe final proyecto CITMA 001.03.018"Composiciones Poliméricas para el Mantenimiento de la Industria Azucarera"** (1999).
6. Fiedrich, K., Liu,Z. And Häger, M**. Overview on polymer composites for friction and wear applications.** Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 19, 1993, I-II, Elseiver publications.
7. Martínez, J., Martínez. F**, "Teoría y Práctica del Rozamiento"**, ISPJAE, Ministerio de Educación Superior, Ciudad habana, (1986).
8. León, M., Gómez, A., Bermello, A. **Estudio de síntesis y caracterización de resinas furanoepoxídicas,** Trabajo de Diploma, Universidad de La Habana, Facultad de Química, Departamento de Química Física, Ciudad de La Habana (1996).
9. **"Resinas furano-epoxídicas y su procedimiento de obtención"** Certificado Nº 22355, 6 Diciembre de 1994, ICIDCA. Autores: Andrés Gómez Estévez, Jacquelín Castillo Gárciga, Arelys Rodríguez Padrón, Addis Bermello Crespo, Marisol Cabrera Arias, Maybis del Valle Almodovar. Clasificación Internacional: C08L 63/00; C08G 8/06.

EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR DE LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE NITROFURANTOINA Y FUROATO DE DILOXANIDA

ECONOMICAL EVALUATION OF NATIONAL PRODUCTION OF NITROFURANTOIN AND DILOXANIDE FUROATE

Autores: Dra. Gladys Blanco Carracedo (CI: 42060927717)
Ing. Maribel Herryman Munilla (CI: 46041600378)

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
Via Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel

Correo electrónico: gladysb@icidca.edu.cu
maribel@icidca.edu.cu

Resumen

La producción de medicamentos es un aspecto fundamental dentro de la estrategia de desarrollodel país. La nitrofurantoína y el furoato de diloxanida son medicamentes importantes que se utilizan ampliamente en medicina humana y veterinaria y se producen en el país empleando principios activos que se importan.

En el presente estudio económico se analiza la factibilidad de producir nacionalmente estos principios activos partiendo de los productos intermediarios. Se hace un análisis del mercado de las materias primas, de la situación actual de los productos finales y se estiman los costos preliminares de producción con la información tecnológica disponible. Los costos que se obtienen están por encima de los precios de importación, evidenciándose que es necesario optimizar los procesos, hacer la ingeniería de los mismos y efectuar una nueva evaluación económica más precisa cuyos resultados permitan decidir la conveniencia o no de la producción nacional de los productos analizados.

Palabras clave: furfural, fármacos furánicos, nitrofurantoína, furoato de diloxanida

Abstract

The production of pharmaceuticals is a major aspect in the development strategy of the country. Nitrofurantoin and Diloxanide furoate are important pharmaceuticals that are widely used in human and veterinarian medicine and are produced in our country using active substances that must be imported.

In this economical study, feasibility of domestic production of this active substances using the intermediate raw materials is analyzed, An analysis of the market of raw materials and of the present situation of final products in the country is done and an estimation of preliminary production costs, using the available technological information, is carried out. Results indicate that production costs are higher than import prices, evidencing that it is necessary to optimize the processes, do the engineering and carry out a second more accurate economical evaluation that will allow to decide the convenience or not of national production of the substances under analysis.

Key words: furfural, furanic pharmaceuticals, nitrofurantoin, diloxanide furoate

Introducción

La producción de medicamentos es un aspecto fundamental dentro de la estrategia de desarrollo del país por la importancia que estos productos tienen para una buena atención médica y en la salud de la población.

La Nitrofurantoína y el Furoato de diloxanida son medicamentos importantes, con una amplia utilización en el país en la medicina humana y veterinaria, que pueden obtenerse a partir del furfural y otros productos intermedios. Los mismos se producen nacionalmente utilizando como materias primas los respectivos principios activos que es necesario adquirir en el mercado internacional con el consiguiente gasto de divisas.

Desde hace años en el ICIDCA se investiga el desarrollo de técnicas que permitan obtener estos principios activos de forma económica. En el presente trabajo se realiza una investigación sobre aspectos económicos y de mercado de ambos productos que incluye un análisis de sus características fundamentales, usos, firmas productoras, una panorámica de la situación nacional que incluye las compras realizadas en los últimos años y los precios de adquisición, así como otros elementos económicos con el objetivo de ofrecer criterios sobre la posibilidad de producir estos principios activos en el país.

1. Aspectos generales

Del furfural pueden obtenerse medicamentos que tienen varias aplicaciones, tanto en medicina humana como veterinaria. Los fármacos nitrofuránicos son compuestos sólidos de color amarillo, muy poco solubles en agua y solubles en algunos solventes orgánicos como la dimetil formamida y el ácido acético. Entre éstos se encuentra la Nitrofurantoína. También existen otros productos derivados del ácido furoico que dan sólidos de color blanco, uno de los cuales es el Furoato de diloxania. Ambos son productos antibacterianos. La Tabla 1 muestra las características generales de estos fármacos. (Blanco y Herryman, 1991)

Tabla 1. Características generales de la nitrofurantoína y el furoato de diloxanida

Producto	Fórmula global	Peso molecular	Punto de fusión (^oC)
Nitrofurantoína	$C_6H_6N_4O_4$	198,15	240
Furoato de diloxanida	$C_8H_6N_4O_5$	238,16	268

Fuente: Manual de los derivados de la Caña de Azúcar. Tercera Edición. Pag. 169. ICIDCA 2000.

- **Nitrofurantoína**

Pertenece a la familia de los nitrofuranos y esta disponible en forma de cristales y macrocristales. El mecanismo de acción no se conoce exactamente, pero se sabe que inhibe la síntesis de ciertas enzimas bacterianas y su actividad es mayor en medio ácido. Su absorción es mayor en la forma cristalina y en presencia de alimentos. (Consulta Internet)

Se emplea, fundamentalmente, en infecciones urinarias bajas no complicadas y en la profilaxis de la infección urinaria recurrente. Se conoce con los siguientes nombres comerciales: Furadantín, Macrodantín, Furolán, Macrobid, Furadamina y Chemiofurán. (Blanco y Herryman 1991)

Sale al mercado en comprimidos de 50 y 100 mg y en cápsulas de Nitrofurantoína microcristalina de 75 mg. También aparece en pomadas y apósitos para uso tópico y en solución para lubricar sondas vesicales. (Consulta Internet)

- **Furoato de diloxanida**

Este medicamento (furoato de 4-fenil-w metil-α-dicloroacetamida) se emplea en disentería amebiana aguda, amebiasis crónica y otras infecciones debidas a endoameba histolítica, asi como en la amebiasis hepática asociada a otros medicamentos. Para la obtención del mismo se utiliza el cloruro de furoilo que, a su vez, se produce a partir del furfural. (Blanco y Herryman 1991)

Por las características de ambos medicamentos, los controles de calidad, requerimientos de envase y almacenamiento son muy rigurosos, debiendo cumplir las normas establecidas para los productos farmacéuticos.

Por lo general los fármacos obtenidos del furfural son de alto valor y, debido a sus propiedades curativas eficaces poseen una amplia demanda en el mercado internacional.

2. Antecedentes de investigaciones realizadas

Dado el amplio uso que han encontrado los derivados furánicos no poliméricos en la industria farmacéutica, desde 1985 en el ICIDCA se comenzaron los trabajos de investigación en este campo. A partir de esa fecha se han sintetizado diferentes principios activos para la preparación de distintos medicamentos de variadas aplicaciones en medicina humana y veterinaria, los que se han probado con resultados satisfactorios.

3. Problemática del mercado

La producción de los principios activos de estos medicamentos básicamente se lleva a cabo en países industrializados con un alto nivel de desarrollo de la industria química, ya que requiere del uso de gran cantidad y diversidad de productos químicos intermedios para las diferentes síntesis. Tiene como característica de que la mayor parte de los intermediarios no se comercializan en el mercado, sino que los fabrican los propios productores de los productos finales para su uso en los diferentes procesos, de ahí la dificultad de adquirirlos para los países que no pueden producirlos y, en caso de encontrar suministrador, generalmente, los precios son elevados. La Tabla 2 muestra algunas de las firmas identificadas como suministradoras.

Tabla 2. Firmas suministradoras

Producto	Firma	País
♦ Nitrofurantoína	Dolder	Suiza
	ETCO	Inglaterra
	Eurotrade	España
♦ Furoato de diloxanida	Delatrade	Alemania
	Eurotrade	España
	Andard Mount.	Inglaterra
	Hachemie	Alemania
	Cimmco	India
	M.W. Hardy	Inglaterra

Fuente: Blanco, G; Herryman, M. Producción de furazolidona y furoato de diloxanida en Cuba. Evaluación exploratoria. ICIDCA. 1991.
Roxana Rivero. FARMACUBA. 2003.

4. Situación nacional

En Cuba se fabrican Nitrofurantoína y Furoato de diloxanida como medicamentos utilizando los principios activos que se importan. Ninguno se ha comprado como producto terminado ya que no han existido dificultades en su producción nacional. La Nitrofurantoína principio activo se compra anhidra BP 2000 y el medicamento se produce en el Laboratorio Medsol (Julio Trigo) y el Furoato de diloxanida es USP 25 y se hace en el Laboratorio Reynaldo Gutiérrez. (FARMACUBA 2003)

Las cantidades importadas sus precios y los suministradores en los últimos años se muestran en las Tablas 3 y 4. Todas las compras son FOB menos la de Furoato de diloxanida del 2003 que es CPT.

Tabla 3. Compras de Nitrofurantoína (principio activo) 1996-2002

Año	Cantidad (kg)	Precio (USD/kg)	Suministrador	País
1996	300	18,15	Eurotrade	China
1997	150	16,80	Eurotrade/Dolder	Suiza
1997	150	16,10	Eurotrade/Dolder	Suiza
1998	150	14,00	Delatrade	China
1998	400	12,40	Delatrade	China
1999	400	10,45	Dolder/ETCO	Suiza/Inglaterra
2000	350	9,15	ETCO	Inglaterra
2001	300	11,90	Eurotrade	España
2001	325	8,53	Eurotrade	España
2002	375	11,89	-	-

Fuente: MEDICUBA 2001; Laboratorio 8 de Marzo 2002; FARMACUBA 2003

Las importaciones de Nitofurantoína principio activo de los últimos años han sido fluctuantes, entre 300 y 625 kg, probablemente dependiendo del marco disponible para las mismas. Los precios han variado en función de la compra y el suministrador pero se advierte una tendencia a disminuir con respecto a los niveles de 1996 y 1997. No fue posible obtener información sobre las compras del año 2003.

Tabla 4. Compras de Furoato de diloxanida (principio activo) 1996-2003

Año	Cantidad (kg)	Precio (USD/kg)	Suministrador	País
1996	100	23,38	Eurotrade	España
1997	100	26,79	Eurotrade	España
1998	-	-	-	-
1999	150	14,76	Delatrade	Alemania
1999	50	22,10	Eurotrade	España
2000	125	20,35	Eurotrade	España
2001	250	12,00	Delatrade	Alemania
2002	-	-	-	-
2003	300	15,10	Delatrade	Alemania

Fuente: FARMACUBA 2003.

Las compras de Furoato de diloxanida (principio activo) se han más que duplicado en el período analizado y los precios han disminuido considerablemente con respecto a los niveles de 1996 y 1997, quizás debido al incremento de los volúmenes importados. Esto ha favorecido la posibilidad de adquirir las cantidades necesarias con un menor gasto de divisas.

Ambos productos están vigentes en el mercado internacional y nacional y se continúan empleando en los usos a los que están destinados. En Cuba, se plantea el desarrollo de la industria farmacéutica como uno de los renglones importantes dentro del esquema global de desarrollo. Esto puede constituir una opción para la sustitución de importaciones y la creación de nuevos fondos exportables.

5. Materias primas y proceso tecnológico

- **Nitrofurantoína**

El proceso tecnológico para la fabricación de este fármaco nitrofuránico parte del 5 nitrofurfural diacetato que por hidrólisis pasa a 5 nitrofurfural, el cual al reaccionar con la acetosemicarbazona y otros productos químicos permite obtener la Nitrofurantoína. (Manual de los Derivados 2000). Las materias primas fundamentales que intervienen en el proceso y sus índices de consumo se dan en la Tabla 5.

Tabla 5. Materias primas para la Nitrofurantoína

Materias primas y productos químicos	Indices (kg/kg)
5 Nitrofurfural diacetato (98%)	1,45
Acetosemicarbazona (98%)	0,716
Monocloroacetato de etilo (99%)	0,77
Sodio metálico (puro)	0,30
Etanol A	2,07
Etanol absoluto	6,22
Ácido clorhídrico (37%)	1,098
Ácido acético (99,7%)	13,59

Fuente: Díaz de Arce, C y col. Informe parcial sobre el estudio para la producción industrial de Nitrofurantoína y Furoato de diloxanida. ICIDCA. Nov. 2002

- **Furoato de diloxanida**

Para la producción de este principio activo se parte del cloruro del ácido dicloroacético y del metol que mediante una reacción de condensación da la diloxanida. Esta última se hace reaccionar con el cloruro de furoílo en piridina seca y ditionato de sodio, obteniéndose el producto deseado. (Manual de los Derivados 2000). La Tabla 6 muestra las materias primas y los índices de consumo empleados en el proceso.

Tabla 6. Materias primas para el Furoato de diloxanida

Materias primas y productos químicos	Indices (kg/kg)
Metol	0,751
Carbonato de sodio	0,884
Benceno	0,965
Ácido dicloroacético	0,865
Cloruro de tionilo	1,294
Ácido furoico	0,542
Piridina	0,0491
Etanol	5 litros
Carbón activado	0,05

Fuente: Díaz de Arce, C y col. Informe parcial sobre el estudio para la producción industrial de Nitrofurantoína y Furoato de diloxanida. ICIDCA. Nov. 2002

Estos índices de consumo corresponden a experiencias que aún no se han optimizado ni se les ha hecho un estudio de ingeniería y no se ha tenido en cuenta la recuperación de solventes.

6. Factores que inciden en la factibilidad de producción

Mundialmente existen procesos para la producción de estos fármacos que están bien establecidos y que se caracterizan por tener una cierta complejidad y alta disciplina tecnológica, dado el uso final que tienen estos productos. El equipamiento necesario para estos procesos es el convencional de la industria farmacéutica, que es relativamente costoso por requerir equipos de acero inoxidable y de otros materiales especiales.

La mayor parte de los intermediarios necesarios en estas síntesis son de importación lo que hace que el costo en divisas de estos principios activos sea elevado. Además, como se expresó anteriormente, algunos no se comercializan pues los fabricantes los obtienen como parte de los procesos y de poder comprarlos son de difícil adquisición y tienen precios elevados. Este es un factor que no favorece la producción nacional de los productos que se analizan.

Un aspecto positivo es que para estas producciones no sería necesario realizar nuevas inversiones pues el MINSAP dispone de instalaciones que pueden ser utilizadas para estos fines. Un factor importante es determinar las cantidades que se necesitan, pues lo más conveniente sería producirlos en una instalación multipropósito para que los costos fijos tengan la menor incidencia posible en los costos finales de producción.

7. Aspectos económicos

Con los índices de consumo reportados de las experiencias realizadas se estimaron los costos de producción de ambos principios activos, que son preliminares dadas las características y nivel de precisión de los datos. Como no se dispone de información sobre los consumos energéticos y los cargos fijos de estas producciones, se toma el valor de operaciones de las experiencias llevadas a cabo en la Planta de Nuevitas en el 2001. (Díaz de Arce y col. 2001)

Para estimar el costo de producción del principio activo de la Nitrofurantoína se calculó primeramente el costo de los intermediarios 5 Nitrofurfural diacetato, Clorhidrato de semicarbacida y Acetato de semicarbazona con los índices de consumo de las experiencias de Nuevitas 2001 (Díaz de Arce y col. 2001), asumiendo que se fabrican en la propia planta como parte del proceso productivo. Estos costos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Costo de los intermediarios (por kg)

Elementos de costo	5 Nitrofurfural diacetato		Clor. de Semicarbacida		Ac. de Semicarbazona	
	Total	USD	Total	USD	Total	USD
Materias primas	2,8883	1,9892	4,1425	2,6928	6,4239	3,7337
Operaciones	2,2694	0,8714	1,5624	0,5804	0,8524	0,6764
Costo total	5,1577	2,8606	5,7049	3,2732	7,2763	4,4101

El costo de producción estimado de la Nitrofurantoína se muestra en la Tabla 8 y el del Furoato de diloxanida en la Tabla 9.

Tabla 8. Costo de la Nitrofurantoína (por kg)

Elementos de costo	Costo total (pesos)	Costo en divisas (USD)
5 Nitrofurfural diacetato (98%)	7,4787	4,1479
Acetato de semicarbazona (98%)	5,2098	3,1576
Monocloroacetato de etilo (99%)	1,5400	1,5400
Sodio metálico (puro)	0,5220	0,5220
Etanol A	0,7804	-
Etanol absoluto	4,7956	-
Ácido clorhídrico (37%)	0,1495	-
Ácido acético (99,7%)	13,7531	-
Subtotal de materiales	34,2291	14,0655
Subtotal de operaciones	3,6144	1,2604
Costo Total	37,8435	15,3259

Tabla 9. Costo del Furoato de diloxanida (por kg)

Elementos de costo	Costo total (pesos)	Costo en divisas (USD)
Metol	9,16	9,16
Carbonato de sodio	0,28	-
Benceno	0,41	0,41
Ácido dicloroacético	3,63	3,63
Cloruro de tionilo	7,76	7,76
Ácido furoico	4,17	4,17
Piridina	0,41	0,41
Etanol	1,54	-
Carbón activado	0,14	0,14
Subtotal de materiales	27,50	25,68
Subtotal de operaciones	3,61	1,26
Costo total	31,11	26,94

Los precios de los productos químicos para estos estimados de costo se tomaron de la Lista Oficial del MINAZ para el 2003, el Chemical Market Report, El Aldrich Handbook y los recibidos en una oferta de la firma Smruthi Organics Ltd. Solapur de la India.

Si se comparan los costos de producción con los precios de importación se advierte que son muy superiores. La Nitrofurantoína se importó en el 2002 a un precio de 11,89 USD/kg FOB, que en términos CIF son unos 13,70 USD/kg, muy por debajo del costo de 37,84 pesos/kg e incluso del costo en divisas que es de 15,33 USD/kg y representa el 40,5% del costo total.

Para el Furoato de diloxanida, el precio del producto importado en el 2003 es de 15,10 USD/kg FOB, que en términos CIF equivale a unos 17,36 USD/kg, también muy por debajo del costo estimado de 31,11 pesos/kg y del componente en divisas de 26,94 USD/kg. En este caso el componente externo es el 86,6% del mismo.

8. Conclusiones y recomendaciones

- **Los procesos de producción de los principios activos analizados requieren de una alta disciplina tecnológica dado el destino de los productos finales, constan de varios pasos de síntesis, lo que les confiere cierta complejidad y en los mismos intervienen intermediarios químicos, algunos de los cuales no son de habitual comercialización en el mercado, son de difícil adquisición y hay que comprarlos a precios elevados que encarecen los costos en el proceso productivo, los que son factores que pueden limitar o entorpecer su producción en el país.**

- **La evaluación económica preliminar realizada evidenció que los costos de fabricación de los principios activos con los índices de consumo de las experiencias desarrolladas en el ICIDCA, son mucho más altos que los precios de los productos de importación, por lo que no resulta competitiva. También los componentes en divisa en ambos casos son elevados, más altos que los precios de importación de los productos.**

- **Estos altos costos de fabricación están afectados por no tener en cuenta la recuperación de los solventes ni optimizado los procesos y porque éstos carecen de una solución de ingeniería que permita alcanzar una mayor eficiencia productiva. No se deben considerar como definitivos.**

- **Es necesario hacer la ingeniería de estos procesos, optimizarlos y hacer las experiencias nuevamente para disponer de una información tecnológica más real y poder realizar una evaluación económica más representativa y precisa que permita ofrecer criterios para la toma de decisiones.**

- **Es necesario realizar un estudio serio de suministro de las materias primas y productos químicos que intervienen en estas producciones que permita identificar las posibilidades reales de adquisición de las mismas, los precios de compra y la garantía de las entregas según las necesidades del país.**

9. Bibliografía

- **Aldrich. Handbook of fine chemicals and laboratory equipment. 2003 – 2004**
- **Blanco, G; Herryman, M. Producción de Furazolidona y Furoato de diloxanida en Cuba. Evaluación exploratoria. ICIDCA. 1991**
- **Chemical Market Report. Diciembre 2002**
- **Díaz de Arce, C. y col. Fármacos furánicos. Actualización. XIV Forum de Ciencia y Técnica. ICIDCA. 2001**
- **Díaz de Arce y col. Informe parcial sobre el estudio para la producción industrial de Nitrofurantoína y Furoato de Diloxanida. ICIDCA. 2002**
- **FARMACUBA. Comunicación personal con la Lic. Roxana Rivero**
- **Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. Tercera Edición. Pag. 169-172. ICIDCA. 2000**
- **MINAZ. Lista Oficial de Precios. 2003-11-19**
- **Nitrofurantoína. Consulta INTERNET. 18 enero 2002. (3 artículos)**
- **Smruthi Organics Ltd. Solapur. Ofertas de precios de Metol, Ácido Furoico y Cloruro de furoílo. INTERNET. 2003**

PURIFICACIÓN DE CALDOS FERMENTADOS RICOS EN XILITOL CON MEMBRANAS.

PURIFICATION OF FERMENTED BROTH REACH IN XYLITOL WITH MEMBRANES.

Ana Irene Nápoles Solenzal *; Ernesto Acosta Martínez *; Luis Fernando Figueiredo Faria **, Ana Luisa Bothello Ferreira **.
*** Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Cuba.**

**** Faculdad de Ingenieria Química de Lorena, Departamento de Química y de Biotecnologia. Brazil.**
E-mail: anaire@icidca.edu.cu

Resumen.

La recuperación de xilitol obtenido por via fermentativa no ha sido muy abordado en la literatura, depende, de la pureza del hidrolizado lignocelulósico a utilizar como fuente de carbono porque implica mayores rendimientos produto/substrato lo que facilita el proceso de purificación de xilitol.

Los caldos fermentados contienen células, fragmentos de estas, y otros ingredientes del médio de cultivo, substratos residual, subprodutos de la fermentación..

Las operaciones de separación y purificación representan entre 50 y 70% del costo total del proceso.

El objetivo del trabajo fue desearrollar una metodologia para la separación de la biomasa y purificación del caldo fermentado.

Se realizo la separación de la biomasa por proceso de centrifugación, el caldo fue purificado usando membranas de micro y ultrafiltración.

Se utilizaron caldos fermentados obtenidos en los laboratórios del Grupo de Procesos Fermentativos de DEBIQ, la purificación de los hidrolizados fue realizada por método convencional, usando carbón activo.

Se realizaron cuatro ensayos con membranas de micro filtración y ultrafiltración, según : MF y las Serie I (MF, UF_1 (100kda) y UF_2 (20 kda) , Serie 2 (UF_1), Serie 3 (UF_2).

Las membranas proporcionaron altas remociones de compuestos coloreados, las de MF decoloraron hasta un 66,44% mientras que la SERIE I 70,53% las de UF_1 un 70,98% y de UF_2 72,92%. Por lo que se decidio tomar para continuar trabajando las membranas de MF, debido fundamentalmente a su menor costo.

Palabras claves: separación, purificación, xilitol, membranas.

Abstract.

The xilitol recovering obtained by fermentative way has not been registered in literature. It depends on the lignocelulosic hydrolysed purity to be used as carbon source because it implies higher yields what facilitates the xilitol purification process.

The objective of the present work was to develop a methodology for the biomass separation and purification of fermented broth.

The biomass separation was carried out by centrifugation. The broth was purified using micro and ultrafiltration membranes.

To achieve these trials fermented broths were used obtained in Group of Fermentative processes Laboratories of DEBIQ (FAENQUIL).

The purification of the hydrolyzed products was realized by conventional method using active carbon.

Four trials were realised with micro and ultrafiltration membranes according to MF and the Serie I : MF, UF_1 (100 kda), and UF_2 (20kda) ; Serie II (UF_1) ; Serie III (UF_2).

The membranes gave high remotions of coloured compounds. The membranes of MF decolored up to 66,44% whereas SerieI up to 70,53%, those UF_1 70,98% and UF_2 72,92%. For this reason it was decided to use the membrane MF to continue the work due to it lower cost.

Key words: separation, purification, xilytol and membranes.

PURIFICACIÓN DE CALDOS FERMENTADOS RICOS EN XILITOL CON MEMBRANAS.

Ana Irene Nápoles Solenzal *; Ernesto Acosta Martínez *; Luis Fernando Figueiredo Faria **, Ana Luisa Bothello Ferreira **.

*** Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Cuba.**

**** Faculdad de Ingenieria Química de Lorena, Departamento de Química y de Biotecnologia. Brazil.**
E-mail: anaire@icidca.edu.cu

Introducción.

Una de las etapas mas complejas en los procesos biotecnológicos industriales es la recuperación del producto de interes. Las operaciones de separación y purificación representan entre 50 y 70% del costo total del proceso (Martinez y Aracil, 1991).

El problema básico que confrontan los tecnólogos, por la complejidad de la mezcla donde está presente en bajas concentración el producto de interes, es la recuperación de este. Los caldos fermentados (material de partida del proceso) contiene células, fragmentos de estas, y otros ingredientes del médio de cultivo, substratos residual, subprodutos de la fermentación y del producto a purificar (Belter, 1979).

El establecimiento de un proceso para la separación de un producto debe tener en consideración: el valor y calidad del producto final, donde va a ser utilizado, propiedades físico-químicas, impurezas y comparación de varias alternativas de purificación (Belter, 1979).

Existen algunas similitudes en la secuencia de los procesos de purificación. En general, estos pueden dividirse en las siguientes etapas:

- **Separación sólido-líquido (filtración, centrifugación y decantación)**
- **Separación del producto (adsorción física y/o intercambio iónico, extracción con solvente, precipitación, microfiltración y ultrafiltración).**

Convencionalmente la filtración se define como la separación de partículas sólidas en una corriente líquida o gaseosa. Con el uso de membranas este concepto se extiende para la separación de solutos disueltos en disolución. De acuerdo a la selectividad del filtro un determinado proceso puede ser esquematizado de forma que el producto de interes se encuentre en el filtrado o sea retenido (Scott, 1991; Nápoles y col. 1999).

Existen dos tipos de procesos de membranas, los cuales son muy usados en la purificación de proteínas en gran escala: microfiltración y ultrafiltración. E primero está relacionado con partículas de tamaño entre 0,05 uμ y 0,2 uμ, el segundo con partículas o moléculas de tamaño entre 0,2 uμ y 200 nμ (Scott,1991).

Varios factores afectan la habilidad que poseen las membranas en retener las moléculas (Scott, 1991) tales como el tamaño y la forma de las moléculas, tipo y configuración del material de las membranas, presencia de otros solutos y adsorción del soluto por estas.

Una de las variables mas importante en esta técnica de separación es el flujo del filtrado definido como velocidad de transporte a través de la membrana en unidad de masa o volumen por área de filtrado por tiempo.

La recuperación de xilitol obtenido por via fermentativa no ha sido muy abordado en la literatura, depende, de la pureza del hidrolizado lignocelulósico a ser utilizado como fuente de carbono porque implica mayores rendimientos produto/substrato lo que facilita el proceso de purificación de xilitol.

Materiales y métodos.

Se utilizaron caldos fermentados obtenidos en los laboratórios del Grupo de Procesos Fermentativos de DEBIQ, la purificación de los hidrolizados fue realizada por método convencional, usando carbón activo.

Se realizaron cuatro ensayos con membranas de micro filtración y ultrafiltración, según : MF y las Serie I (MF, UF_1 (100kda) y UF_2 (20 kda) , Serie 2 (UF_1), Serie 3 (UF_2).

La determinación de los azúcares xilosa, arabinosa , glucosa y xilitol se realizaron en un equipo de cromatografía liquida de alta resolución (HPLC) equipo Shimadsu, utilizando columna Bio-rad Aminex HPX-87H (300 x 78 mm) y detector de índice de refracción UV. Para el análisis de furfural e hidroximetilfurfural se utilizó una columna Hewlett-packard RP-8 (200mm) y detector SPD-0A UV/visible.

Los fenoles se determinaron mediante un espectrofotómetro Beckman 640B, según método descrito por Kim, Yoo (I996)

Los metales, hierro, magnesio, calcio, potasio, etc. se determinó en un Espectrómetro de Emisión con plasma acoplado por inducción (ICP) SPECTRO, Analytical Instrument.

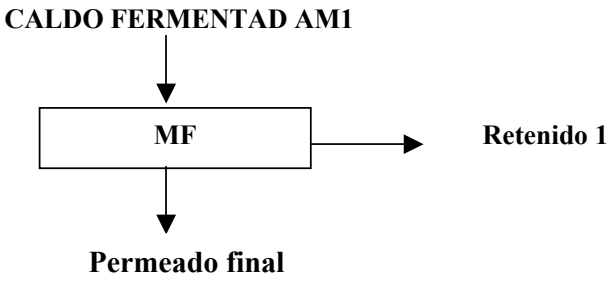
El Color se determinó por espectrometría según método ICUMSA (Métodos Analíticos Productos Refinados, 1995).

La determinación de proteínas, se realizó por la técnica del ensayo espectrofotométrico para proteínas (Lowry, 1951).

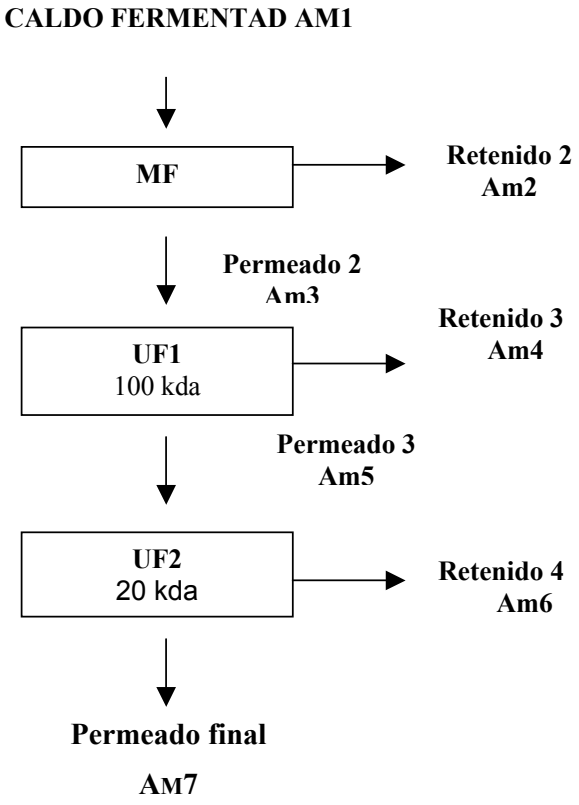
Parte experimental.

Se realizo el estudio de separación-purificación del caldo fermentado a nivel de laboratorio, la biomasa fue separada del caldo por centrifugación, el caldo libre de celulas fue purificado a través de membranas de micro y ultrafiltración según se muestra a continuación.

Serie I



Serie 2



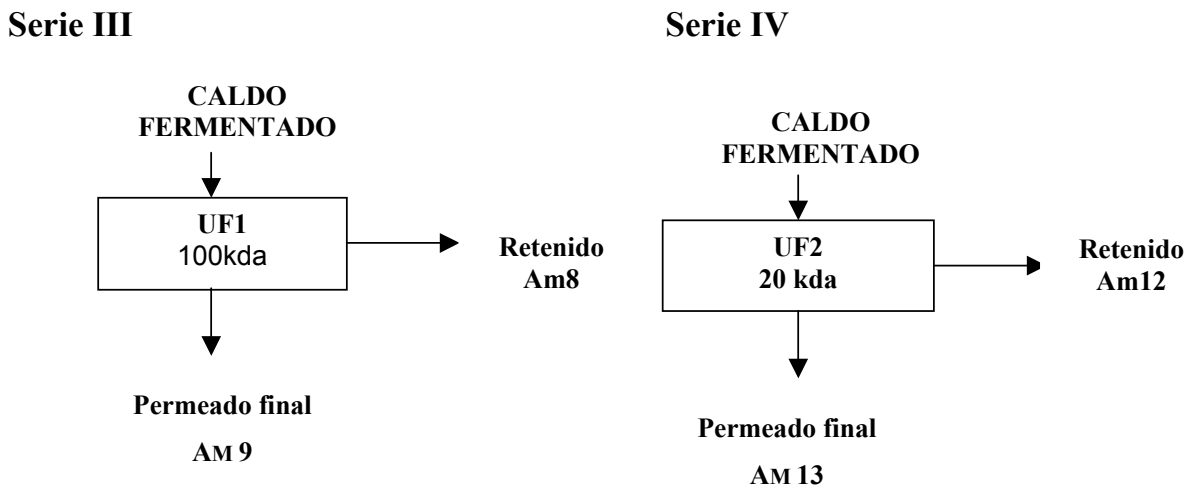


Figura 1. Proceso de purificación del caldo fermentado.

Para realizar los experimentos fueron utilizados caldos fermentados obtenidos por el grupo de Procesos Fermentativos de DEBIQ , la purificación de los hidrolizados hemicelulósicos de bagazo se realizo por este grupo según método tradicinal usando carbón activo. Las características se muestran en la Tabla 1.

TABLA 9. Características del caldo fermentado(A_{m1}).

PH	6,15
Condutividad nµ	72
Brix	8,5
Xilosa (g/L)	1,24
Arabinosa (g/L)	3,0
Xilitol (g/L)	36,05
Furfural (g/L)	0
HMF (g/L)	0
Fenóles totales (mg/L)	5,80
Acido acético (g/L)	0,14
Color ICUMSA	231 067
Hierro (mg/L)	0
Níquel (mg/L)	28
Cromo (mg/L)	0,29
Magnésio (mg/L)	16,81
Manganeso (mg/L)	0
Cálcio (mg/L)	57,48
Sódio (mg/L)	2,53

Análisis de resultados.

La Tabla 2 muestra los porcientos de remoción obtenidos en los tratamientos de purificación utilizando membranas.

TABLA 2. Porcentage de remoción obtenidos en la purificación del caldo fermentado utilizando membranas.

Compuestos /% remoción	Serie I	Serie II	Serie III	Serie IV
Fenoles	2,76	14,48	21,27	14,83
Ácido acético	7,14	100	57,14	57,14
Color ICUMSA	66,44	70,53	70,98	72,92
Níquel	0	61,25	24,50	61,89
Cromo	100	100	100	100
Magnésio	14,40	48,94	14,48	48,96
Cálcio	1,03	53,18	24,36	52,32
Sódio	5,93	49,13	30,04	54,55

Como se puede observar de la Tabla 2 las membranas proporcionan altas remociones de compuestos coloreados, las mambranas de MF logran decolorar hasta 66%, mientras las de Serie III, (UF_1) 71% al igual que la Serie II, y la Serie IV logro un 72% , por lo que podemos escoger para continuar nuestro estudio de purificación la de MF, pues debido fundamentalmente a su costo que es menor.

Conclusiones.

- **Las membranas proporcionan altas remociones de compuestos coloreados y promotores de color, las mambranas de microfiltración lograron decolorar hasta 66% mientras que las combinaciones de estas con membranas de ultrafiltración lograron hasta un 72%.**
- **Es posible disminuir compuestos inhibidores como el ácido acetico, y metales.**

Bibliografía.

- **BELTER, P.A. General procedure for isolation of fermentation products. P.403-431 en: *Microbial Technology*, second edition, v. II, Academic Press, (1979).**
- **MARTÍNEZ, M., ARACIL, J. Introducción a los métodos de purificación de bioproductos. *Industria farmacéutica*. Enero - febrero, (1991).**
- **NÁPOLES SOLENZAL, A.I., GONZÁLEZ BUENO M., MANGANELLY SANTANA E., "Purificación de licores de xilosa a través de membranas" *III Taller Internacional de Biotecnología de la Universidad de Matanzas*, Matanzas, Cuba (1999),**
- **NARANJO, M., E., BARQUINERO, E., NÁPOLES, A.I, CEPERO, I., Purificación de Hidrolizados Hemicelulósicos de Bagazo de caña de azúcar mediante corriente de Ozono. . *Memorias Diversificación 2002*, V.II, p.321-324, 2002**
- **SCOTT, M. Protein Purification: Design and scale up to downstream processing. *Oxford University Press*, New York, p. 99- 126, (1991).**
-

OPTIMIZACION DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE HIDROLIZADOS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR POR MÉTODO ESTADÍSTICO

OPTIMIZATION OF THE TREATMENT PROCESS OF SUGAR CANE BAGASSE HYDROLYSATE BY STATISTICAL METHOD

Mabel Viñals Verde[1], João Batista de Almeida e Silva[2], Ana Irene Nápoles Solenzar[1], Ismael Maciel de Mancilla[2,3].

[1] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Cuba
[2] Facultad de Ingeniería Química de Lorena (FAENQUIL). SP. Brasil
[3] Departamento de Tecnología de Alimentos – Viçosa. MG.Brasil
mabel@icidca.edu.cu

Resumen

El tratamiento del hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar para la producción biotecnológica de xilitol usando resinas de intercambio iónico es un método promisorio por ser el más eficiente en la remoción de los inhibidores del metabolismo microbiano y disminución del color de los hidrolizados que repercute en incremento pronunciado del rendimiento y la productividad del proceso fermentativo. En estudios anteriores se determinó la metodología para el tratamiento de los hidrolizados, usando cuatro resinas, que consistió en la neutralización con la resina A-103S y purificación con las resinas A-860S, A-500, C-150 y A-103S. El objetivo del trabajo es optimizar el proceso de tratamiento, minimizando la cantidad de resinas a utilizar. Con este propósito se determinaron las remociones de los inhibidores para cada etapa de cinco tratamientos de purificación y después se analizó estadísticamente utilizando el software STATGRAPHICS plus 5.0. El análisis de varianza de los resultados relacionados a la remoción de ácido acético, compuestos fenólicos y el color del hidrolizado por las resinas mostró que existen diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre estos. Los resultados determinaron que es factible realizar el tratamiento usando tres resinas de intercambio iónico, siendo estas las resinas A-103S, A-860S y C-150.

Abstract

Treatment of sugar cane bagasse hydrolysate for biotechnological production of xylitol using ion exchange resins is a provisory method because is the most efficient in the removal of the inhibitors of microbial metabolism and decreasing of the hydrolysate color that result in pronounced increase in the yield and productivity of fermentative process. In previous studies was determinated the methodology for the treatment of the hydrolysates, using four ion-exchange resins, a neutralization stage with a A-103S resins and the purification with the A-860S, A-500, C-150 and A-103S resins. The objective of this paper is to optimize the treatment process, minimizing the quantity of resins to use. For this purpose was determinated the removal of the inhibitors by each stage of the five treatments of purification and after was analyzed statistically using the software STATGRAPHICS plus 5.0. The statistical analysis of the results concerning to the removal of acetic acid, phenolic compounds and color of hydrolysate by the resins showed that there is significant difference ($P \leq 0,05$) among these. The results determinated that is feasible carry out the treatment using three ion-exchange resins, A-103S, A-860S and C-150 resins.

Palabras claves: xilitol, hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar, resinas de intercambio iónico, optimización.

Key words: xylitol, sugar cane bagasse hydrolysate, ion-exchange resins, optimization.

Introducción

El intercambio iónico es una técnica ampliamente utilizada para el tratamiento de hidrolizados hemicelulósicos con vistas a obtener productos de alto valor agregado como la xilosa y el xilitol; tanto por vía química (*Nápoles, 2000*), por la que son producidos a escala industrial, como por vía biotecnológica (*Martínez, 2002*), que es una alternativa atractiva y promisoria.

Con este tratamiento es posible remover eficientemente las impurezas del hidrolizado y además se logra una alta clarificación. Las impurezas ácidas presentes en el hidrolizado, principalmente el ácido mineral usado en la hidrólisis, pueden ser removidos por resinas aniónicas débiles, debido a que los iones Cl^- y SO_4^{2-} son intercambiados por los iones OH^- de la solución, obteniéndose un hidrolizado neutralizado. De esta forma, también son intercambiados otros aniones orgánicos presentes en la solución y removidos algunos compuestos coloreados, silicatos, taninos, ácidos orgánicos y cenizas. Las resinas cationicas remueven impurezas nitrogenadas complejas, cenizas y los compuestos coloreados (*Nápoles, 1998; Parajó,, 1998).*

En estudios recientes se reportaron altos valores de remoción de impurezas de hidrolizados lignocelulosicos tratados con resinas de intercambio iónico para la obtención de Xilitol por vía fermentativa. *Nápoles (1998)* reportó valores de remoción de 92,5 % de ácido acético, 98,8 % de compuestos fenólicos, 99 % de color y *Deler (2000)* detectó remociones de 99,1 % de ácido acético, 99 % de compuestos fenólicos, 97,7 % de color. En todos los casos anteriormente mencionados se utilizaron cuatro resinas de intercambio iónico en el proceso de purificación.

La alta remoción de impurezas repercutió en el aumento de los parámetros fermentativos. *Canilha (2000)* con hidrolizados hemicelulósicos de eucalipto y *Viñals (2002)* con hidrolizados de bagazo de caña de azúcar observaron aumentos significativos en el rendimiento y la productividad del proceso fermentativo para la obtención de xilitol por la levadura *Candida guilliermondii* FTI 20037 comparados con hidrolizados tratados con carbón activado.

El objetivo de este trabajo consiste en optimizar el proceso de tratamiento del hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar por intercambio iónico de forma estadística.

Materiales y Métodos

1. Obtención y tratamiento del hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar.

- La hidrólisis ácida fue realizada en reactor de acero inoxidable de 250 L de capacidad, operando en sistema discontinuo a 120ºC por 20 minutos y usando ácido sulfúrico 0,07 N con relación sólido:líquido de 10:1.
- El hidrolizado obtenido se neutralizó usando la resina A-103S en la forma OH^-.
- Posteriormente el hidrolizado fue concentrado tres veces en evaporador a vacío de columna de 4 L de capacidad a 70 ± 2ºC.
- El hidrolizado concentrado se dividió en cinco fracciones que fueron purificadas pasando por cuatro resinas en serie.

A	B	C	D	E
A-860S	**A-860S**	**A-860S**	**A-860S**	**A-860S**
A-500	**A-510**	**A-500**	**A-510**	**A-500**
C-155S	**C-150**	**C-150**	**C-155S**	**C-155S**
A-103S	**A-39RAD**	**A-103S**	**A-103S**	**A-39RAD**

Figura 1. Esquema del tratamiento de purificación del hidrolizado de bagazo de caña de azúcar.

2. Métodos analíticos

- La concentración de los azúcares (xilosa, arabinosa y glucosa) y del ácido acético fue realizada por HPLC en equipo Waters 410 (USA) con detector IR y columna HPX-87H; a 45ºC, fase móvil ácido sulfúrico 0,01 N, flujo 0,6 mL/min y volumen de 20 µL de muestra.
- La concentración de furfural e hidroximetil furfural (HMF) se determinó en HPLC con equipo Waters 2487 (USA), detector UV y columna 5µ spherical C18; a 25ºC, fase movil acetonitrila/agua (1:8) con 1% de ácido acético, 0,8 mL/min y 20µL de volumen de muestra.
- La determinación de los compuestos fenólicos se realizó por método colorimétrico descrito por *Kim (1996)* en Espectrofotómetro BECKMAN DU 640B a 700 nm con solución patrón de vanilina.
- El color se determinó por el método ICUMSA ajustado para el bagazo de caña de azúcar por *Nápoles (1998)* usando el Espectrofotómetro BECKMAN DU 640B (USA) a 420 nm.

3. Análisis de los resultados

Los resultados fueron analizados estadísticamente por análisis de varianza unifactorial y se utilizó la prueba de rangos múltiples para determinarlas diferencias significativas entre las medias.

El proceso de purificación consistió en el empleo de 5 secuencias (A, B, C, D, E) de cuatro resinas de intercambio iónico, cada uno, según se encuentra esquematizado en la Figura 1. Se consideró cada etapa o resina como un tratamiento, por lo que se consideraron para el análisis estadístico, 12 tratamientos (T1, T2, T3, …, T12). Los experimentos fueron realizados con dos repeticiones.

Secuencia A	Secuencia B	Secuencia C	Secuencia D	Secuencia E
T1	T1	T1	T1	T1
T2	T3	T2	T3	T2
T4	T5	T6	T7	T4
T8	T9	T10	T11	T12

Para el análisis estadístico se utilizó el software Statgraphics plus 5.0 considerando como variables de respuesta las remociones de las impurezas ácido acético, furfural y de los compuestos que aportan color al hidrolizado por cada tratamiento.

Resultados y discusión

La Tabla 1 muestra las características del hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar obtenido de la hidrólisis ácida.

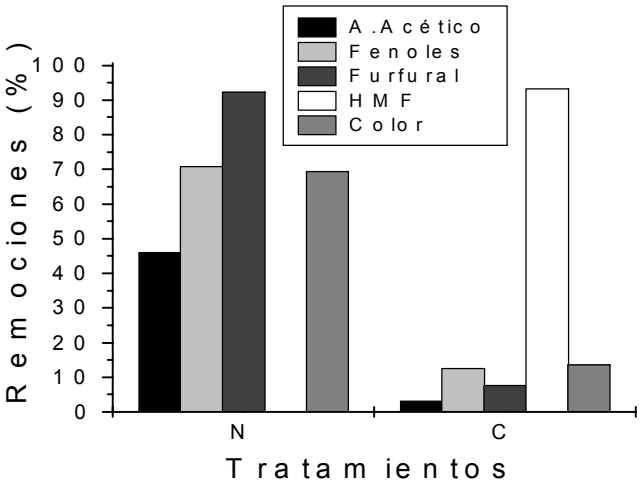
Tabla I. Características del hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar.

Xilosa (g/L)	13,97
Glucosa (g/L)	0,39
Arabinosa (g/L)	1,12
Ácido acético (g/L)	1,91
Furfural (mg/L)	27,5
HMF (mg/L)	3,7
Compuestos fenólicos (g/L)	1,02
Color ICUMSA	23346
Sólidos solubles (ºBrix)	3,6
pH	1,07

Con vistas a minimizar o eliminar las impurezas del hidrolizado que en este caso son el ácido acético, furfural, HMF, los compuestos fenólicos y los compuestos coloreados, este es sometido a un tratamiento que consta de tres etapas: neutralización, para elevar el pH del hidrolizado a 5,50; concentración, para aumentar la concentración de los azúcares en tres veces y eliminar las impurezas volátiles y purificación para reducir al máximo posible las concentraciones de las impurezas presentes en el hidrolizado, según Viñals (2001).

La figura 2 muestra el promedio de las remociones en las dos primeras etapas del tratamiento que son neutralización y concentración. En el proceso de neutralización se observa una alta remoción de ácido acético (46 %), compuestos fenólicos (70,7 %) y compuestos coloreados (67,6 %) debido a ser estos compuestos ionizables que participan del intercambio iónico con la resina anionica débil A-103S. El furfural, compuesto neutro, debe ser removido por retención en los poros de la matriz obteniéndose una alta remoción de 92,4 %. No se observó remoción del HMF.

Los hidrolizados neutralizados fueron concentrados observando en este tratamiento volatilización parcial de algunos compuestos. Se detectó alta remoción del HMF y furfural, donde el furfural fue totalmente eliminado y el HMF en un 93,2 %. La remoción del ácido acético fue baja debido a que el hidrolizado fue concentrado a pH entre 5,00 y 5,50 y este compuestos se encuentra principalmente en su



forma disociada (pKa 4,75); esta observación fue constatada también por *Rodrigues (2001)*. Los compuestos fenólicos y el color fueron removidos en un 16,8 % y 17,2 %, respectivamente; esto puede ser debido a la generación de un precipitado fino o a su volatilización.

Figura 2. Remoción de ácido acético, furfural, HMF, compuestos fenólicos y del color las etapas de neutralización y concentración y porcentaje de impurezas que llega al proceso de purificación.

En las primeras dos etapas del tratamiento son removidos del hidrolizado aproximadamente la mitad de ácido acético (49 %), 83,2 % de fenoles, 81,1 % del color, 93,2 % del HMF y 100 % del furfural. Para el análisis de la fase de purificación, debido a que más de 90 % del HMF y 100 % del furfural fueron removidos en las etapas anteriores, no se considerarán estos compuestos para la optimización del proceso.

Como se observa en la Figura 3, el hidrolizado que va a ser sometido al proceso de purificación presenta en su composición, el 51 % de ácido acético; el 16,8 % de los compuestos fenólicos y el 18,9 % del color que poseía el hidrolizado inicial.

En el proceso de purificación se analizaron cinco secuencias de cuatro resinas cada una (Figura 1), para determinar entre ellas la mejor secuencia y optimizarla. Para esto se consideró cada resina como un tratamiento (T1,..., T12).

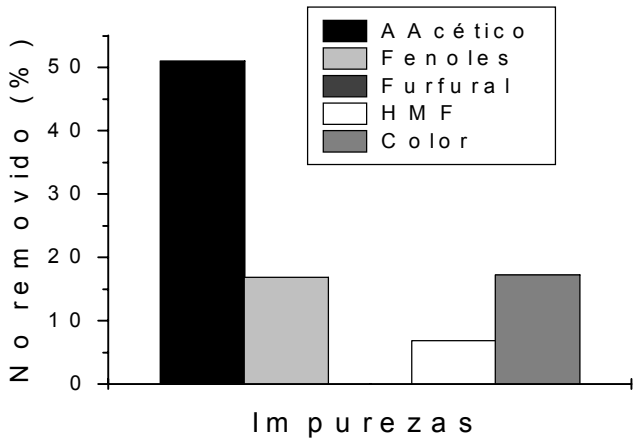


Figura 3. Porcentaje de las impurezas ácido acético, compuestos fenólicos, furfural, HMF y del color que no se removió en las primeras 2 etapas del tratamiento del hidrolizado.

Los tratamientos estudiados, se evaluaron estadísticamente por análisis de varianza (ANOVA), revelando que existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las remociones de ácido acético, compuestos fenólicos y color (Tabla II, III, IV).

Tabla II. Análisis de varianza de la remoción de ácido acético por tratamiento.

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	F-promedio	p-valor
Entre grupos	5052,81	11	459,34	314,67	0,0000*
Dentro grupos	17,5173	12	1,459		
Total (corr.)	5070,32	23			

Tabla III. Análisis de varianza de la remoción de compuestos fenólicos por tratamiento.

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	F-promedio	p-valor
Entre grupos	238,31	11	21,66	13,58	0,0000*
Dentro grupos	19,14	12	1,59		
Total (corr.)	257,45	23			

Tabla IV. Análisis de varianza de la remoción del color por tratamiento.

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	F-promedio	p-valor
Entre grupos	247,73	11	22,52	18,90	0,0000*
Dentro grupos	14,29	12	1,19		
Total (corr.)	262,03	23			

*significativo a nivel de 5 % de probabilidad.

Para determinar las diferencias entre las medias de estos tratamientos se utilizó la Prueba de series múltiples (Tabla V). El análisis de la remoción de ácido acético por los tratamientos mostró que los mejores tratamientos fueron: en primer lugar T9, T10 y T11 (33,7%; 32,9%; 33,9%), en segundo lugar T8 y T12 (30,1%); estos tratamientos correspondiendo a la etapa final de la secuencia de purificación

donde son utilizadas resinas anionicas débiles A-103S y A-39RAD, en tercer lugar se encuentra el tratamiento T1, que corresponde a la resina anionica fuerte A-860S (primera etapa del tratamiento de purificación), también con alta contribución a la remoción de este compuesto con 14,7 %. Los mejores tratamientos en la remoción de los compuestos fenólicos también fueron T8, T9, T10, T11 y T12 removiendo entre el 7,8 y 8,5 % de los fenoles que corresponde aproximadamente al 48,2 % del fenol que entró en la etapa de purificación. Los mejores tratamientos en la remoción de color fueron T4, T5, T6 y T7 con 9,1 %, 9,05 %, 9,6 % y 9,55%, respectivamente. En todos los casos los mejores medias de los tratamientos fueron significativamente diferentes a los otros tratamientos con un 95% de confianza. Después del análisis de la prueba estadística, podemos determinar que los tratamientos de menor influencia en la remoción de impurezas en el hidrolizado son: T2 y T3 que representan las resinas A-500 y A-510; con remociones de 0,96 y 2,0 % de ácido acético, 2,28 y 1,41 % de compuestos fenólicos y 5,36 y 5,0 % de color del hidrolizado, respectivamente.

Tabla V. Comparación de las medias de la remoción de impurezas en los tratamientos estudiados por la Prueba de series múltiples.

Ácido acético							**Compuestos fenólicos**			**Color ICUMSA**					
	Media	G.H.						Media	G.H.		Media	G.H.			
T7	0,34					**E**	T6	1,25	**B**	T1	1,62				**D**
T5	0,61					**E**	T4	1,30	**B**	T10	1,85				**D**
T2	0,96					**E**	T3	1,41	**B**	T8	1,89				**D**
T3	2,00					**E**	T5	1,58	**B**	T11	2,33				**D**
T6	2,35					**E**	T7	1,95	**B**	T12	2,48				**D**
T4	5,23				**D**		T2	2,28	**B**	T9	2,93			**C**	**D**
T1	14,7			**C**			T1	3,18	**B**	T3	5,00		**B**	**C**	
T12	30,1		**B**				T10	7,81	**A**	T2	5,36		**B**		
T8	30,1		**B**				T8	7,99	**A**	T5	9,05	**A**			
T10	32,9	**A**					T11	8,16	**A**	T4	9,1	**A**			
T9	33,7	**A**					T12	8,22	**A**	T7	9,55	**A**			
T11	33,9	**A**					T9	8,59	**A**	T6	9,6	**A**			

Las medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí a un nivel de 5 % de probabilidad por la prueba de series múltiples
G.H. grupos homogéneos

Con vistas a reducir las secuencias de tratamiento a estudiar determinamos utilizar las secuencias de mayores remociones de ácido acético que son los tratamientos T9, T10 y T11. Por lo que las secuencias a estudiar son B (A-860S, C-150, A-39RAD), C (A-860S, C-150, A-103S) y D (A-860S, C-155S, A-103S), excluyendo las resinas A-500 y A510, de menor influencia en el proceso de purificación.

La tabla VI muestra los promedios de remoción del ácido acético, compuestos fenólicos y color por las secuencias originales y las optimizadas. Los resultados fueron analizados estadísticamente detectándose que no existen diferencias significativas en cuanto a la remoción de compuestos fenólicos con un 5 % de probabilidad (Tabla VIII). Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la remoción del color (Tabla IX) y en cuanto a la remoción de ácido acético con 10 % de probabilidad (Tabla VII).

Tabla VI. Remoción de las impurezas de estudio por las secuencias de resinas B, C y D y las optimizadas B´, C´ y D´.

	B	**B´**	**C**	**C´**	**D**	**D´**
Ácido acético	50,95	48,99	51	50,04	50,95	48,97
Compuestos fenólicos	14,77	13,36	14,53	12,25	13,21	11,8
Color ICUMSA	18,64	13,64	18,46	13,10	18,54	13,53

Tabla VII. Análisis de varianza de la remoción de ácido acético.

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	F-promedio	p-valor
Entre grupos	9,411	5	1,882	4,28	0,0528**
Dentro grupos	2,642	6	0,440		
Total (corr.)	12,053	11			

Tabla VIII. Análisis de varianza de la remoción de compuestos fenólicos.

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	F-promedio	p-valor
Entre grupos	14,077	5	2,815	1,45	0,3280
Dentro grupos	11,618	6	1,936		
Total (corr.)	25,694	11			

Tabla IX. Análisis de varianza de la remoción del color.

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	F-promedio	p-valor
Entre grupos	79,099	5	15,82	6,94	0,0177*
Dentro grupos	13,682	6	2,280		
Total (corr.)	92,782	11			

*significativo a nivel de 5 % de probabilidad.
***significativo a nivel de 10 % de probabilidad.

Posteriormente fue aplicada la prueba de series múltiples para determinar las diferencias entre los tratamientos (Tabla X), mediante el cual se detectó que los tratamientos B, C, D son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) a los tratamientos optimizados B´, C´ y D´ en cuanto a la remoción del color. Los resultados concernientes a la remoción de ácido acético detectaron que los tratamientos optimizados D´ y B´ son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,1$) a los tratamientos originales (B, C, D), siendo el tratamiento optimizado C´ estadísticamente igual a todos tratamientos.

Tabla X. Comparación de las medias de la remoción de ácido acético y color ICUMSA por la Prueba de series múltiples.

Ácido acético			
	Media	Grupos homogéneos	
D´	48,97	**B**	
B´	48,99	**B**	
C´	50,04	**B**	**A**
D	50,95		**A**
B	50,95		**A**
C	51		**A**

Las medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí a un nivel de 10 % de probabilidad por la prueba de series múltiples.

Color ICUMSA			
	Media	Grupos homogéneos	
C´	13,10	**B**	
D´	13,53	**B**	
B´	13,64	**B**	
C	18,46		**A**
D	18,54		**A**
B	18,64		**A**

Las medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí a un nivel de 5 % de probabilidad por la prueba de series múltiples

De acuerdo a los resultados anteriores, consideramos el tratamiento que utiliza la secuencia C (A-860, C-150 y A-103S) el de mayor remoción debido a que no presentó diferencias significativas con los tratamientos originales en cuanto a la remoción de ácido acético y compuestos fenólicos y logró obtener una alta remoción de color.

Teniendo en cuenta las etapas de que consta el proceso de tratamiento del hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar; el tratamiento optimizado está constituido por un proceso de ajuste de pH usando la resina A-103S, seguido de la etapa concentración y al final la purificación utilizando la secuencia C (A-860S, A-150 y A-103S); totalizando 3 resinas de intercambio iónico porque la resina anionica débil A-103S, participa en la primera y cuarta etapa. En el tratamiento original se utilizaban entre 4 y 5 resinas según la secuencia de resinas utilizada en la etapa de purificacón. Con este tratamiento se remueve el 99,04 % de ácido acético, 95,45 % de compuestos fenólicos y 94,2 % del color del hidrolizado inicial. En la Figura 4 se observa la diferencia de color del hidrolizado purificado por la secuencia C, comparado con el hidrolizado inicial utilizado, obserbándose que el hidrolizado tratado se obtiene con un color blanco transparente.

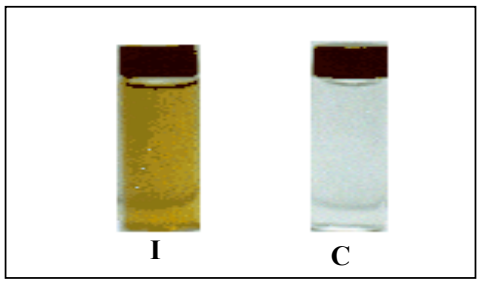


Figura 4. Frascos conteniendo el hidrolizado inicial utilizado en los estudios y el hidrolizado tratado con la secuencia C de resinas de intercambio iónico.

Conclusiones

- De las cinco secuencias de purificación estudiadas la de mejores resultados en la remoción de impurezas fue la secuencia C, que optimizada quedó constituida por las resinas A-860S, C-150 y A-103S.

- Con el tratamiento de purificación optimizado se obtuvo un 99,04 % de remoción de ácido acético, 95,45 % de compuestos fenólicos y 94,2 % del color del hidrolizado inicial.

Referencias

- Canilha, L., Almeida e Silva, J.B., Canettieri, E.V., Solenzar, A.I.N. (2000), *Brasilian meeting on chemistry of food and beverages*. Sao Carlos SP, dec.
- Deler, R.M.L.; Nápoles, S.A.I.; Villareal, M.M.; Acosta, M.E.; Manganelly, S.E.; González, M.B. (2000). *CubaAzúcar* XXIX, 21-26.
- Kim, Y.H., Yoo, Y.J. (1996), *Enzime and Microbial Technology* 18, 531-535.
- Martínez, E.A., Villareal, M.L.M., Almeida e Silva, J.B., Solenzal, A.I.N., Canilha, L., Mussanto, S.L. (2002), *Ciencia y tecnología de los alimento*. 3 5, 295-301.
- Nápoles, I.; Silva, S.S., Mancilha, I.M.; Felipe, M.G.A.; Acosta, E.; Villa, P.; Cepero, I.; González, M.; Manganelly, E. (1998). *Symposium on Biochemical Engineering Science*. Porto, sep.
- Nápoles, A.I.S., Naranjo, A.E.C., Martínez, E.A., Manganelly, E.S., González, M.B. (2000), *Cañaveral*, 6 2, 9-11.
- Parajó, J.C., Domínguez, H., Domínguez, J.M. (1998), B*ioresource Technology* 66, 25-44.
- Rodrigues, R.C.L.B., Felipe, M.G.A., Almeida e Silva, J.B., Vitolo M., Gómez P.V. (2001), *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 18, 299-311.
- Viñals M.V. (2001), Aplicaçao de resinas de troca iónica no tratamento de hidrolizado hemicelulósico para processos fermentativos. Mather´s thesis, FAENQUIL, Lorena – SP, Brasil, 81 p.
- Viñals M.V., Mancilha, I.M., Almeida e Silva J.B., Nápoles, I.S. (2002), *Revista ICIDCA*, 36, 24-27.

¨PURIFICACIÓN DE LICORES DE XILITOL OBTENIDOS POR LA FERMENTACIÓN DE XILOSA COMERCIAL Y DE HIDROLIZADO HEMICELULÓSICO DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR POR CANDIDA GUILLIERMONDII¨

¨XYLITOL DOWN-STREAM FROM COMMERCIAL XYLOSE AND SUGARCANE BAGASSE HEMICELLULOSIC HYDROLYSATE FERMENTED BY CANDIDA GUILLIERMONDII ¨

Ernesto Acosta Martínez[1,2], Ana Irene Nápoles Solenzal[1], Juliana Aparecida Frade[2], João Batista de Almeida e Silva[2]

[1.] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Ciudad Habana, Cuba. (eracostam@yahoo.com.br)
[2]. Faculdade de Engenharia Quimica de Lorena. SP, Brasil.

Resumen
Una de las etapas mas complejas en los procesos industriales es la recuperación del producto, lo cual puede representar hasta el 80 % de su costo. Este trabajo está relacionado con la primera etapa de recuperación de xilitol obtenido a partir de la fermentación de xilosa comercial y de hidrolizado hemicelulósico por *C. guilliermondii*. El licor producto de la fermentación a pesar de ser rico en xilitol (60 g/L) contiene levaduras y fragmentos de estas, así como otros contaminantes tales como ingredientes del medio de cultivo, substrato residual y subproductos de la fermentación. La fermentación fue realizada en reactor de 15 L, k_La 30 h^{-1}, 300 rpm y 30 ^oC. La precipitación por cambio de pH del licor centrifugado desde 3.64 hasta valores entre 5.0 y 9.0 utilizando NaOH 3N fue estudiada en tubos de ensayo con 15 mL de licor durante 2 h a temperatura ambiente. Los licores, después de la fermentación y precipitación, fueron centrifugados a 1070xg por 15 min en centrífuga CU-5000-Damon. Mediante centrifugación fue posible extraer la biomasa (2.38 % del licor total) y se aumentó la concentración de xilitol de 60 a 68.17 g/L. Por otro lado, en los estudios de precipitación el aumento del pH hasta 5.0 y 6.0 no produjo ningún efecto en los licores siendo observada formación de precipitado en valores entre 7.0 y 9.0. El proceso de precipitación y sedimentación fue más rápido en pH 7.0 observándose menor perdida de xilitol en el sobrenadante (0.92 %).
Palabras claves: xilosa, xilitol, purificación, bagazo, fermentación

Abstract
The product down-stream process is one of the more complex steps in industrial processes, representing up to 80 % of it cost. This work is related with the first step of xylitol recovering which was obtained from sugarcane bagasse hemicellulosic hydrolysate and commercial xylose fermented by *C. guilliermondii*. The liquor, rich in xylitol (60 g/L), contains besides yeast and its fragments, and others wastes such as residual substrate, culture medium and fermentation byproducts. The fermentation was carried out in a 15-liter reactor, k_La 30 h^{-1}, 300 rpm and 30^oC. A precipitation study by pH change from 3.64 to pH among 5.0 and 9.0 using NaOH 3N was carried out. The tests were made in essay tubes with 15 mL of liquor, during 2 h at ambient temperature. The liquors, after fermentation and precipitation steps, were centrifuged at 1070xg during 15 min in a CU-5000-Damon centrifuge in order to separate the cells and the precipitate, respectively. It was possible to extract the cells (2.38 % of total liquor) by centrifugation and an increase in xylitol concentration from 60 to 68.17 g/L was obtained. An increase in pH value to 7.0, 8.0 and 9.0 brougth about a precipitate formation. It was observed that a more quickly precipitation and sedimentation speed and smaller loss of xylitol (0.92 %) at pH 7.0 was achieved.
Keywords: xylose, xylitol, purification, bagasse, fermentation

Introducción

El uso diversificado de la caña de azúcar es una alternativa que podría estabilizar la economía del azúcar. A las incuestionables ventajas alimenticias del azúcar se le deben adicionar las potencialidades de la caña de azúcar como materia prima para la obtención de productos derivados de diferentes generaciones mediante el empleo de tecnologías químicas y bioquímicas (ICIDCA, 2000).

Dentro de los subproductos que se pueden obtener a partir del bagazo de la caña de azúcar mediante el empleo de una tecnología de mediana a alta complejidad se encuentra el xilitol. Este edulcorante es ampliamente usado en la confección de alimentos (calor negativo de solución, efecto refrescante, es no astringente), de productos de higiene oral (debido a sus propiedades anticariogénicas y cariostáticas), productos farmacéuticos (tiene un efecto significante en la reducción de la otitis media en un 40 %, el xilitol es metabolizado independientemente de la insulina) y en la confección de cosméticos (por su efecto como agente humectante y porque puede conferir estabilidad microbiológica a los productos y tiene efectos beneficiosos sobre la flora microbiana de la piel) (DANISCO, 2001).

El xilitol es obtenido industrialmente a partir de la hidrogenación catalítica de siropes de xilosa altamente purificados en la presencia de catalizador Ni-Raney y condiciones de temperatura (120-140 ^{o}C) y presión (25-50 atm) altas. Una vía alternativa a este proceso es realizar la bioconversión de estos siropes, proceso que ha sido estudiado durante varios años por investigadores de varios centros de investigación del mundo el cual no requiere de altas condiciones de temperatura y presión para la reducción de la xilosa y además el licor de xilosa no necesita estar muy purificado debido a la utilización de levaduras que actúan como agentes detoxificadoras del medio (Martínez *y otros*, 2000, 1999; Felipe *y otros*, 1995; Roberto *y otros*, 1996).

Los trabajos relacionados con la producción de xilitol encontrados en la literatura enfatizan fundamentalmente los aspectos de tratamiento de hidrolizados, la reducción de xilosa a xilitol por vía química así como los aspectos metabólicos de la bioconversión. Entretanto, el proceso de purificación de los licores de xilitol obtenidos por vía fermentativa ha sido poco publicado en la literatura. Según Nývlt *y otros* (2001), el proceso de recuperación puede constituir hasta el 80 % del costo del producto final.

Los estudios de purificación pueden ser basados en parte en los métodos generales aplicados a los azúcares, debido a la similitud estructural y físico-química entre estos compuestos. No obstante, las características específicas del sistema tales como alta viscosidad, reología compleja, inestabilidad con relación a altas temperaturas, semejanzas físico-químicas entre productos y contaminantes hacen de la purificación de azúcares una de las etapas más difíciles en la producción de sustancias puras (Weatherley, 1994).

Este trabajo está relacionado con la primera etapa de recuperación de xilitol obtenido mediante la fermentación de xilosa comercial y de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de la caña de azúcar por *C. guilliermondii*.

Materiales y métodos

Microorganismo: Se utilizo la levadura *Candida guilliermondii* FTI 20037 de la colección de culturas del Grupo de Procesos Fermentativos del DEBIQ/FAENQUIL, Brasil. Las culturas fueron mantenidas en tubos de ensayo con extracto ágar de malte inclinados a 4°C.

Preparo del inoculo: El cultivo fue preparado a partir de una alzada de la cultura estoque inoculada en medio líquido conteniendo 30 g/L de xilosa, 3 g/L de sulfato de amonio, 0,1 g/L de clorato de calcio y 20 g/L de extracto de cascara de arroz. El cultivo fue realizado en frascos Erlenmeyer de 500 mL con 250 mL de medio, a 30 ^{o}C, en incubadora de movimiento rotatorio a 200 rpm por 24 h. Después de este período, el medio fue transferido para un Erlenmeyer de 2000 mL, conteniendo 1200 mL de hidrolizado tratado y autoclavado lo que se corresponde con el 10 % del volumen útil del reactor.

El sulfato de amonio fue esterilizado a 121oC/15 min. La suspensión de cascara de arroz fue autoclavada a 111 ^{o}C/15 min y separada a 2000xg por 15 min en centrífuga CU-5000 DAMON/IEC Division, USA.

El sobrenadante de esta solución fue adicionado al medio. Gotas de antiespumante fueron adicionadas al medio durante la fermentación.

Medio y condiciones de fermentación: Los experimentos fueron realizados en duplicado, con medio sintético (D(+)xilosa y glucosa, ambas disueltas en agua desionizada) y en hidrolizado hemicelulósico tratado con resinas de intercambio iónico (88 g/L de xilosa y 2 g/L de glucosa) y adicionado los mismos nutrientes utilizados en el preparo del inoculo. El cultivo fue realizado en fermentador de bancada tipo BIOENGINEERING L1523 con capacidad total de 15 L con 12 L de medio en las condiciones de 30 ^{o}C, 300 rpm, pH inicial 5.0 y coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno igual de 30 h^{-1}. El fermentador está equipado con electrodos de pH y de oxígeno disuelto, termopar, agitador con dos impelentes tipo turbina y aire comprimido.

Centrifugación de los licores fermentados: Los licores de xilitol fueron centrifugados a 2000xg en centrífuga CU-5000 Damon/IEC para separar la biomasa y el precipitado formado por el cambio de pH de los licores.

Estudio de la precipitación por cambio de pH de os licores centrifugados: El pH de los licores centrifugados fue aumentado desde 3.64 hasta valores entre 5.0 y 9.0 mediante la adición de NaOH 3N. Estos ensayos fueron realizados en tubos de ensayo con 15 mL de muestra, durante 2 h a temperatura ambiente.

Concentración de los licores de xilitol: La concentración de los licores de xilitol centrifugados y purificados por el cambio de pH fue realizada en concentrador a vacío, a una temperatura de 66±4 ^{o}C, en evaporador de vidrio vertical de 4 L, con el objetivo de aumentar la concentración de xilitol presente en los mismos.

Métodos analíticos:

Fermentación: Las fermentaciones fueron acompañadas por medio de la retirada periódica de muestras para la determinación de las concentraciones de xilosa, glucosa, arabinosa, xilitol y la concentración celular. Los azúcares y el xilitol fueron analizados por cromatografía líquida de alta eficiencia SHIMADZU (Kyoto, Japón) detectados por índice de refracción (detector RID 6A) en las siguientes condiciones: columna BIO-RAD AMINEX HPX-87H (300x7.8 mm) temperatura de la columna 45 ^{o}C, flujo de eluente 0.6 mL/min, atenuación del detector 16x. La determinación de la concentración celular fue realizada a partir de una curva patrón de absorbancia en función del peso seco de las células a partir de lecturas en espectrofotómetro BECMAN a 600 nm. El coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno fue determinado utilizando el método de gassing-out conforme descrito por Bartollomew *y otros* (1950).

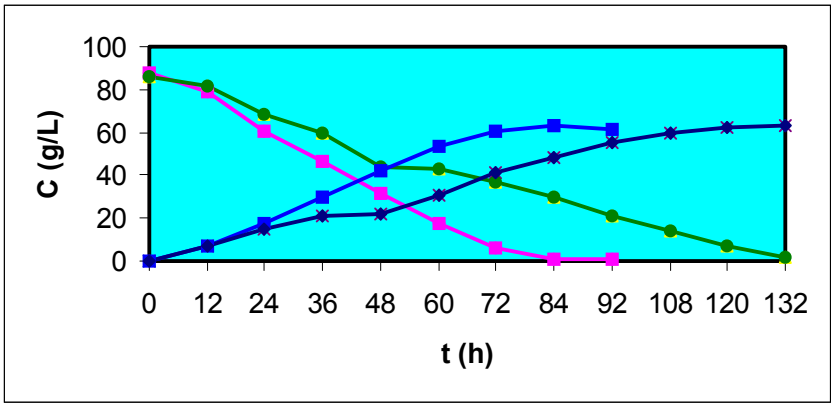
Determinación de la extracción de proteínas solubles por el uso de NaOH 3N: La determinación de proteínas solubles fue realizada por el método de Lowry. Este método se basa en lo siguiente: a un tubo de ensayo (15x150 mm) limpio, seco y libre de cualquier tipo de detergente se le adiciona 200 µL de muestra y 2 mL de solución formada por 1 mL de solución de sulfato de cobre penta-hidratado 1 %, 1 mL de solución de tartarato de sodio y potasio 2 % y 98 mL de solución de carbonato de sodio/hidróxido de sodio. Se deja en reposo por 10 min, se adicionan 200 µL de solución de Folin, se agitan los tubos en vórtice por 5 s y se realizan las lecturas de absorbancia a 578 nm.

Las velocidades de crecimiento (dX/dt), consumo de substrato (dS/dt) y de formación de xilitol (dP/dt) fueron calculadas por el método de LE DUY y Zajic (1973). Las velocidades específicas de crecimiento (μ_x) y de producción de xilitol (q_p) fueron obtenidas mediante la división de las velocidades instantáneas por la concentración celular en los puntos donde fueron calculadas las derivadas.

Resultados y discusión

En las Figuras 1 y 2 se puede observar el perfil de consumo de xilosa y arabinosa, la producción de xilitol, el crecimiento celular y el pH durante el proceso discontinuo de producción de xilitol por *Candida guilliermondii* en medio sintético y en hidrolizado hemicelulósico de bagazo de la caña de azúcar tratado con resinas de intercambio iónico.

Después de 12 horas de fermentación no se verifico la presencia de glucosa en los medios, independientemente del tipo empleado, una vez que la misma (2.0 g/L) fue rápidamente consumida por la levadura. La rápida fermentación de esta hexosa es debido a que su utilización representa el metabolismo básico en muchos microorganismos. En cuanto al consumo de xilosa, este fue favorecido en medio sintético, encontrándose valores de 99.14 % de consumo después de las 92 horas de fermentación. En la presencia de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de la caña de azúcar tratado con resinas de intercambio iónico un consumo de xilosa de 98 % fue verificado después de 132 horas de fermentación (Figura 1). Estos resultados podrían estar relacionados con la presencia de posibles inhibidores del

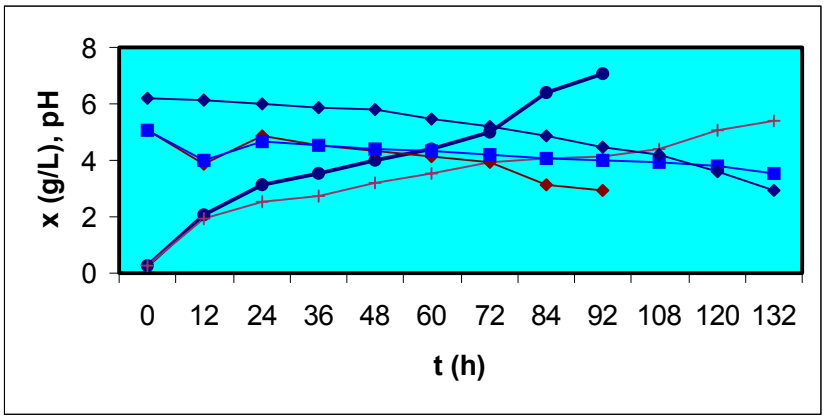


metabolismo microbiano en el hidrolizado tales como arabinosa (6.2 g/L) y metales e iones derivados de la corrosión del equipamiento de hidrólisis los cuales no fueron extraídos durante el tratamiento.

FIGURA1. Consumo de xilosa (●,■) y producción de xilitol (■,◆) por *C. guilliermondii* en medio sintético y en hidrolizado hemicelulósico de bagazo de la caña de azúcar tratado con resinas de intercambio iónico respectivamente, en reactor de 15 L.

FIGURA 2. Crecimiento celular (●,+), pH (◆,■) y consumo de arabinosa (no,◆) durante la producción de xilitol por *C. guilliermondii* en medio sintético y en hidrolizado hemicelulósico de bagazo de la caña de azúcar tratado con resinas de intercambio iónico respectivamente, en reactor de 15 L.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el xilitol, principal producto de la conversión de xilosa por *Candida guilliermondii* fue producido en concentraciones que variaron entre 61.2 y 63.05 g/L en medio sintético e hidrolizado, respectivamente. Por otro lado, en lo que se refiere a concentración celular, el mayor crecimiento (7.05 g/L) fue obtenido en medio sintético, lo cual se corresponde con un mayor valor de factor de rendimiento de xilosa en células (0.071 g/g).



En relación con la arabinosa, pentosa presente en el hidrolizado, fue consumida parcialmente a lo largo del proceso fermentativo (52.41 %) (Figura 2). Roberto *y otros* (1995), en fermentación de hidrolizado hemicelulósico de paja de arroz observaron también una discreta disminución en la concentración de arabinosa. De acuerdo con Affleck (2000), 40 % de la arabinosa fue consumida después de 170 horas de fermentación de un hidrolizado hemicelulósico modelado de fibra de maíz por *Candida tropicalis*, en reactor de 1 litro.

En las Tablas I y II están presentados los parámetros cinéticos da la bioconversión de xilosa en xilitol en medio sintético y en hidrolizado, respectivamente durante el proceso de fermentación discontinuo en reactor de 15 litros. Conforme mostrado en estas tablas, se observan mayores valores de productividad volumétrica en xilitol (28.12 %), consumo de xilosa (1.16 %) y de factor de conversión de xilosa en células (13.52 %) en el proceso de producción de xilitol a partir de medio sintético. Entretanto, mayores valores de factor de conversión de xilosa en xilitol y de rendimiento de la fermentación (3.16 %) fueron obtenidos a partir de hidrolizado.

Tabla I. Parámetros fermentativos de la bioconversión de xilosa a xilitol por *Candida guilliermondii* en medio sintético durante el proceso de fermentación discontinuo en reactor de 15 litros.

tiempo (h)	Qp (g/L.h)	ΔS (%)	Yp/s (g/g)	Yx/s (g/g)	R (%)
0	0	0	0	0	0
12	0,581	9,78	0,8105	0,2128	88,38
24	0,725	31,39	0,6307	0,1041	68,77
36	0,817	47,55	0,7040	0,0786	76,77
48	0,868	64,23	0,7382	0,0663	80,50
60	0,890	80,43	0,7551	0,0592	82,35
72	0,844	93,46	0,7400	0,0578	80,69
84	0,752	98,95	0,7265	0,0710	79,22
91	0,665	99,14	0,7024	0,0781	76,59

Tabla II. Parámetros fermentativos de la bioconversión de xilosa a xilitol por *Candida guilliermondii* en hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar tratado con resinas de intercambio iónico durante el proceso de fermentación discontinuo en reactor de 15 litros.

tiempo (h)	Qp (g/L.h)	ΔS (%)	Yp/s (g/g)	Yx/s (g/g)	R (%)
0	0	0	0	0	0
12	0,570	5,27			
24	0,607	20,09	0,8450	0,1480	92,15
36	0,596	30,43	0,8215	0,1042	89,58
48	0,465	49,24	0,5281	0,0765	57,59
60	0,511	50,30	0,7102	0,0818	77,45
72	0,577	57,10	0,8485	0,0803	92,53
84	0,572	65,14	0,8595	0,0730	93,73
92	0,601	75,36	0,8549	0,0636	93,22
108	0,553	84,06	0,8285	0,0610	90,35
120	0,518	92,04	0,7877	0,0646	85,90
132	0,478	97,99	0,7502	0,0644	81,81

El comportamiento cinético de la levadura *C. guilliermondii* en hidrolizado hemicelulósico fue

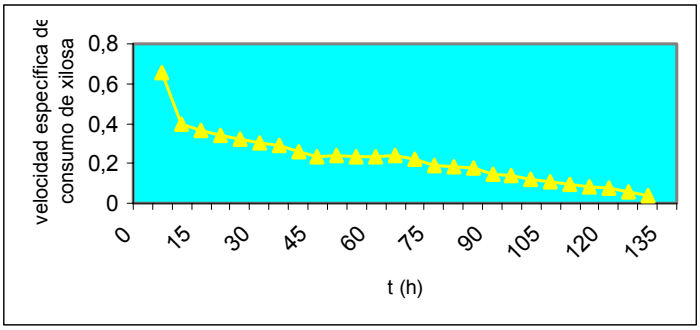
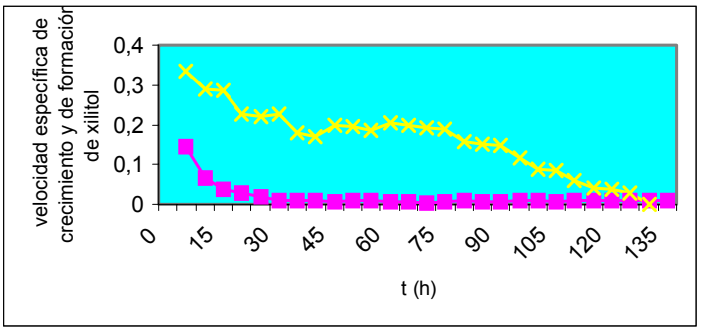


FIGURA 3. Variación de la velocidad específica de consumo de xilosa durante la fermentación de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar tratado con resinas de intercambio iónico, por *C. guilliermondii* en reactor de 15 litros.

evaluado y los resultados están mostrados en las Figuras 3 y 4. La variación de las velocidades específicas de crecimiento (μ_x) y de formación de producto (q_p) en función del tiempo está mostrada en la Figura 4. Se observa que, el mayor valor de μ_x (0.144 h^{-1}) fue alcanzado en la fase inicial de cultivo, debido a la rápida utilización de la glucosa como fuente de carbono. Después de 10 horas de cuando se inicio el consumo de xilosa la velocidad específica de crecimiento disminuyo hasta 0.067 h^{-1}. Semejante comportamiento fue también constatado por Roberto (1994) y Nolleau *y otros* (1995) durante el cultivo



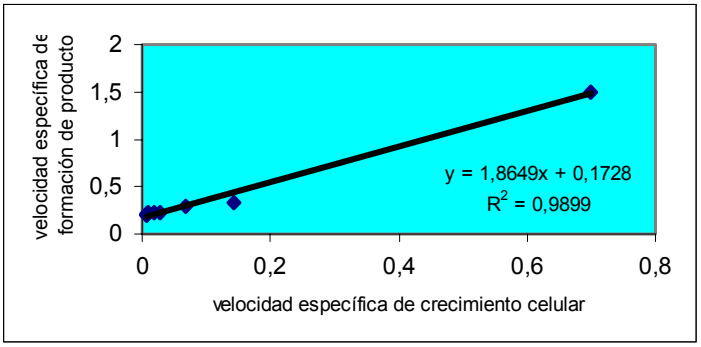
de *C. guilliermondii* en hidrolizados de paja de arroz y de madera, respectivamente.

FIGURA 4. Variación de la velocidad específica de crecimiento celular (■) y de formación de xilitol (x) durante la fermentación de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar tratado con resinas de intercambio iónico, por *C. guilliermondii* en reactor de 15 litros.

El máximo valor de velocidad específica de producción de xilitol (0.289 g/g.h) fue superior al encontrado por Roberto (1994) en fermentación de hidrolizado de paja de arroz (0.12 g/g.h), comportamiento que puede ser atribuido a la presencia de compuestos como furfural y ácido acético en este hidrolizado, los cuales actúan como inhibidores del crecimiento microbiano.

En la Figura 4 se observa que, después de 10 horas de cultivo, las velocidades específicas de crecimiento y de producción de xilitol disminuyeron con el tiempo. Este comportamiento sugiere una dependencia entre la producción de xilitol y el crecimiento celular, la cual fue confirmada por la relación

lineal obtenida entre μ_x y q_p mostrada en la Figura 5. Por la ecuación de la recta obtenida se nota que el valor del coeficiente lineal de la recta, que representa la constante de formación de producto no asociada al crecimiento con valor 0.173 puede indicar que este comportamiento debe ser clasificado cinéticamente



como producción parcialmente asociada al crecimiento (Gaden, 1959).

FIGURA 5. Variación de la velocidad específica de formación de xilitol con la velocidad específica de crecimiento celular en la fermentación de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar tratado con resinas de intercambio iónico, por *C. guilliermondii* en reactor de 15 litros.

En las condiciones del presente trabajo, la relación entre μ_x y q_p puede ser descrita por la ecuación:

$$q_p = 1.856\ \mu_x + 0.173 \qquad (R^2 = 0.9899)$$

Los licores producidos por fermentación, a pesar de ser ricos en xilitol (60 g/L), contienen levaduras y fragmentos de estas, así como otros contaminantes tales como ingredientes del medio de cultivo, substrato residual y subproductos de la fermentación. Es por ello, que los licores fueron sometidos a un proceso de centrifugación para separar la biomasa.

Mediante la centrifugación fue posible extraer la biomasa del medio fermentado a partir de xilosa (2.99 % de 11.7 kg de licor) y a partir de hidrolizado (2.50 % de 11.0 kg de licor). Se constato un aumento de la concentración de xilitol en licores de 61.2 a 68.11 g/L (a partir de xilosa) y de 60 a 65.3 g/L (a partir de hidrolizado).

Con el objetivo de extraer fragmentos de células que no fueron separadas por centrifugación fue realizado un estudio de la precipitación utilizando NaOH. La Tabla III presenta las características físico-químicas de los licores en los diferentes pH.

Tabla III. Características químicas de las muestras en los diferentes pH después del proceso de centrifugación para la extración del precipitado.

Muestra	Xilosa (g/L)	Arabinosa (g/L)	Xilitol(g/L)	% remoción proteínas
Inicial	2,28	2,76	68,17	-
pH 5,0	2,20	2,75	67,78	1,15
pH 6,0	2,19	2,59	66,99	3,34
pH 7,0	2,18	2,62	67,54	26,42
pH 8,0	2,17	2,47	66,70	22,23
pH 9,0	2,09	2,46	66,30	26,06

Después de 2 horas de reposo se observó que el aumento del pH de los licores desde 3.64 hasta 5.0 y 6.0 no produjo ningún efecto, sin embargo en valores entre 7.0 y 9.0 se observó formación de

precipitado. El proceso de precipitación y sedimentación fue más rápido en pH 7.0 siendo constatado también menor pérdida de xilitol (0.92 %) en el sobrenadante (Tabla III).

De manera visual fue posible observar que los dos precipitados formados a partir de los dos tipos de licores tenían la misma coloración y textura. Por esto fue realizada una prueba para saber si los nutrientes (mezclados en la misma proporción en que son adicionados al medio de fermentación y adicionándoles NaOH 3N hasta valores de pH entre 6.0 y 9.0) eran los agentes precipitados. Los precipitados formados fueron muy parecidos a los formados en los licores de xilitol por lo que planteo la necesidad de estudiar el efecto de la concentración de nutrientes (en especial del extracto de cáscara de arroz) en la fermentación.

En la Tabla III, de acuerdo con los resultados obtenidos utilizando el método de Lowry, se puede constatar un mayor % de remoción de proteínas (26.42 %) en pH 7.0.

Conclusiones

En este trabajo se realizó la obtención de xilitol a partir de xilosa comercial y de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar tratado con resinas de intercambio iónico. La purificación de los licores de xilitol fue realizada en una primera etapa mediante centrifugación donde fue posible extraer la biomasa (2.38 % del licor total) y se obtuvo un aumento de la concentración de xilitol de 60 a 68.17 g/L. Posteriormente, durante la segunda etapa, mediante la precipitación con NaOH, el aumento del pH de los licores de xilitol hasta 5.0 y 6.0 no produjo ningún efecto en los licores siendo observada formación de precipitado en valores de pH entre 7.0 y 9.0. El proceso de precipitación y sedimentación fue más rápido en pH 7.0 observándose menor perdida de xilitol en el sobrenadante (0.92 %).

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo financiero de la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) de Brasil.

Bibliografía

- Affleck, R.P. (2000), *Recovery of xylitol from fermentation of model hemicellulosic hydrolysate using membrane technology*. Thesis of master science, Faculty Virginia Polytechnic Institute and State University, 114p.
- Bartolomew, W.H., Karow, E.A, Saft, M.R., Wihlem, R.H. (1950), *Ind. Chem. E*ng. .42, 1801.
- *Danisco Sweeteners, Sweeteness without tooth decay Xylitol* (Danisco Sweeteners Ltd), 2001.
- Felipe, M.G.A, Viera, D.C.; Vitolo, M.; Silva, S. S., Roberto, I. C., Mancilha, I. M. (1995), *J. Basic Microbiol***.** 35, 3, 171-177.
- Gaden, E.L., Jr. (1959), *Biotechnol. Microbiol. Technol*. 1(4), 413-429.
- *Hanbook of sugar cane derivatives*, Cuban Research Institute of Sugar Cane By-Products, Havana City, ICIDCA, 2000. 485p
- Le Duy, A., Zajic, J.E., (1973), *Biotechnol. Bioeng*. 15, 805-810.
- Martínez, E. A, Silva, S.S, Felipe, M.G.A (1999), *Appl. Biochem. Biotechnol*. 77/79, 347-354.
- Martínez, E.A., Silva, S.S., Felipe, M.G.A., (2000), *Appl. Biochem. Biotechnol.* 84/86: 633-641.
- Nolleau, V., Preziosibelloy, L., Navarro, J.M. (1995), *Biotechnol. Letters*, 17:4, 411-416.
- Nýlvt, J., Hostomski, J., Giulietti, M. (2001), *Cristalização*, Editorial UFSCar.
- Roberto, I.C., Felipe, M.G.A, Mancilha, I.M., Vitolo, M., Sato, S., Silva, S.S. (1995), *Bioresource Biotehnol*. 51, 255-257.

- Roberto, I.C., Felipe, M.G.A, Mancilha, I.M., M., Sato, S. (1996), *Appl. Biochem. Biotechnol.,* 57/58, 339-347.
- Weatherley, L. R. (1994), *Engineering Process for Bioseperations*. Butterworth-Heineman Ltd., Oxford, 296p.

DETERMINACIÓN SIMULTÁNEA POR HPLC DE AZÚCARES, ACIDOS ORGÁNICOS Y ALCOHOLES: APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS DE DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR.

SIMULTANEUS HPLC DETERMINATION OF ORGANIC ACIDS, SUGARS AND ALCOHOLS: APLICATION IN BY-PRODUCTS OF THE CANE SUGAR DERIVATIVES

Julio F. Santo Tomás Valdés, Ricardo Reádigos Reyes.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA. Apartado 4026, Ciudad de la Habana; Cuba. e-mail: jfsantotomas@icidca.edu.cu

Resumen

En el presente trabajo se discute acerca de las posibilidades del empleo de una columna de intercambio catiónico empacada con un copolímero entrecruzado de estireno divinilbenceno sulfonado, con el hidrógeno como especie iónica (Eurokat H). Esta columna es usada en la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) para la separación y cuantificación simultánea de azúcares, ácidos orgánicos, etanol y metanol y su aplicación en el análisis de hidrolizados de bagazo, caldos de fermentación, jugos y mieles de caña de azúcar, etc. Los métodos cromatográficos que utilizan esta columna y soluciones de ácidos minerales diluidos como eluentes son muy útiles en el análisis de las matrices señaladas anteriormente. Una de sus ventajas es el uso de una fase móvil barata, no contaminante y no tóxica, además de que con sólo una inyección es posible la separación de diferentes especies bioquímicas, como carbohidratos y ácidos orgánicos. La separación, los tiempos de retención y la cuantificación de estos analitos, pueden ser determinados con rapidez cuando se emplea esta columna. Se presenta un ejemplo de la separación y cuantificación simultánea de cinco ácidos orgánicos, un disacárido y etanol, con resultados satisfactorios.

Palabras claves: hplc, determinación simultánea, azúcares, ácidos orgánicos, alcoholes.

Summary

In the present work, the possibilities of the use of a cationic exchange column packed with a crosslinked copolymer of styrene-divinylbenzene with hydrogen as ionic species (Eurokat H) is discussed. This column is employed in High Performance Liquid Chromatography (HPLC) for the simultaneous separation and quantification of sugars, organic acids, ethanol and methanol. It is also employed in the analysis of baggasse hydrolizates, fermentation broth, juices and sugar cane molasses. The method, which use that type of column and as mobile phase 0,01 N sulfuric acid, is very useful in the complex mixtures analysis. This type of columns have as principal advantage the use of a cheap mobile phase, non-polluting and non-toxic, besides that with only one injection is possible the separation of different biochemical species in a matrix, as carbohydrate and organic acids. The separation, the retention times and the quantification of these analytes, which are frequently present in these matrices, can be quickly determined when this type of column and a refractive index detector are employed. In the HPLC Laboratory a method for the simultaneous separation and quantification of five organic acids, 2 monosaccharides and ethanol which satisfactory results has been established.

Key words: hplc, simultaneus determinacion, organic acids, sugars, alcohols.

Introducción.

La posibilidad de la separación y cuantificación simultánea por cromatografía líquida de alta eficacia (hplc por sus siglas en inglés) de azúcares, ácidos orgánicos, etanol y metanol y su aplicación en el análisis de hidrolizados de bagazo, caldos de fermentación, jugos y mieles de caña de azúcar, etc. se discute en el presente trabajo.

El análisis de los azúcares y los ácidos por hplc en los caldos de la fermentación puede estar dirigido a investigar aspectos del proceso de la fermentación como el comportamiento del microorganismo en el consumo de la fuente de carbono, o de sí el proceso es homofermentativo o no, es decir, si se producen otros ácidos orgánicos, además del de interés. Entre los ácidos orgánicos que se pueden formar durante la fermentación se encuentran el acético, succínico, láctico, propiónico, butírico, etc., pudiéndose formar, además, los alcoholes etílico y metílico.

En hidrolizados de bagazo, la determinación de la glucosa y la xilosa entre los azúcares y la de algunos ácidos como el glicólico, málico y láctico centran el interés de las investigaciones. Otra matriz, es el jugo de la caña de azúcar, analizada por hplc para separar y cuantificar los azúcares y los ácidos. Las determinaciones de los azúcares y los ácidos orgánicos se pueden realizar independientemente empleando una técnica para la separación y cuantificación de azúcares (mono y disacáridos), en jugo de caña deshidratado empleando una columna amino (NH_2), acetonitrilo:agua como eluente y detección por índice de refracción (Santo Tomás, J. F. 2003) y otra técnica para la determinación de los ácidos orgánicos, en jugo de caña de azúcar con una columna RP-18 y detección por UV(Redondo, D. 2001).

Otros trabajos reportan métodos para la determinación simultánea de ácidos orgánicos (oxálico, tartárico, málico, cítrico, succínico y vitamina C) por cromatografía de fase reversa en medio ácido con detección UV (Chen, Z., Lu J., 2002); y por electroforesis capilar y detección UV en vinos (Castiñeiras, A. y col., 2000)

El empleo de una columna de intercambio catiónico empacada con un copolímero entrecruzado de poliestireno divinilbenceno (PS/DVB) sulfonado, con el hidrógeno como contraión, posibilita de forma simultánea la separación de los azúcares, los ácidos orgánicos, el etanol y el metanol.

La fase de PS/DVB sulfonada y monodispersa con un rango estrecho del tamaño de las partículas, permite usarlas a elevadas temperaturas y a temperatura ambiente sin problemas de sobrepresión. El divinilbenceno es el responsable de la exclusión de los oligosacáridos de peso molecular elevado, mientras que los mono y disacáridos no son excluidos debido a las interacciones con el contraión asociado a la resina; La separación de los ácidos con esta columna se realiza a temperaturas elevadas, por encima de los 70 grados Celsius, y ácido mineral diluido como fase móvil, pues en estas condiciones es favorecida la separación de compuestos semejantes, como es el caso de los ácidos orgánicos.

La determinación simultánea por hplc de azúcares, ácidos, etanol y metanol en las más diversas matrices como vinos (Falqué, E., 1996) o productos metabolizados por la microflora intestinal (Fischer, L., 1987), así como, en estudios básicos (Doyon, G., 1991), se vienen realizando desde finales de la década de los 80'.

Otros contraiones como el Ca y el Pb presentan diferente selectividad debido a la diferencia de la interacción con los hidroxilos de las moléculas de azúcar (Thielecke, K., 2002); empleando columnas Aminex7 HPX-87C o Aminex7 HPX-87P se posibilita la determinación de carbohidratos en la biomasa, fundamentalmente glucosa, xilosa, arabinosa, galactosa y manosa (ASTM, 1995).

En el trabajo se muestra a modo de ejemplo la separación y cuantificación simultánea de cinco ácidos orgánicos, la sacarosa y el etanol, realizado con resultados satisfactorios en el Laboratorio de Cromatografía del Departamento de Química Analítica del ICIDCA.

Materiales y Métodos

El trabajo experimental se realizó con un sistema "Sacharis" integrado por una bomba analítica WellChrom K-1001, detector de índice de refracción WellChrom K-2301, desgasificador en línea de 2 canales WellChrom K-5002 y un horno para la columna. La columna es una VERTEX Eurokat H 10µm (300 x 8 mm d.i.) con una pre columna VERTEX Eurokat H de intercambio catiónico empacadas con un co-polímero entrecruzado de poliestireno divinilbenceno sulfonado, con el hidrógeno como especie iónica. Una válvula de inyección RHEODYNE, con lazo de 20 µl. Como fase móvil se utilizó una solución de ácido sulfúrico 0,01 N. La temperatura de la columna se fijó en 80°C.
La muestra del caldo de fermentación tomada para el ejemplo se diluyó de manera que la respuesta del detector se encontrara dentro del rango de concentraciones correspondiente a la curva de calibración. Los patrones de la curva de calibración se disolvieron en agua bidestilada en un rango entre 0.15 y 1.00 mg/ml. Los patrones y la muestra fueron inyectados en el cromatográfo por triplicado.
La adquisición y procesamiento de los datos se realizó mediante el software ChromGate V 2.5. Para la cuantificación se empleó el método del estándar externo.

Características principales de la columna VERTEX Eurokat H:

Es una columna de intercambio catiónico empacada con un co-polímero entrecruzado de poliestireno divinilbenceno sulfonado, con una alta densidad de grupos funcionales. Esta cromatografía involucra varios mecanísmos de separación, los más importantes son: exclusión, intercambio de ligandos, y exclusión por tamaño. .

Forma iónica:	H^+
Largo y diámetro:	300 mm x 8 mm d.i.
Tamaño de partícula	10 µm
Rango de temperatura:	5 - 90°C

En este tipo de cromatografía la selección de la temperatura de la columna resulta muy importante. La separación de los azúcares, por ejemplo, se realiza a temperaturas superiores a los 60°C.
Una de las características del empleo de esta columna es el uso de soluciones diluidas de ácidos minerales como eluente (ácido sulfúrico 0.01- 0.001N) la cual es más barata y menos contaminante que las mezclas acetonitrilo-agua que se utilizan con las columnas del tipo amino (NH_2) para la separación de mono, di y trisacáridos. Otra característica es que los carbohidratos con DP>5 son excluidos completamente de la columna. Este tipo de columna es empleada para la determinación de ácidos orgánicos y mezclas de azúcares, ácidos, alcoholes, así como, azúcares alcoholes.

Patrones:
Maltoheptosa (Sigma 99%); D-Celobiosa; α-Lactosa monohidrato (Sigma); Ácido Cítrico; Ácido D-Galacturónico (Sigma 99%); D(+)-Glucosa (Sigma); D(+)-Fructosa (Merck); D(+)-Xilosa (Fluka P.A. 99%); D(-)- Manitol (Merck); Ácido L(+) Láctico (Sigma); Ácido Succínico; Ácido Propiónico; Ácido Acético; Ácido Butírico; Glicerol (Sigma 99%); Metanol (Scharlau 99.8%); Etanol (99.97%)

Resultados

El resultado que se presenta en este trabajo muestra de forma preliminar como resolver el análisis por hplc de los caldos de una fermentación, un hidrolizado o de cualquier otra mezcla compleja donde se encuentren
presentes azúcares, ácidos orgánicos y alcoholes, estos dos últimos formados durante los procesos fermentativos, de una forma rápida y sin tratamiento previo de la muestras empleando esta columna de intercambio.

Determinación de los tiempos de retención:

Para determinar los tiempos de retención de los analitos a separar con la columna se prepararon soluciones acuosas, la solución conteniendo cada patrón fue inyectada por separado en el cromatógrafo. Las condiciones cromatográficas empleadas fueron: ácido sulfúrico 0.01N como fase móvil, el flujo de 0,4 ml/min, la temperatura de 80°C y la detección con índice de refracción. La maltoheptosa se empleó como analito no retenido por tener un DP > 5. En la Tabla I se muestran los tiempos de retención de los patrones de monosacáridos, disacáridos, azúcares alcoholes, ácidos orgánicos, etanol y metanol obtenidos con esta columna.

Tabla I. Tiempos de Retención de Ácidos Orgánicos, Azúcares, Metanol y Etanol. Fase móvil: H_2SO_4 0.01N; Flujo: 0.4 ml/min; Temperatura: 80°C. Detector índice de refracción

No	Analito	Tiempo de Retención (min.)
1	Maltoheptosa[a], Sigma 99%	9.86
2	D-Celobiosa	12.05
3	α-Lactosa monohidrato, Sigma	12.51
4	Ácido Cítrico	12.51
5	Ácido D-Galacturónico, Sigma 99%	13.70
6	D(+)-Glucosa, Sigma	14.83
7	D(+)-Frutosa, Merck	15.78
8	D(+)-Xilosa, Fluka, P.A. 99%	15.83
9	D(-)- Manitol, Merck	16.30
10	Ácido L(+) Láctico, Sigma	19.86
11	Glicerol, Sigma 99%	21,35
12	Metanol Scharlau, 99.8%	30.10
13	Etanol (99.97%)	34.18

Tiempos de retención de la curva de calibración:

Se preparó una curva de calibración con las condiciones cromatográficas de la Tabla II, en la misma se muestran los tiempos de retención de los analitos componentes de la curva de calibración de patrones de ácidos orgánicos, sacarosa y etanol que se desean separar de forma simultánea en mezclas complejas, como los caldos de fermentación.

Tabla II. Tiempos de Retención de la Mezcla de Ácidos Orgánicos, Sacarosa, Metanol y Etanol. Fase móvil: H_2SO_4 0.01N; Flujo: 1.2 ml/min; Temperatura: 80°C; Detector: índice de refracción.

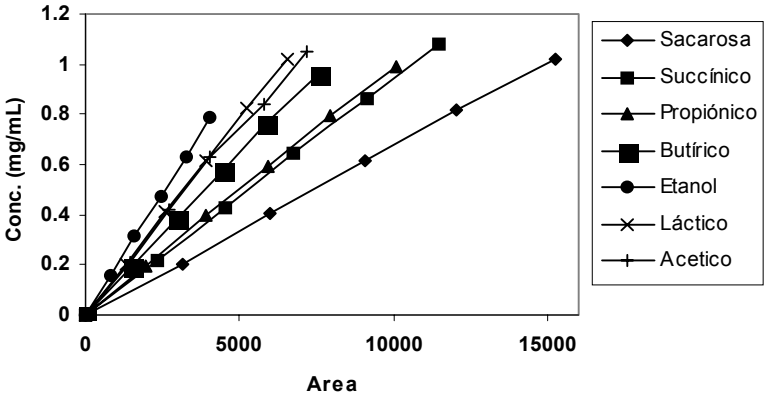
No	Analito	Tiempo de Retención (minutos)
1	Sacarosa	5.33
2	Acido Succínico	6.37
3	Ácido L(+) Láctico	7.17
4	Ácido Acético	8.23
5	Acido Propiónico	9.37
6	Acido Butírico	10.43
7	Etanol	12.10

Tabla III. Concentración de los Patrones de Ácidos Orgánicos, Sacarosa y Etanol

En la Tabla III se muestra el intervalo de concentraciones que corresponde a los cinco niveles crecientes de los analitos en la solución patrón. El método es lineal en ese rango de concentraciones con coeficientes de correlación de 0.999, excepto para el ácido acético que fue de 0.996. La Figura 1 muestra las curvas de calibración correspondiente a cada uno de estos analitos.

Analito	Rango (mg/ml)	r*
Sacarosa	0.20 - 1.02	0.9996
Acido Succínico	0.21 - 1.02	0.9995
Ácido L(+) Láctico	0.20 - 1.03	0.9999
Ácido Acético	0.20 - 1.04	0.9960
Ácido Propiónico	0.19 - 0.99	0.9991
Acido Butírico	0.19 - 0.95	0.9993
Etanol	0.15 - 0.79	0.9996

*Coeficiente Correlación Lineal de Respuesta



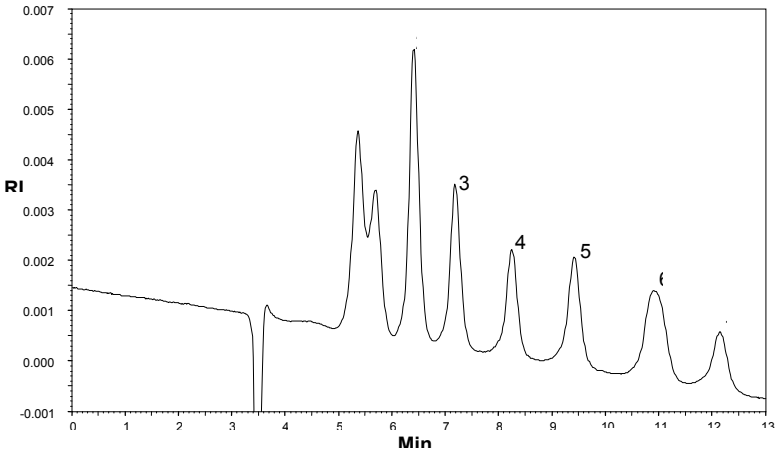


Figura 2. Perfil Cromatográfico de Patrones. Columna: EUROKAT H; Fase móvil: H_2SO_4 0.01 N; Flujo: 1.2 mL/min.; Temp. Columna: 80ºC; Vol. Inyección: 20 µL; 1- Sacarosa, 2- Ácido Succínico, 3- Ácido Lactico, 4- Ácido Acético 5- Ácido Propiónico, 6- Ácido Butírico, 7- Etanol.

La Figura 2 muestra el perfil de los patrones de ácidos orgánicos, sacarosa y etanol en el cual los picos de los siete analitos presentes en la mezcla se encuentran separados con una resolución mayor que 1.5. El pico 1 se presenta como un doble pico no resuelto que corresponde a los mono sacáridos fructosa y glucosa debido a la inversión de la sacarosa en medio ácido.

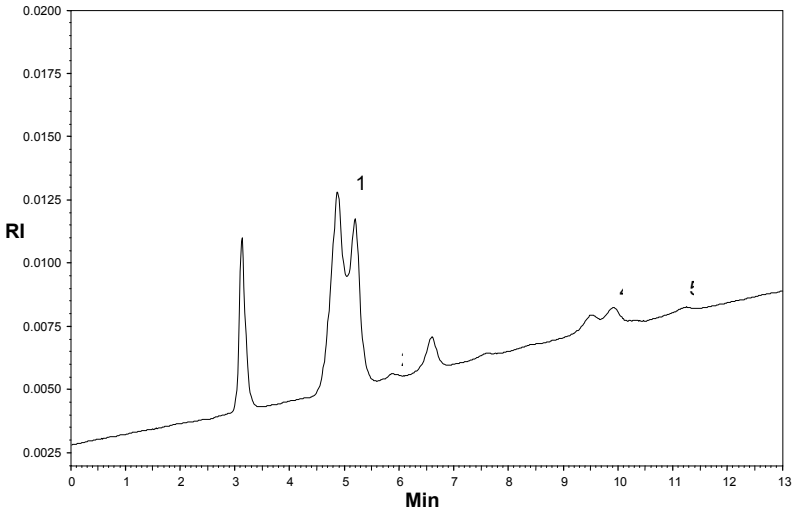


Figura 3. Perfil Cromatográfico de un Caldo de Fermentación a las 24 horas. Columna: EUROKAT H; Fase móvil: H_2SO_4 0.01N; Flujo: 1.2 mL/min.; Temp. Columna: 80ºC; Vol. Inyección: 20 µL; 1- Sacarosa, 2- Ácido Succínico, 3- Ácido Láctico, 4- Ácido Butírico, 5- Etanol.

En la Figura 3 se presenta el perfil de un caldo de fermentación obtenido a las 24 horas correspondiente a una cinética de obtención de ácido láctico. El análisis del caldo por este tipo de cromatografía permite en primer lugar ir comprobando el,consumo de la fuente de carbono por el microorganismo y a la vez la formación del ácido láctico. Se observa que el proceso no es homofermentativo pues se producen además los ácidos succínico y butírico que provocan su contaminación.

Conclusiones

Se demuestra las potencialidades de la columna empleada en este trabajo para el análisis, la separación y cuantificación de analitos en mezclas complejas en la cual se pueden separar simultáneamente ácidos orgánicos, azúcares y alcoholes de forma rápida y confiable con el empleo de una fase móvil no contaminante y barata,

Referencias

ASTM, (1995), Standard Test Method for Determination of Carbohydrates in Biomass by High Performance Liquid Chromatography, E1758-95.
Castiñeiras, A. y col., (2000), Comunicación personal
Chen, Z., Lu J., (2002), Journal of Chromatographic Science, Vol. 40, No 1, pp. 35-39

Doyon, G., Gaudreau, G., St-Gelais, D., (1991), Can. Inst. Sci. Technol J. Vol. 24, No. 1/2, pp 87-94
Falqué, E., Fernández, E., (1996), Journal of Chromatogaphic Science, Vol. 34, pp. 254-257
Fischer, L., Chapital, D., (1987), Journal of Chromatogaphic Science, Vol. 25, pp. 112-116

Redondo, D., Zayas, O., (2001), Revista ICIDCA "Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar", Vol. 35, No 2-3.
Santo Tomás, J. F., Bermello, A., (2003), Revista CubaAzúcar, Vol. XXXII, No.2, pp. 34-38
Thielecke, K., (2002), Subject 2. Oligosaccharides and Polisaccharides, Report presented to the 23rd Session of the ICUMSA

VALIDACIÓN DE LA DETERMINACIÓN DE ACIDO JASMÓNICO POR HPLC
VALIDATION OF JASMONIC ACID DETERMINATION BY HPLC

Grolamys Castillo*, Magdalena Lorenzo, Delfa Redondo, Grisel Ortega y Georgina Michelena.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar *(ICIDCA*). Vía Blanca 804. P. O. Box 4026. CP11000. La Habana. Cuba. Fax: (537) 338236. **E. Mail:** grolamys@icidca.edu.cu

Resumen

El ácido jasmónico (AJ) es una hormona vegetal endógena, que pertenece al grupo de los Jasmonatos y resulta esencial para diversos procesos fisiológicos y para el desarrollo de las plantas. El HPLC ha sido una de las técnicas cromatográficas más utilizadas para la separación de Jasmonatos utilizando columnas de fase reversa sin necesidad de derivatización y lográndose una alta resolución.. En este trabajo se muestra el estudio de validación realizado para la determinación de Acido Jasmónico por HPLC. Se utilizó una columna Hypersil ODS y como fase móvil metanol: agua (60:40) con ácido acético al 0.1% a un flujo de 0.85 ml/min. La detección se realizó a una longitud de onda de 210 nm. Se realizó el estudio de linealidad y se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.9995 y el coeficiente de variación de los factores de respuesta fue de 1.94 %. En el estudio de repetibilidad se obtuvo un CV del 2% y en el de reproducibilidad entre días se obtuvo un CV del 2.4%. La recuperación media total obtenida en el estudio de exactitud fue de 98 % con un CV del 0.8%.

Palabras claves: Ácido Jasmónico, Jasmonatos, HPLC, Validación

SUMMARY

The jasmonic acid (JA) is an endogenous plant hormone that belongs to Jasmonates group, which it is essential for diverse physiologic processes and for plant development. The HPLC has been one of the chromatographic techniques more used for the determination of JA using reverse phase columns without the necessity for derivatization achieving a high resolution. In the present paper, the validation study for JA determination by HPLC is showed. A Hypersil ODS column and a mobile phase of methanol: water (60:40) with acetic acid to 0.1% to a flow of 0.85 ml/min was used. The detection was carried out to a wavelength of 210 nm. The linearity study was realized and correlation coefficient of 0.9995 was obtained**.** The variation coefficient of the answer factors was of 1.94. Variation coefficients of 2% and 2.4% were obtained in the repeatability and reproducibility among day's studies respectively. The total half recovery was of 98% with a CV of 0.8% in the accuracy study.

Key Words: Jasmonic acid, Jasmonates, HPLC, Validation

Introducción

El HPLC ha sido una de las técnicas cromatográficas investigadas intensamente, para la separación de Jasmonatos, siendo la detección UV la más comúnmente usada debido a su sensibilidad. Múltiples técnicas han sido desarrolladas, tanto en condiciones isocráticas como empleando gradiente. Permite obtener resultados altamente confiables, por el alto grado de resolución que se logra y no requiere derivatización previa (Ueda, 1994). Las columnas de polaridad media como las RP-8 y las no polares como las RP-18 han sido utilizadas ampliamente para este tipo de determinación. (Miersch, 1989 y Ueda, 1991) En general, como fase móvil se han utilizado sistemas de metanol-agua con bajas concentraciones de ácido acético o fosfórico (Dathe, 1991).

Materiales y Métodos

Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Se utilizó una bomba K 1001 KNAUER acoplada a un detector Ultravioleta KNAUER, un inyector RHEODYNE (modelo 7125) con un lazo de 20 μL

El patrón utilizado es el (±)-Acido Jasmónico SIGMA.

La fase móvil compuesta de metanol- agua (60:40) con ácido acético al 0.1 % (v/v). Se utilizó un flujo de 0.85 ml/min utilizando una columna Hypersil ODS (25cm x 4.6mm x 5μm d.i.). La detección se fijó a una longitud de onda de 210 nm. El tiempo de corrida fue de 15 min.

Preparación de la muestra:

Al extracto rotoevaporado se le realiza la dilución requerida en la fase móvil, de manera tal, que la respuesta del detector esté dentro del rango correspondiente a la curva de calibración. Posteriormente se filtra por filtros de jeringuilla ISO DISC de 0.45 μm para realizar la inyección al cromatógrafo.

La cuantificación del AJ presente se basó en la comparación de las áreas de los picos con los correspondientes a las áreas de los picos de los patrones según el método del estándar externo, usando el software CRHOM- GATE, KNAUER para la adquisición y procesamiento de los datos.

5.4.1 Validación del método: Linealidad, precisión y exactitud

Se realizaron estudios de precisión, repetibilidad, reproducibilidad y exactitud según las normas ISO-9000 y la Norma Catalana 1994.

Se realizó el test de linealidad y de proporcionalidad con seis concentraciones crecientes de analito que se inyectaron por triplicado para un total de 18 determinaciones y que incluyen un intervalo de concentraciones del 20- 120 % de la teórica.

Parámetros cromatográficos

La cuantificación del ácido jasmónico se realizó mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) siendo este un método útil, de gran sencillez y de fácil aplicación, se realizó la puesta a punto de la técnica sin gradientes es decir de modo isocrático y sin necesidad de derivatización, lo cual corrobora lo planteado por Ueda y col (1994) respecto a la utilidad del uso de esta técnica para este tipo de determinaciones.

Se utilizó una columna de fase reversa, teniendo en cuenta, que este tipo de columna está reportada en la literatura como la más empleada para el ánalisis de este tipo de sustancias (Barendse y col., 1980; Yamane, H, 1981; Miersch, 1989; Ueda,1991; Koda, 1992). En nuestro caso particular, se utilizó una columna Hypersil ODS de 5 micras.

Considerando lo planteado por Eng. (1999) se decidió probar la fase móvil recomendada de metanol: agua (60:40) con ácido acético al 0.1 %. Se estudiaron pequeñas variaciones en el flujo de la fase móvil y se decidió utilizar un flujo de 0.85 ml/min con una presión de 130 bar. Se logró una muy buena resolución con estas condiciones, lo cual puede apreciarse en los cromatogramas de las figuras 6 y 7.

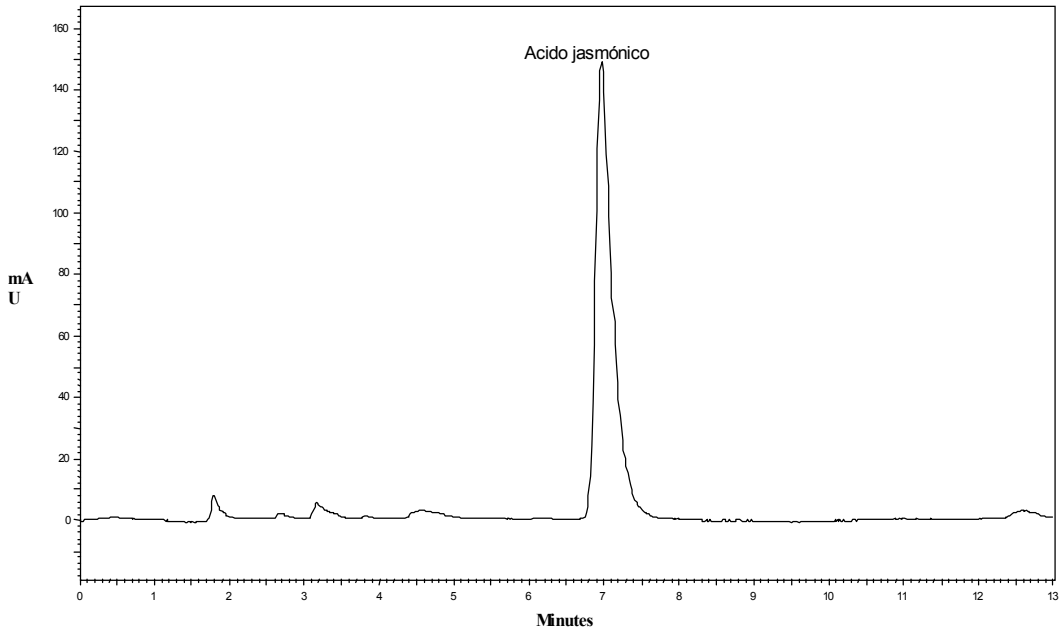


Figura 6 Cromatograma obtenido por HPLC del ácido Jasmónico Patrón

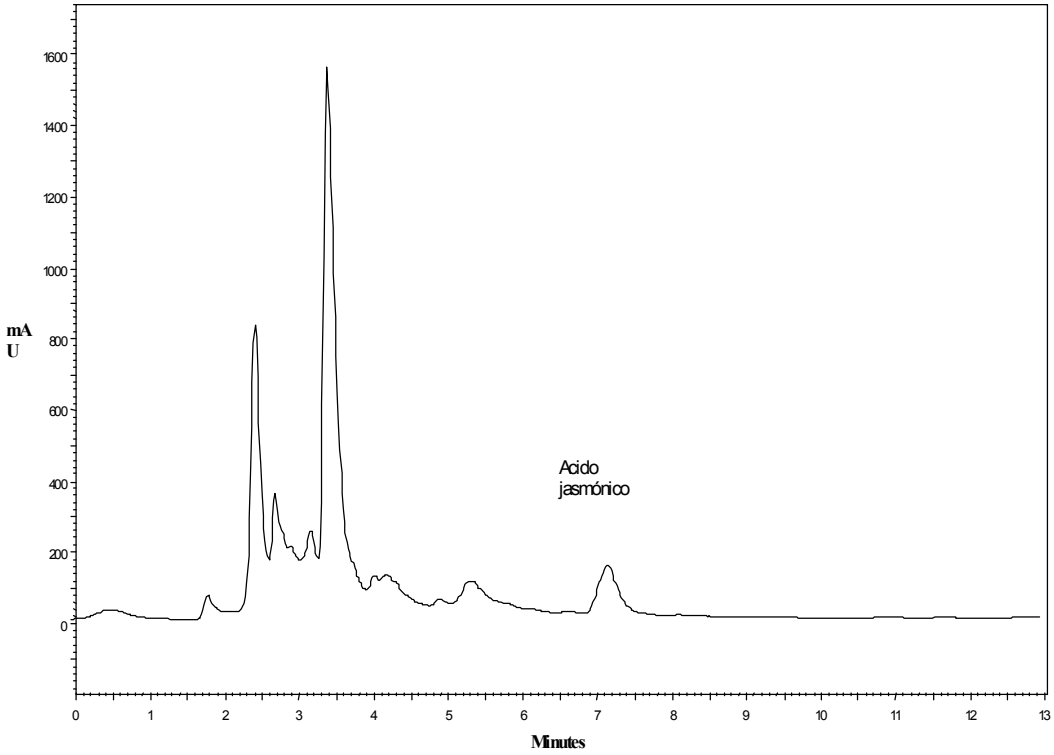


Figura 7 Cromatograma obtenido por HPLC de una muestra donde se identifica el AJ.

La detección se realizó mediante un detector fotométrico de diodos se fijó a una longitud de onda de 210 nm. y se realizó la calibración con el patrón de AJ.

En la tabla VIII se reportan el tiempo de retención (TR) del AJ con la media su desviación estándar y coeficiente de variación

Tabla VIII. Tiempos de Retención

Compuesto	Tiempo de Retención	
	Media (DS)	CV (%)
AJ	6.92 ± 0.02	0.32

Se realizó la evaluación de la linealidad para el método la cual se muestra en la Tabla IX para el AJ, dentro del rango de concentración estudiado. El test de Linealidad realizado mostró un coeficiente de correlación de 0.9995 y el coeficiente de variación de los factores respuesta de 1.94 es decir por debajo del 5%, al igual que la desviación estándar relativa (S_b rel.) de la pendiente que está por debajo del 2% y los límites de confianza del intercepto incluyen al cero; cumpliendo así con los criterios de linealidad planteados en la Norma Catalana (1994)., además se comparó la t_{exp} con la tabulada dando valores mayores lo cual indica que la probabilidad de ser la pendiente (b) diferente de cero es muy elevada para este intervalo de confianza con lo que se cumple la condición de linealidad.
La evaluación de la linealidad se muestra en la Tabla IX para el AJ, dentro del rango de concentración estudiado (entre el 20 y 200% del valor nominado) donde se obtuvo un coeficiente de correlación mayor que el 0.99 con $p<0.05$.

Tabla IX. Coeficiente de correlación y rango de concentración.

COMPUESTO	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	RANGO DE CONCENTRACIÓN
AJ	0.9962	0.1-1.0 (mg/ml)

En el test de proporcionalidad los límites de confianza del término independiente incluyen el cero por lo que podemos decir que el método analítico no presenta sesgo.

Se estudió la precisión del método cromatográfico, incluyendo repetibilidad y reproducibilidad entre días,. Para la repetibilidad se inyectó 10 extractos de caldos en el mismo día y la reproducibilidad intermedia entre días se estudió durante tres días, a un nivel dado de concentración. Los resultados se muestran en la tabla X.

Tabla X. Estudio de precisión del método

Compuesto	Repetibilidad N=10				Reproducibilidad	
	Inyección		Método			
	Media (área)	CV(%)	Media (área)	CV(%)	Media (área)	CV(%)
AJ	2467456	1.73	5109871	2.00	2534349	2.40

El resultado obtenido está en concordancia con lo reportado por la norma Catalana consultada donde refiere que los criterios de aceptación para los coeficientes de variación para estos estudios deben ser para el caso de la repetibilidad entre un 2-3 % y en el de la reproducibilidad entre 4-5 %
El estudio de exactitud para el AJ se realizó calculando los porcientos de recuperación de la inyección en el equipo. Los resultados se muestran en la tabla VII. Se añadió una cantidad conocida de patrón en dos niveles de concentración a la muestra extraída con acetato de etilo. La recuperación media total fue de 98 % con un CV del 0.8%, la cual se puede considerar satisfactoria ya que al aplicar el test de la t de Student se encontró que la t_{exp} es menor que la tabulada por lo que no existe diferencia significativa entre la recuperación media y el 100% por lo que el método analítico tiene la exactitud requerida.

Tabla XI. Estudio de la exactitud del método.

CANTIDAD AJ (mg) AÑADIDA	PORCIENTOS DE RECUPERACIÓN (%)
0.1	97
0.2	92

En el Anexo 3 y 4 se muestra el estudio estadístico realizado utilizando microsoft Excel.97

Bibliografía:

1. Dathe, W., et al, (1981) Endogenous Plant. Hormones of the broad bean Vicia faba L-(-) Jasmonic acid, a Plant Growth Regulator Inhibitor in Pericarp. Planta, 153, 530-535.
2. Dathe, W., Schindler, C., Schneider, G. (1991) Phytochemistry,30,1909.
3. Dathe,W et al (1993) Reguladores del crecimiento en plantas. 12,133-140
4. Eng, F. (1996). Producción de Acido Jasmónico con *Botryodiplodia theobromae* por cultivo liquido y por fermentación en medio sólido. Tesis presentada para obtener el grado de Maestro en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad- Iztapalapa. División de Ciencias Biológicas y de la salud. Mexico, D. F.
5. Delgado, G. (1999). Procedimiento Biotecnológico para la obtención de Giberelinas. Tesis para optar por el Título de Maestro en Ciencias Microbiológicas en la Mención Fermentaciones Facultad de Biología. Universidad de La Habana. Ciudad de La Habana. Cuba.
6. Koda, Y. (1992).The role of jasmonicacidand related compounds in the regulation of plant development. *Int. Rev. of citology.* Vol. 135, pp. 155-199
7. Lorenzo O. y col (2002). VIII Simposio Metabolismo y modo de acción de fitohormonas, Sevilla, España.
8. Miersch, O. and others. (1987). *Phytochemistry.* Vol. 26, pp. 1037-1039
9. Miersch, O. and others. (1989) *Phytochemistry,* 28, 1303.
10. Miersch, O. and others. (1993). "Jasmonates from different fungal species". *Natural Product Letter*. 2, pp. 293
11. Schmidt, J., Kramell, R., Schneider, G (1995).Liquid chromatography electrospray tandem mass spectrometry of amino acid conjugates of jasmonic acid under positive and negative ionisation. Eur. Mass Spectrom 1, 573- 581
12. Ueda, J.; Kato, J. (1980). Isolation and Identification Senescence Promoting Substance from Wormwood (Arthemisia absinthium L). Plant Physiol. 66: 246-249.
13. Ueda, J. and Kato, J, (1982) Agric. Biol. Chem., 46, 1975.
14. Ueda, J. and Kato, J, (1982) Plant Growth Regul., 1, 195.
15. Ueda, J. et al (1991) Biochem. Physiol. Pflanzen, 187, 203.

16. Ueda, J.; Miyamoto, K.; Kamisaka, S. (1994). Separation of a New Type of Plant Growth Regulator, Jasmonates by chromatographic procedures. Journal of Chromatography A. 658: 129-142

VALIDACIÓN DE LA TÉCNICA: “DETERMINACIÓN DE ÁCIDO JASMÓNICO (AJ) EN FERMENTACIÓN DE BOTRYODIPLODIA THEOBROMAE POR CROMATOGRAFÍA GASEOSA”

VALIDATION OF THE TECHNIQUE: "DETERMINATION OF JASMONIC ACID (AJ) IN FERMENTATION OF BOTRYODIPLODIA THEOBROMAE BY GAS CHROMATOGRAPHY "

Lorenzo, M.*; González, J.; Ortega, G.; Bermello, A.; Michelena, G.; Eng, F.

ICIDCA, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Apartado Postal 4026, Vía Blanca 804, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, CUBA. E-Mail: mlorenzo@icidca.edu.cu

Resumen

Los reguladores de crecimiento vegetal (RCV), conocidos como fitohormonas, participan en el control del desarrollo de las plantas. El ácido jasmónico (AJ) y sus derivados tienen carácter endógeno y pertenecen al grupo de los reguladores de crecimiento vegetal, denominados jasmonatos. Se procedió al aislamiento, la identificación y cuantificación del ácido jasmónico para su caracterización, se realizó la validación de la técnica por cromatografía gaseosa para con esto lograr el control de la concentración empleada en los cultivos que es decisivo para lograr el efecto esperado en las plantas. Los extractos del caldo fermentado se analizaron por IR antes y después de ser convertidos en su forma de metil éster y éstos últimos fueron analizados por Cromatografía Gaseosa (CG) utilizando columna empacada con fase impregnada al 3% de OV- 225 sobre supelcoport 80-100 mesh, el cálculo de concentración se realizó por el método del estándar interno. Se realizaron estudios de precisión, repetibilidad (CV<2%), reproducibilidad (CV<5%) y exactitud con valores de recobrado de 98% según las normas ISO-9000 y la Norma Cubana 2001. El test de Linealidad realizado mostró un coeficiente de correlación de 0.9989

Palabras claves: jasmonatos, ácido jasmónico, cromatografía gaseosa, validación.

Abstract

The plant growth regulator (PGR), are well known as fhytohormones, they participate in the control of plants’ development. Jasmonic acid (AJ) and its relatives compounds have endogenous character and they belong to the group of plant growth regulator, denominated jasmonates. The isolation, identification and quantification of jasmonic acid for their characterisation were realized. The validation of gas chromatography technique was carried out. The control of concentration used is necessary because it is decisive to achieve the effect waited in the plants. With IR analyse the extracts of the fermented broth before and after their conversion into methyl ester forms. At last the extracts were analysed by CG using column packed with phase impregnated to 3% of OV - 225 on supelcoport 80-100 mesh. The method of the internal standard was carried out for the concentration calculation. The studies of precision, repeatability (CV <2%), reproducibility (CV <5%) and accuracy were realized according to the norms ISO-9000 and the Cuban Norm 2001 achieving recovered values of 98%.. The test of linearity showed a correlation coefficient of 0.9989

Key words: jasmonates, jasmonic acid, gas chromatography, validation.

INTRODUCCIÓN

Los reguladores de crecimiento vegetal, conocidos como fitohormonas o también llamados biorreguladores participan en el control del desarrollo de las plantas por un delicado balance entre el crecimiento y los factores que lo coordinan.

Se conocen alrededor de 400 RCV en la actualidad, de estos se reporta que el 75 % son de origen microbiano y el resto se obtiene por vía química o son producidos por las plantas (Gross D y Parthier B, 1994). El ácido jasmónico (AJ) y sus derivados pertenecen al grupo de los reguladores de crecimiento vegetal (RCV), denominados jasmonatos. El ácido jasmónico (AJ) es un regulador del crecimiento vegetal endógeno, que tiene un comportamiento similar al ácido abscísico, es sintetizado de manera natural por una gran variedad de especies vegetales (Meyer et al, 1984). El desarrollo de las técnicas analíticas necesarias para la identificación, aislamiento y cuantificación de los jasmonatos a lo largo del siglo XX permitieron la caracterización de estos tipos de moléculas como ubicuas en plantas reportándose valores entre 10 ng y 3 μg de AJ/g de peso fresco (Mueller and Brodschelm, 1994). Se aisló en 1971 a partir de sobrenadantes de cultivo del hongo *Lasiodiplodia theobromae* y fue identificado como un potente inhibidor del crecimiento y senescencia de las plantas (Aldridge et al, 1971) aunque previamente se había aislado el correspondiente éster metílico volátil de la esencia de jasmín (Demole et al.,1962).

Los estudios realizados en cultivo líquido revelaron que ***Botryodiplodia theobromae,*** es un hongo fitopatógeno de zonas tropicales y subtropicales que es capaz de producir este tipo de sustancia como resultado de su metabolismo secundario con rendimientos satisfactorios (Miersh et al, 1987)

Hasta el momento, la vía predominante es la extracción de fuentes naturales, en las que el AJ se encuentra a muy bajos niveles por lo que el producto se coloca en el mercado mundial a un alto costo, en el que solo es vendido en calidad de reactivo a precios que oscilan entre 300-400 USD.g^{-1}.

A partir de la década de los ’80, se pudo demostrar otros efectos del AJ, incremento de rendimientos agrícolas en fresa, soja y caña de azúcar; estimulación de la formación de tubérculos en *Discorea* spp, ***Helianthus tuberosus*** y papa; maduración de frutos en tomates y manzanas y un especial papel en los mecanismos de defensa de las plantas. Se conoce que la activación de genes en las plantas por el ataque de patógenos o por heridas mecánicas, provoca en las zonas dañadas la síntesis de sustancias de defensa, siendo una de ellas el inhibidor de proteasas y la tripsina (Agrawal, A. A, 2000). Se ha podido demostrar que la adición exógena de AJ a las plantas estimula la formación de estas sustancias e interviene en las funciones de protección en cultivos de alfalfa, papa, tomate y tabaco.

El Programa de ¨Biotecnología Agrícola¨desarrollado por el CITMA en Cuba, tiene entre sus principales objetivos la obtención y desarrollo de biorreguladores, con formulaciones más eficaces de aplicación agrícola y el estudio de su mecanismo de acción. Dentro del proyecto de “Desarrollo de tecnologías de producción de Biorreguladores” se hace necesario la identificación, aislamiento y cuantificación de los jasmonatos para su caracterización y lograr el control de las dosis o concentración empleada en los cultivos lo que puede ser decisivo para lograr realmente el efecto deseado en la planta.

El objetivo del trabajo fue realizar la validación de la técnica establecida para la determinación y cuantificación de AJ por CG en caldos de ***Botryodiplodia theobromae*** incluyendo las pruebas de precisión, linealidad y exactitud.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la muestra

A 5 ml del caldo de fermentación obtenido por vía microbiana, utilizando cepas silvestres de *Botryodiplodia theobromae*, previamente filtrado y centrifugado, se le ajustó el pH a 3.0 con una solución de HCl (Strzelczyk and others, 1984).Se realizó una extracción líquido- líquido con acetato de etilo, que es repetida 3 veces consecutivas, con 5 ml en cada ocasión y se rotoevaporó el extracto hasta sequedad.

Cromatografía de gases.

Derivatización con Diazometano

Preparación de la Solución de Metilación (SM): En un tubo de ensayo con tapa se adicionan 2 ml de solución de KOH saturada, 10 ml de éter dietílico frío y aproximadamente 1 g de nitrosometil urea, se deja reaccionar hasta que tome una coloración amarillo verdosa.

Estándar Interno (EI) Se pesan exactamente con micro balanza analítica 2 mg del estándar interno (ácido esteárico).

Preparación de la porción de ensayo: En un balón de 250 ml de volumen conteniendo la muestra seca que fue extraída con acetato de etilo se le adiciona los 2 mg de estándar interno y se somete al proceso de metilación.

Proceso de Metilación: De la SM preparada se toman con micropipeta (volumen variable de 1-1000 µL) 2 ml de la parte etérea y se adicionan a la porción de ensayo con el estándar interno. Esto se realiza tanto para la curva patrón como para las muestras

La detección y cuantificación del ácido jasmónico por cromatografía gaseosa se realizó en un equipo HITACHI con Detector de Ionización por Llama (FID), acoplado a Sistema Computarizado de Adquisición de Datos con columna cromatográfica de vidrio empacada con fase estacionaria al 3% de OV-225 sobre supelcoport 80-100 mesh de 2.1 m de largo, 3.0 mm de d. i.

Condiciones Cromatográficas

Temperatura de columna: 190°C isotérmico
Temperatura del inyector: 230°C
Temperatura del detector: 230°C
Modo de inyección: on colunm.
Caudal de gas portador: 30 mL/min

La cuantificación del AJ presente se realizó según el método del estándar interno, utilizando el software BIOCROM (CIGB; Habana, Cuba) para la adquisición y procesamiento de los datos.

Validación del método: Linealidad, precisión y exactitud

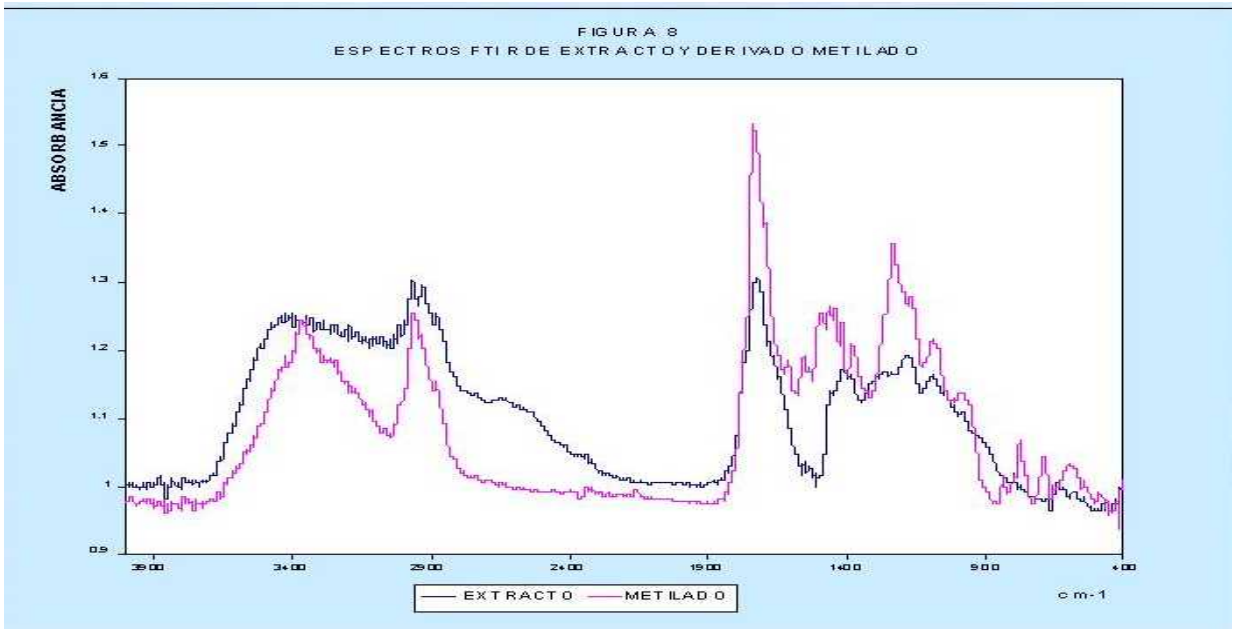
Se realizaron estudios de precisión, repetibilidad, reproducibilidad y exactitud según la Norma Cubana 2001.

Se realizó el test de linealidad y de proporcionalidad con cuatro concentraciones crecientes de analito que se inyectaron por triplicado para un total de 12 determinaciones y que incluyen un intervalo de concentraciones del 20- 120 % de la teórica.

Espectrometría infrarroja. Preparación de la muestra.
Los espectros en el Infrarrojo medio con transformada de Fourier (FTIR) de las muestras derivatizada y sin derivatizar se midieron con una resolución de 4 cm^{-1}, con 32 ciclos, en películas entre ventanas de KBr, en el rango de 4000 a 500 cm^{-1}, (en un espectrómetro FTIR modelo VECTOR 22 de la Brücker Optik, Alemania y) en un espectrómetro FTIR de la Pye Unicam, Reino Unido. Los espectros se convirtieron a unidades de Absorbancia. A los espectros medidos en el VECTOR 22 se les realizó el ajuste de la línea base mediante el método de líneas rectas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Espectrometría FTIR
Los espectros FTIR de las muestras derivatizada y sin derivatizar se asignaron utilizando el programa ASIR v2,0 (ICIDCA, 1997), que es un sistema automatizado para la asignación de las absorciones características de los grupos funcionales químicos más relevantes en el espectro Infrarrojo (García J. A., y otros, 1999) y literatura especializada (Neto, C. D., 1991). Esto se realizó con el objetivo de corroborar la derivatización de las muestras que se metilan para ser analizadas por CG.



Al comparar los espectros FTIR (Figura 1) del extracto y el compuesto derivatizados apreciamos las siguientes características, que corroboran la metilación del extracto:

- Desaparición en el compuesto Metilado, de las vibraciones de valencia de los grupos OH acídicos, en los 3000 cm^{-1}, y de los sobretonos del grupo ácido en la región de 2700 a 2300 cm^{-1} por lo que se puede afirmar que la esterificación es prácticamente total.
- Incremento de las intensidades de las vibraciones características de éster en el compuesto Metilado (bandas en 1737, 1236, 1196 y 1093), lo que corrobora la esterificación en este compuesto

Cromatografía de gases. Validación de la técnica

Se logró establecer una técnica isotérmica para la separación del ácido jasmónico en el nivel de línea base con un tiempo de corrida de 12 mín. con buena resolución entre los picos (mayor de 1.0) y la cuantificación se realizó con el uso de estándar interno.Se logró muy buena resolución con estas condiciones, lo cual puede apreciarse en los cromatogramas de las figuras 2 y 3.

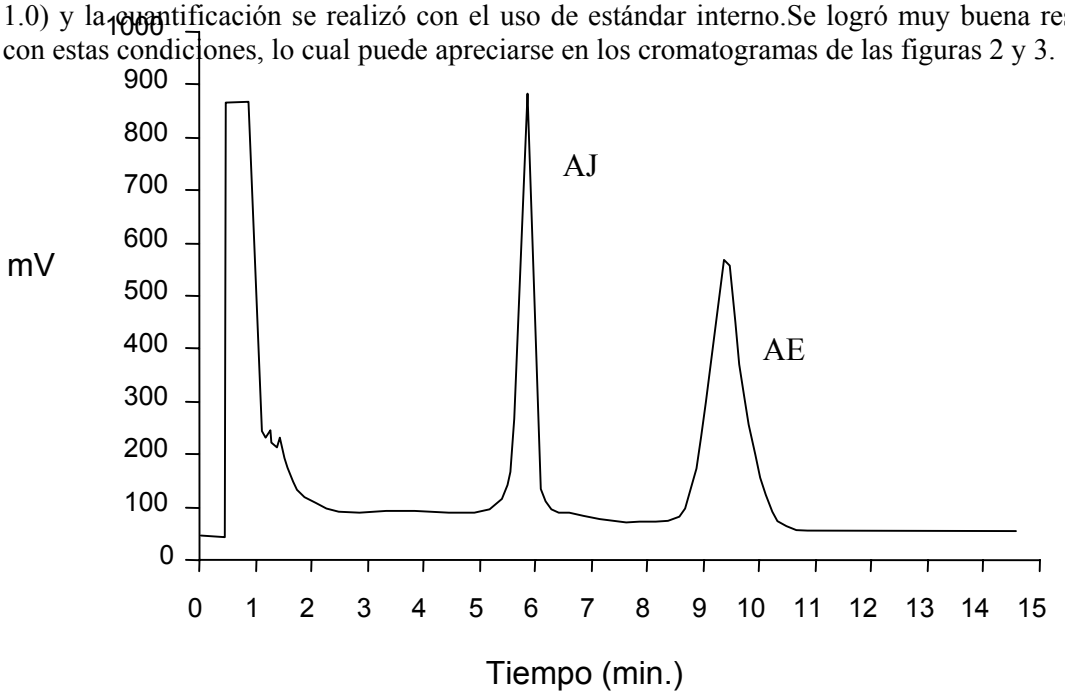


Figura 2 Cromatograma obtenido por CG del ácido Jasmónico Patrón y el estándar Interno.

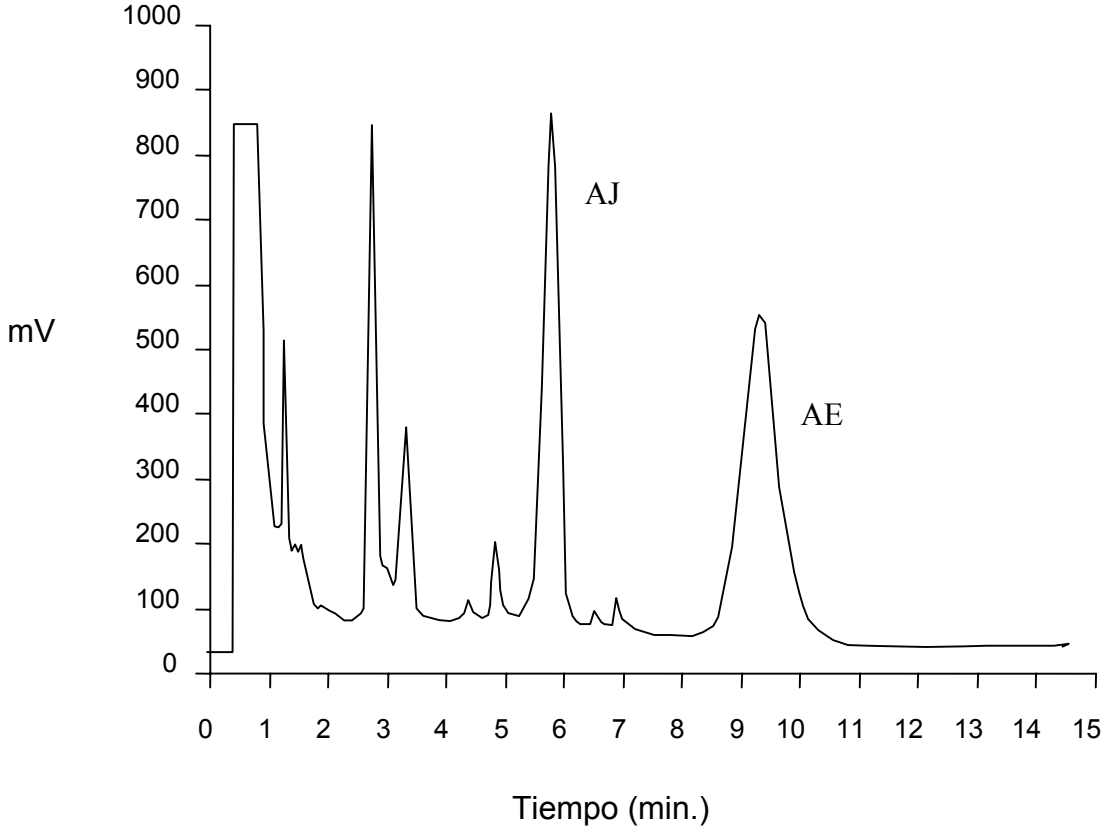


Figura 3 Cromatograma obtenido por CG de una muestra donde se identifica el AJ.Patrón y el estándar interno

La detección se realizó mediante un detector de ionización por llama (FID) y se realizó la calibración con el patrón de AJ.

En la tabla I se reportan los tiempos de retención (TR) del AJ y del estándar interno ácido esteárico (AE) con las medias su desviación estándar y coeficientes de variación

Tabla I Tiempos de Retención

Compuesto	Tiempo de Retención N=10; p<0.05	
	Media (DS)	CV (%)
AJ	5.94 ± 0.02	0.4
AE	9.14 ± 0.01	0.2

Linealidad

La evaluación de la linealidad se muestra en la Tabla II para el AJ, dentro del rango de concentración estudiado (entre el 20 y 200% del valor nominado) donde se obtuvo un coeficiente de correlación mayor que el 0.99 con $p<0.05$.

Tabla II. Coeficiente de correlación y intervalo de concentración.

COMPUESTO	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	INTERVALO DE CONCENTRACIÓN
AJ	0.9989	1.2-4.2 (mg/L)

La prueba de linealidad realizada mostró un coeficiente de correlación de 0.9989 y el coeficiente de variación de los factores respuesta de 2.86, además se cumple la condición de linealidad ya que al comparar la t_{exp} con la tabulada ($p<0.05$; $n=12$) ésta da valores mayores lo cual indica que la probabilidad de ser la pendiente (b) diferente de cero es muy elevada para este intervalo de confianza.

Podemos decir que el método analítico no presenta sesgo ya que al aplicar el test de proporcionalidad los límites de confianza del término independiente incluyen el cero.

Precisión

Se estudió la precisión del método cromatográfico, incluyendo repetibilidad y precisión intermedia entre días. Para la repetibilidad se inyectó 10 extractos de caldos en el mismo día y la reproducibilidad intermedia entre días se estudió durante tres días, a un nivel dado de concentración. Los resultados se muestran en la tabla III.

Tabla III. Estudio de precisión del método

Compuesto	Repetibilidad		Precisión intermedia	
	Método			
	Media (área)	CV (%)	Media (área)	CV (%)
AJ	$15.13x10^{-5}$	1.99	$7.72x10^{-5}$	1.49

Los criterios de aceptación para los coeficientes de variación para estos estudios deben ser para el caso de la repetibilidad entre un 2-3 % y en el de la reproducibilidad entre 4-5 % por lo que podemos decir que los resultados obtenidos están en concordancia con lo reportado por la norma Cubana 2001 consultada.

Exactitud

El estudio de exactitud para el AJ se realizó calculando los porcientos de recuperación desde la preparación de la muestra hasta la inyección en el equipo. Los resultados se muestran en la tabla IV. Se partió de un caldo al que se le añadió una cantidad conocida de patrón en dos niveles. La recuperación media total fue de 98 % con un CV del 0.8%, la cual se puede considerar satisfactoria ya que al aplicar la prueba de la t de Student se encontró que la t_{exp} es menor que la tabulada ($p<0.05$; $n=2$) lo cual significa que ambos valores no son estadísticamente diferentes y que el método analítico tiene la exactitud requerida

Tabla IV. Estudio de la exactitud del método.

CANTIDAD AJ (mg) AÑADIDA	PORCIENTOS DE RECUPERACIÓN (%)
1.5	97
3	98

CONCLUSIONES

- Las bandas en los espectros FTIR de las muestras nos permite afirmar que los extractos obtenidos no son compuestos puros. Al comparar los espectros FTIR del extracto sin derivatizar y el derivatizado apreciamos que ha ocurrido la esterificación del compuesto..
- Se lograron buenos resultados de linealidad mostrando valores por encima del 0.99 en los coeficientes de correlación y el coeficiente de variación de los factores respuesta por debajo del 5% , repetibilidad entre un 2-3 % y reproducibilidad entre 4-5 % así como también una exactitud adecuada para el método de cromatografía gaseosa desarrollado.

REFERENCIAS

- Agrawal, G. K., Jwa, N. S. and Rakwal, R. (2000).*Biochemical and Biophysical Research Communications* 274, 157-165
- Aldridge, DC., Galt,S., Giles, D., Turner, W.D. (1971) Metabolites of Lasiodiplodia theobromae, J. Chem. Soc., Section C 1623-1627
- Demole, E., Lederer, E., Mercier, D (1962). Isolement et determination de la structure du jasmonate de methyle, constituant odorant characteristique de léssence de jasmin Helv. Chim. Acta 45, 675- 695
- García J. A.., A. Bermello y otros (1999). *Algoritmo para la asignación automatizada de espectros infrarrojo*. Afinidad, Tomo LVI, 484, p. 349 – 359.
- ICIDCA (1997). Programa ASIR v 2.0.
- Norma Cubana Experimental (2001) Guía para la validación de Métodos de Ensayos Químicos para Alimentos. Proyecto para circular, 7ma , Revisión . 1ra Edición . Oficina Nacional de Normalización (NC)
- Meyer,A., Miersch, O., Buttner, C., Dathe, W., Sembdner, G (1984) Occurrence of the plant growth regulator jasmonic acid in plants. J. Plant growth Regul. 3, 1-8
- Miersch, O. and others. (1987). *Phytochemistry.* Vol. 26, pp. 1037-1039
- Mueller, M. J.., Brodschelm, W. (1994) Quantification of jasmonic acid by capillary gas chromatography- negative chemical ionization- mass spectrometry. Anal. Biochem. 218, 425-435

Neto, G. C., Kono, Y., Hyakutake

UTILIZACION DEL ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL EN LA CARACTERIZACION DE NUEVOS MATERIALES OBTENIDOS POR DIFERENTES VIAS DE SINTESIS.

Cristina Gastón, Adolfo Hernández, Migdalia Dopico, Yusleydis Carret, Milaydis Reyna.
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA. Apartado 4026, Ciudad de la Habana; Cuba. e-mail: cristinag@icidca.edu.cu

RESUMEN

El trabajo trata de la utilización de las técnicas de Análisis Térmico, en especial la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y la Termogravimetría (TG), como un valioso instrumento en la caracterización de nuevos materiales, en este caso, el estudio del comportamiento térmico del Poliacetato de Sacarosa y Poliuretanos obtenidos por diferentes vías de síntesis.

El empleo de estas técnicas de avanzada, de gran aplicación en materiales poliméricos, permitió determinar de modo cualitativo las diferencias o semejanzas que desde el punto de vista térmico pudieran aparecer en ambos casos ya que, como es conocido, la huella térmica de un material es única siempre que se registre el termograma en igualdad de condiciones.

El estudio realizado permitió, además, determinar la estabilidad térmica, la entalpía, perdida de peso cuantitativa en función de la temperatura y otros parámetros, que nos permitieron corroborar que los valores encontrados en ambos casos se encuentran en un mismo rango y que también coinciden con los reportados por la literatura para materiales similares.

Los termogramas de las muestras estudiadas, en un caso el Poliacetato **A** y el Poliuretano **A** fueron obtenidas por un método tradicional de síntesis y el Poliacetato **M** y el Poliuretano **M** por un método de síntesis no convencional, reportándose, en ambos casos, los resultados obtenidos de modo comparativo

SUMMARY

The present work deals about the use of Thermal Analysis techniques, especially with Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Thermogravimetry (TG) as a valuable instrument in the characterization of new materials, in this case, the thermal behavior of sucrose polyacetate and polyurethanes obtained by different methods of synthesis.

The employment of these modern techniques, very useful in polymeric materials, granted to determine, in qualitative mode, the differences and similarities, that from the thermal point of view, could appear in both cases, because, as it is known, the thermal fingerprint of a material is unique if the thermogram be realized in equal conditions.

The achieved study allowed to determine the thermal stability, the enthalpy, the quantitative weight loss in function of the temperature and other parameters that granted us to corroborate that the found values, in both cases, are in the same range and also agree with those reported in literature.

The thermograms of the studied samples, in one case, the Polyacetate **A** and Polyurethane **A,** agree with products that were obtained by traditional methods of synthesis and, in the other case, the Polyacetate **M** and Polyurethane **M**, to those prepared by a non conventional method of synthesis being reported, in both cases the results in comparative form.

UTILIZACION DEL ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL EN LA CARACTERIZACION DE NUEVOS MATERIALES OBTENIDOS POR DIFERENTES VIAS DE SINTESIS.

Cristina Gastón, Adolfo Hernández, Migdalia Dopico, Yusleydis Carret, Milaydis Reyna.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA. Apartado 4026, Ciudad de la Habana; Cuba. e-mail: cristinag@icidca.edu.cu

Introducción:

Las técnicas de análisis térmico, han sido ampliamente utilizadas en la caracterización de nuevos materiales ya que la versatilidad y exactitud de los parámetros que permite determinar, le han ganado un papel preponderante en el estudio del comportamiento térmico de los mismos y en especial en el caso de materiales polimericos.

Dentro de este campo, los poliuretanos obtenidos partiendo de diferentes materias primas con aplicaciones diversas en la industria, no escapan a la necesidad de un estudio riguroso que permita conocer sus características de modo que la aplicación de los mismos se lleve a cabo de una manera mas efectiva. Es por ello que en nuestro caso y se decidió aprovechar las posibilidades que nos brinda la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y la Termogravimetría (TG) , no solo en conocer las características del poliuretano obtenido por diferentes vías de síntesis, sino también en comparar su comportamiento térmico ya que este puede ser un punto de referencia importante a la hora de predecir sus posibles semejanzas y diferencias.

El Poliuretano **A** el cual fue obtenido mediante un método convencional de síntesis, fue sintetizado partiendo de un poliacetato o éster de sacarosa que a su vez se elaboró por un procedimiento también convencional, y en el caso del Poliuretano **M** , al igual que el poliacetato, fue obtenido por un método de síntesis no convencional.

Materiales y métodos:

Poliacetato de sacarosa **A**
Poliuretano **A.**
Poliacetato de sacarosa **M**
Poliuretano **M**
Equipo METTLER TA 4000 Suizo

Método de Síntesis del Poliacetato de Sacarosa A

Para obtener el Poliacetato A [Hernández A., 2004] se mezclan Sacarosa, Acetato de Sodio y Anhídrido Acético, con agitación y reflujo cercano a 100 0C, controlando la acetilación en pequeñas porciones y a intervalos de tiempo constantes. El producto purificado se lava varias veces con agua y se desechan las porciones solubles hasta quedar libre de poliacetatos de Sacarosa de baja sustitución, de acuerdo a los análisis por Cromatografía de Placa Delgada, a fin de obtener una mezcla de dioles y trioles de Sacarosa.

Síntesis del Poliuretano A

La síntesis se realizó sin solvente ni catalizador, en fase heterogénea. Para la obtención del Poliuretano de Sacarosa, se utilizan Poliacetato de Sacarosa, Polietilenglicol y Diisocianato de

Tolueno. En un reactor de vidrio con atmósfera inerte, provisto de agitación y control de temperatura, se mezclaron el Polietilenglicol y el Poliéster de Sacarosa hasta fusión y homogeneización de la masa de reacción. Se añadió el diisocianato de Tolueno y se mantuvo la agitación alrededor de 50 minutos. El producto obtenido se disolvió en Tetrahidrofurano y se secó al aire . Al producto seco se le realizaron varios lavados con etanol y se secó al aire.

Método de Síntesis de Poliacetato de sacarosa M

Esterificación mediante ondas ultrasónicas:

La esterificación directa de la sacarosa con los agentes acetilantes (ácido acético o anhídrido acético) en ausencia de catalizadores se realizó en un baño de ultrasonido durante 4 horas a temperatura de 70 ^{o}C.

Método de Síntesis del Poliuretano M

Técnica de Síntesis de Poliuretano por método no convencional.

En un baño de ondas ultrasónicas a 70 ^{o}C, se añaden, el polietilenglicol y el éster de sacarosa. Se añade el diisocianato de tolueno manteniendo la temperatura durante alrededor de 30 minutos. La masa reaccionante cambia de consistencia para formar una masa semisólida. Se añade tetrahidrofurano para disolverla y se mantiene en el baño unos 15 minutos más. Se añade tetrahidrofurano nuevamente cuando la masa queda sin solvente y se enfría. No fue necesaria la utilización de nitrógeno para mantener la atmósfera inerte.

Desarrollo:

Para la determinación de los parámetros en Calorimetría (DSC), las muestras obtenidas según los métodos descritos anteriormente, fueron debidamente homogeneizadas pesándose alrededor de 10 mg de las mismas en un crisol de aluminio sellado el cual fue sometido a un régimen de calentamiento programado de 10°C / min. desde temperatura ambiente hasta 500°C en atmósfera de aire dinámico.

Este tratamiento similar para ambos casos, nos permitió contar con termogramas registrados en similares condiciones de manera que pudiéramos comparar la huella térmica de los Poliacetatos y Poliuretanos de las diferentes vías de síntesis, además de poder evaluar los valores resultantes del análisis de los termogramas.

En el caso de la Termogravimetría (TG), trabajamos con cantidades parecidas de muestra en un rango de calentamiento similar desde temperatura ambiente hasta 500°C, a igual velocidad de calentamiento y en la misma atmósfera, diferenciándose solamente en el tipo de crisol ya que en este caso se utilizo un crisol de alúmina.

Discusión de Resultados:

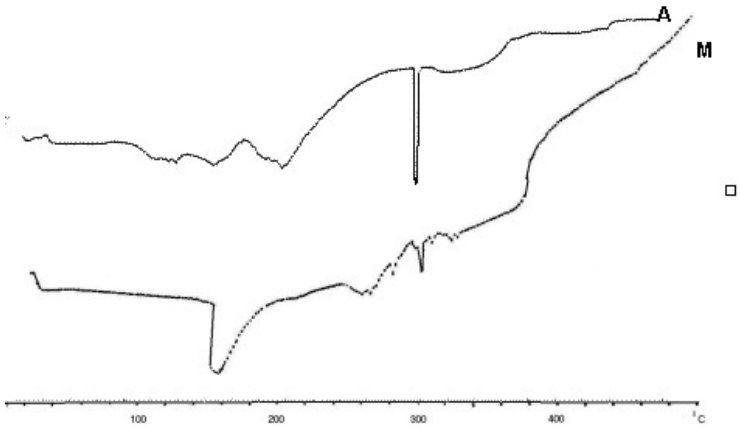
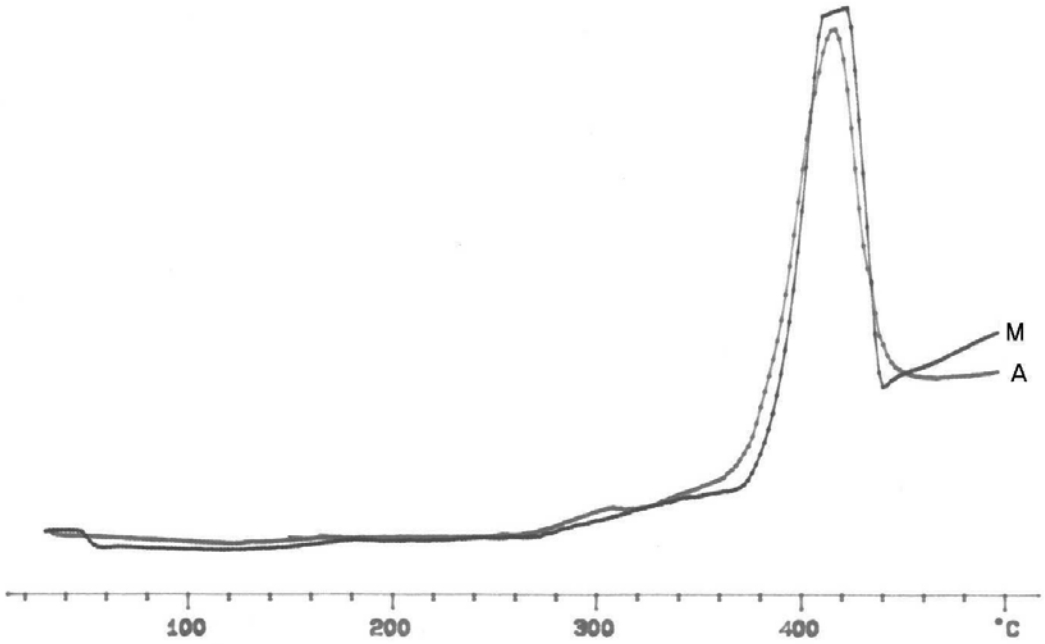


Fig.1 DSC de Poliacetatos

Como puede verse en la Figura 1, donde aparecen los termogramas de ambos poliacetatos, el Poliacetato **A** y el Poliacetato **M**, puede notarse que las huellas térmicas no son exactamente iguales, aunque en ambos aparece un pico endotèrmico alrededor de los 160 ^{0}C. En el caso del M el pico es menos pronunciado e inmediatamente después aparece un nuevo pico endotérmico alrededor de los 220 ^{0}C que para el Poliacetato **A** se ve desplazado y con menos intensidad sobre los 260 ^{0}C aproximadamente. También puede observarse que en el Poliacetato **M** hay un pico muy fino y agudo en 320 ^{0}C mientras que en el Poliacetato **A** ese pico apenas aparece.
Se observa en ambos termogramas, una subida en la línea base después de los 300ºC por lo que podemos , deccir que la estabilidad térmica en ambos casos se encuentra por encima de este valor, donde comienzan a descomponerse. Podemos afirmar que desde el punto de vista térmico, los dos tratamientos de síntesis introducen diferencias, aunque poco significativas, en el valor de los parámetros que se analizan según puede verse en la Tabla N° 1. debidas, posiblemente, a mezcla de productos finales de distintas proporciones.



de

Fig. 2 DSC de Poliuretanos.

En el caso de los termogramas de los poliuretanos **A** y **M,** que aparecen en la Figura 2, vemos como el DSC presenta una huella térmica similar, donde de manera muy clara se puede observar que sólo alrededor de los 300°C aparece un ΔCp anterior a un gran pico exotérmico característico de la descomposición del material, el cual fue calculado, encontrándose valores semejantes de ΔH para ambos poliuretanos **A** y **M**, por lo que podemos decir que desde el punto de vista térmico ambos materiales tienen iguales características lo que es un fuerte índice de que estamos en presencia de un material similar pese a ser obtenido por diferentes vías de síntesis, ya que como sabemos, la huella térmica de un material analizado en igualdad de condiciones, es única poliacetatos**.**

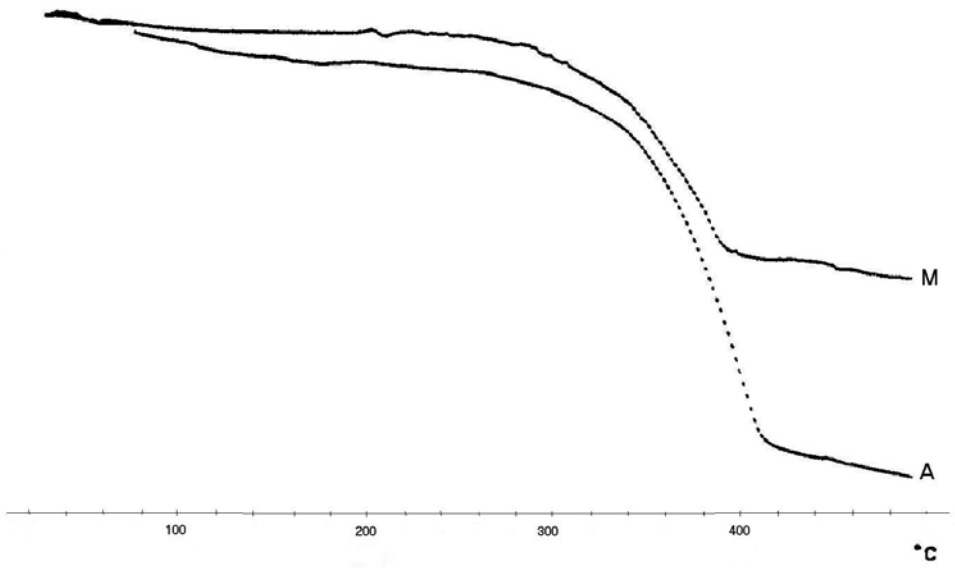


Fig. 3 TG de. Poliacetatos

Si comparamos los termogramas obtenidos para el TG de ambas muestras de poliacetato, vemos como de manera similar presentan una gran perdida de masa después de los 300 ^{0}C lo cual se corresponde con lo reportado por la literatura. [(2)] y con el pico exotérmico que aparece en DSC.

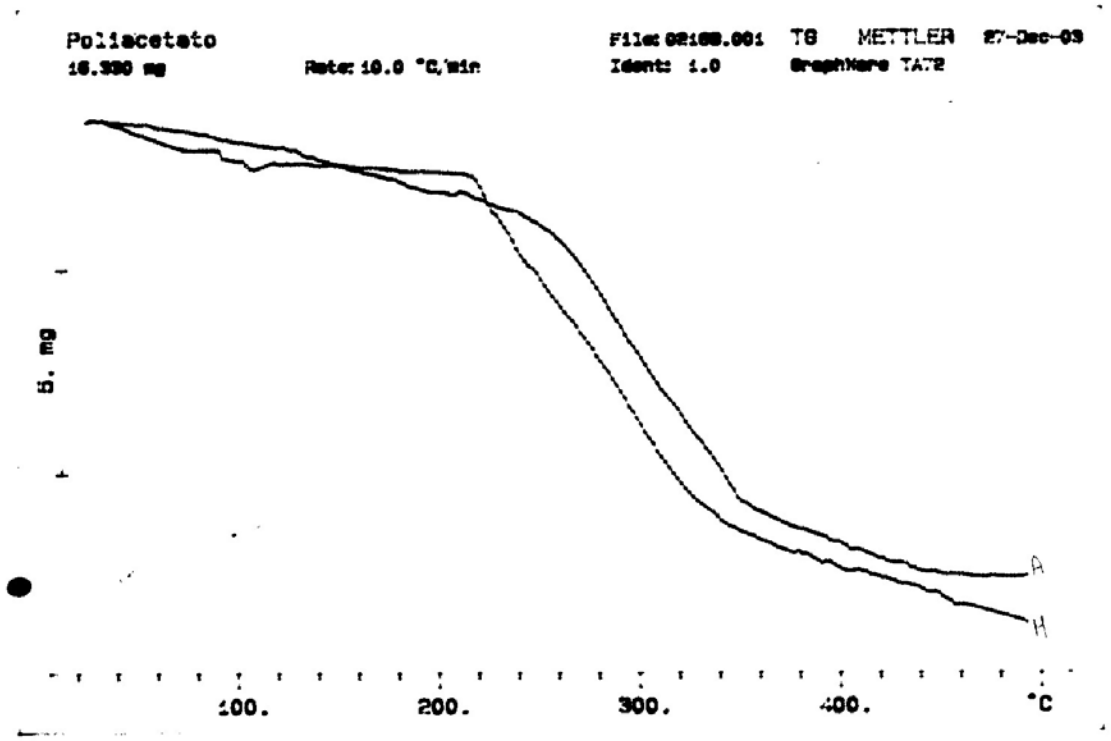


Fig.4 TG de `Poliuretanos

De manera semejante ocurre con los TG de los dos poliuretanos, los cuales pueden ser superpuestos por su similitud si hacemos una comparación cualitativa, lo que se corrobora según aparece en los valores recogidos en la **Tabla 1** que de forma cuantitativa registra los valores encontrados de la evaluación de los termogramas estudiados para ambas muestras. Evidentemente el efecto de las diferencias encontradas en los ésteres se refleja muy poco en el poliuretano debido a que, en proporción, el peso del éster es mucho menor que los demás componentes del polímero.

Tabla 1 Parámetros químico – físicos de los ésteres y poliuretanos de sacarosa obtenidos por métodos distintos

Poliacetat	ΔH (J/g) DSC	Perdida de peso(TG)	Poliuretano	ΔH (J/g) DSC	Tmax. DSC	Perdida de peso(TG).
A	145.2 j/g	12,6%	A	1373.6 j/g	424.1	10.7%
		86.1%				88%
M	118.1 j/g	15.5%	M	1278.9 j/g	428.5	12 %
		83.2%				86.5

Conclusiones:

1. Podemos concluir que el método utilizado para la caracterización de este material obtenido por diferentes vías, es valido ya que nos ha permitido no sólo caracterizar los mismos, desde el punto de vista térmico, sino también hacer un estudio comparativo de los resultados de ambas síntesis en cuanto a las características térmicas de los materiales obtenidos.

2. Los resultados encontrados en análisis térmico, corroboran los ya estudiados por otras técnicas, tales como FTIR (3) para el caso del poliuretano obtenido por síntesis convencional (Poliuretano **A)** ya que, los valores encontrados para su estabilidad térmica, se encuentran en un mismo rango de temperatura que los reportados por la literatura para materiales similares.

3. Se pone de manifiesto la validez del método no convencional de síntesis ya que usando como patrón el Poliuretano **A** pudimos apreciar grandes semejanzas en las características térmicas de ambos, pese a detectarse algunas diferencias en DSC para el poliacetato obtenido por este método.

Bibliografía

1. Cedeira Marina, Martini Silvana y otros; Effect of Sucrose Ester Addition on Nucleation and Growth Behavior of Milk Fat Sunflower Oil Blends.
Edition of Journal of Agricultural and Food Chemistry on September 18, 2003.

2. Mattia Bassi, Tonelli y otros, Glass Transition Behavior of a Microphase Segregated Polyurethane Based on PFPE and IPDI. A Calorimetry Study.
Edition of Macromolecules on September 16, 2003.

3.Hernández Adolfo, M. Reyna, y otros. Obtención de Polioles de Sacarosa parcialmente sustituída. Revista ICIDCA, Sobre los derivados vol. 2, 2004.

4. Wendlant, W. WM.; Thermal Methodos of Analysis. Volumen 19, Second Edition, (1974).
5. Dombrow, B.A, Polímeros. (Poliuretanos).

ESTUDIO DEL GRADO DE PUREZA DE LA NITROFURAZONA.
STUDY OF DEGREE PURITY THE NITROFURAZONE.

Autores: A. Brown, C. Díaz de Arce, G. Castillo, M. Rivas, M. del Valle, M. Díaz.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Vía Blanca 804 y C. Central, A. Postal 4026, C. Habana, Cuba. E-Mail: adob icidca.edu.cu

Resumen.

Se estudió el grado de pureza a diferentes lotes de nitrofurazona sintetizados en el ICIDCA utilizando la combinación de tres técnicas analíticas: la Cromatografía de Placa Delgada (TLC), la Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) y la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). Se obtuvieron resultados satisfactorios que permiten evaluar la calidad de los productos y compararlos con productos competitivos a escala comercial entre 98 y 100% de pureza.

Palabras claves: *grado de pureza, nitrofurazona, Cromatografía de Placa Delgada, Cromatografía Líquida de Alta Resolución, Calorimetría Diferencial de Barrido.*

Abstract.

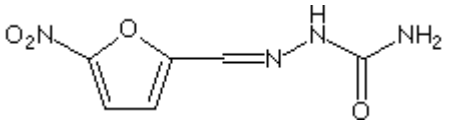
The purity degree different nitrofurazone batch synthesized in ICIDCA was studied to use the three combitation analitycal techniques: the Thin Layer Cromatography (TLC), High Performance Liquid Chromatography (HPLC) and Differential Scanning Calorimetry (DSC). Positives results were obtained that permit us to quality evaluate of products and to compere with competitives products to comercial scale between one purity 98 and 100%.

Key words*: purity degree, nitrofurazone, Thing Layer Cromatography, High Performance Liquid Chromatography and Differential Scanning Calorimetry.*

Introducción.

Al primer derivado de la serie nitrofuránica que encontró aplicación práctica en la medicina como bactericida se le dio el nombre de nitrofurazona. La forma terminada más utilizada es como tópico hidrosoluble y se vende bajo diferentes marcas (Díaz de Arce, C y otros, 2003; Merck & Co.,1989).

Su fórmula global es $C_6H_6N_4O_4$; presenta un peso molecular de 198.14 g/Mol y su composición atómica es de C: 36.37%, H: 3.05%, N:28.28%, O: 32.30% siendo su estructura química (Merck & Co.,1989).



En Cuba esta programada su producción en los próximos cinco años (Grigat, H. y otros, 1996; GEQF 2001), a pesar de que ha disminuido su consumo en el país debido a la introducción en el mercado de la sulfadiazina de plata (CDF 2003).

Este producto se presenta como un sólido de agujas amarillas que descompone entre 236 y 240°C, oscureciendo después de una prolongada exposición a la luz. Entre sus aplicaciones presenta un amplio espectro de acción prolongada sobre la mayoría de las bacterias que provocan infecciones sobre las superficies de la piel y mucosas facilitando la cicatrización de heridas y quemaduras al evitar la sobre infección bacteriana y la maceración tisular.

Desde 1989, el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), desarrolló una tecnología de producción de Nitrofurazona (Castro, I. y otros, 1989) y sus intermediarios (Castro, I. y otros, 1989a y b) que fue actualizada y recogida en un paquete tecnológico. La información bibliográfica y de patentes acopiada en el periodo 1982-2003 en una búsqueda realizada en el Chemical Abrstract Service y el motor de búsqueda SCIRUS sobre el fármaco, esta recogida en un ducumento (Díaz de Arce, C. y otros, 2003a) contenido en el Dossier de esa tecnología y posteriormente se hizo una separata con la información referida a los procedimientos analíticos (Díaz de Arce, C. y otros, 2003b).
El objetivo del presente trabajo es hacer un análisis de la pureza de los lotes producidos y comparar los resultados con los del principio activo comercial importado de China y una muestra patrón entregada por la Empresa Médico Farmacéutica de Cuba para anexar así, al paquete tecnológico, los resultados de una serie de lotes de nitrofurazona siguiendo la tecnología propuesta. Estos deben contar con una validación de calidad según las exigentes normas de las Farmacopeas de Estados Unidos e Inglaterra de modo que puedan quedar homologados con los análogos que se ofertan en el mercado internacional.

La cromatografía de placa delgada (TLC) ha resultado ser un método sencillo y rápido. Como técnica analítica nos resulta de gran utilidad para establecer el control durante el desarrollo de una síntesis y definir la relación de componentes de una mezcla (Espí L.N, 1988). Esta técnica permitió identificar primero y cuantificar después con la ayuda del HPLC el grado de pureza del producto (Fried B y otros, 1986), parámetro éste que comprobaremos auxiliándonos de la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), técnica termoanalítica ampliamente utilizada en la detección de intermediarios e impurezas que puedan afectar la calidad del producto final (Viades T.J y otros, 1998; Brown, A. y otros, 1998).

Materiales y métodos.

La Nitrofurazona se sintetiza a partir de 5-nitrofurfural [698-63-5] y clorhidrato de semicarbazida [563-41-7] con altos rendimientos. Su nombre químico es 2-[(5-Nitro-2-furanyl) methylene]-hydrazinecarboxamide o 5-nitro-2-furaldehyde semicarbazone.
Se utilizaron como patrones, una muestra de nitrofurazona suministrada por el Laboratorio Farmacéutico Roberto Escudero y un producto comercial chino. Como muestras se estudiaron las sintetizadas en los laboratorios de Química Fina del ICIDCA (Lote 3, 5, 6 y nuevo).

Cromatografía de placa delgada (TLC)

Cámaras: cubetas de vidrio 21x21x9cm
Fase móvil: Etanol: Metanol: Agua (60:20:20)
Fase estacionaria polar: Silica gel G-60
Revelador: p- dimetilaminobenzaldehido
Proceso cromatográfico: absorción.
Disolvente: acetona
Placas de 20x20cm

Se utilizó una técnica ascendente monodimensional con desarrollo simple (Kirchner, J.G, 1978). Se pesó en balanza microanalítica 5 mg de muestra y se disolvió en 1ml de acetona analítica para una concentración de 5 mg/ml. Se aplicaron 5µl x muestra. Se utilizo una Lampara Universal CAMAG con posibilidad de hacer observaciones de fluorescencia de UV a 254 y 366nm.

HPLC

Se realizó el estudio de sensibilidad del sistema de manera que el pico principal en el cromatograma obtenido no sea menor que el 50% a escala completa del registrador. Se probaron distintos valores de rango: 0.2, 0.1, 0.05 y 0.02 a respuesta 0.5 y se concluyó ajustar el rango a 0.02.
Se preparó la curva patrón de Nitrofurazona con 3 puntos a las siguientes concentraciones: 0.00478, 0.00239, 0.00048 mg/ml. Se obtuvo un tiempo de retención medio de 2.75 min para n=9 y el coeficiente de correlación fue de 0.999952.

Para utilizar el patrón en HPLC se pesaron 1.025mg de la Nitrofurazona y se disolvieron en 10 ml de la fase móvil. Después se realizó una posterior dilución tomándose de esta 0.5 ml en 10 ml de la fase móvil. Posteriormente se filtró por filtros de jeringuilla ISO DISC de 0.45 µm para realizar la inyección al cromatógrafo y se almacenó en frascos de color ámbar. Para la preparación de la fase móvil se utilizó: Agua grado HPLC y Acetonitrilo grado HPLC.
Los análisis mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) se realizaron en un Wellchrom Knauer, formado por una bomba K-1001, un organizador de solvente K-1500 y un detector de Arreglo de Diodos K-2800.
Se empleó una fase móvil compuesta de Acetonitrilo: Agua (40:60), a un flujo de 1 ml/min, utilizando una columna Hypersil ODS (5µm, 25x0.4cm) TEKNOKROMA (No de Serie: C25373). La detección se fijó a una longitud de onda de 310 nm.

DSC.

Los registros del producto final fueron obtenidos a partir de un Calorímetro Diferencial de Barrido TA 4000, Suizo de la METTLER.
Se emplearon crisoles de aluminio en la evaluación del punto de fusión y el grado de pureza, abarcando un rango de temperatura comprendido entre 30 y 400°C a una velocidad de calentamiento de 10°C/min tomando como masa 5mg del producto analizado en régimen dinámico.
Para la evaluación del grado de pureza a partir de la Calorimetría Diferencial de Barrido se utilizó la ecuación (1)de Van′t Hoff (Brown, A. y otros, 1999) teniendo en cuenta la masa molecular del material estudiado y su temperatura de fusión según:

$$\mathbf{T_f = T_o - X_2\,(R \times T_o^2/\Delta H_f) \qquad (1)}$$

siendo:

T_f: temperatura de la muestra en un instante dado.
T_o: temperatura de fusión de la sustancia pura.
X_2: fracción molar del segundo componente (impurezas).
R: constante de los gases (8.314J/mol K)
ΔH_f: calor molar de fusión del componente principal.

Resultados y discusión.

En nuestro estudio el comportamiento de elución para las sustancias separadas estará dado por los valores de R_f (Bauer, K. y otros, 1992) que en el caso particular de la nitrofurazona esta asociado a un valor calculado para el patrón comercial de $R_f \approx 0.8$ en el sistema de solvente empleado.
Se procedió a la aplicación de las muestras utilizando la técnica de TLC, mostrando los cromatogramas los valores de R_f que aparecen reportados en la Tabla I, Fig. 1.

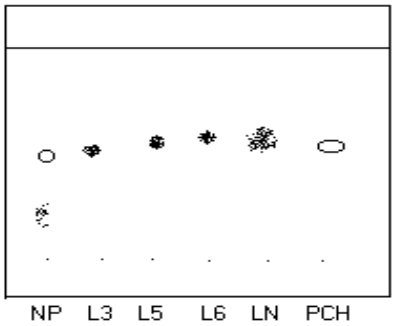
Tabla I: Resultados alcanzados por TLC con sus R_f calculados.

Muestras analizadas	Valor de R_f calculado.
Nitrofurazona patrón	0.72
Lote 3 de nitrofurazona	0.77
Lote 5 de nitrofurazona	0.79
Lote 6 de nitrofurazona	0.80
Lote nuevo	0.80
Patrón comercial chino	0.78

A 254nm en UV, las muestras mostraron una mancha bien definida con una coloración violeta-oscuro. A 366nm, para todos los casos, aparece una mancha amarrillo-naranja. Los valores de R_f reportados en la Tabla I y la ausencia de trazas en las muestras, exceptuando el patrón NP, son evidencia de que el producto se encuentra en un estado bastante puro como se refleja a continuación en la Fig.1 y en los datos que se alcanzaron por HPLC y que aparecen reportados en la Tabla II.

Los valores alcanzados demuestran la calidad del producto obtenido a partir de las sintesis realizadas en el ICIDCA para los diferentes lotes, siendo el lote 6 el de mejor comportamiento en cuanto a grado de pureza. Coincide en todos los métodos aplicados que el valor más bajo de pureza corresponde al patrón aportado por el laboratorio Roberto Escudero, siendo el patrón comercial chino el más indicado a tomar como referencia.

Fig 1. TLC de la nitrofurazona



NP: Patrón de nitrofurazona.
L3: Lote de muestra 3.
L5: Lote de muestra 5.
L6: Lote de muestra 6.
LN: Lote de muestra nuevo.
PCH: Patrón comercial chino de nitrofurazona.

Mediante HPLC se realizó un estudio de la pureza del patrón NP y se obtuvo un valor promedio de 93.73%, lo cual se explica por la presencia de una traza detectada en TLC (Kirchner J.G., 1978) asociada a un valor de $R_f \approx 0.24$.
Los análisis de las muestras estudiadas aportaron los resultados reportados en la Tabla II:

Tabla II. Resultados del grado de pureza alcanzados por HPLC para las distintas muestras de nitrofurazona.

Muestras	Grado de pureza (%)
Nitrofurazona patrón	93.73
Lote 3	98.50
Lote 5	99.20
Lote 6	99.50
Nuevo	99.20
Patrón comercial chino	98.80

Los valores alcanzados demuestran la calidad del producto obtenido a partir de las sintesis realizadas en el ICIDCA para los diferentes lotes, siendo el lote 6 el de mejor comportamiento en cuanto a grado de pureza. Coincide en este caso que el valor más bajo de pureza corresponde al patrón aportado por el laboratorio Roberto Escudero, siendo nuevamente el patrón comercial chino el más indicado a tomar como referencia.
Los resultados de pureza alcanzados después del análisis de los termogramas por DSC en un intervalo de temperatura entre 237.2 y 238.5 ^{o}C aparecen en la tabla III.

Tabla III. Resultados de grado de pureza alcanzados para cada muestra por DSC.

Muestras	Grado de pureza(%)
Nitrofurazona patrón.	94.5
Lote 3	98.6
Lote 5	99.25
Lote 6	99.55
Lote nuevo	99.20
Patrón comercial chino	98.9

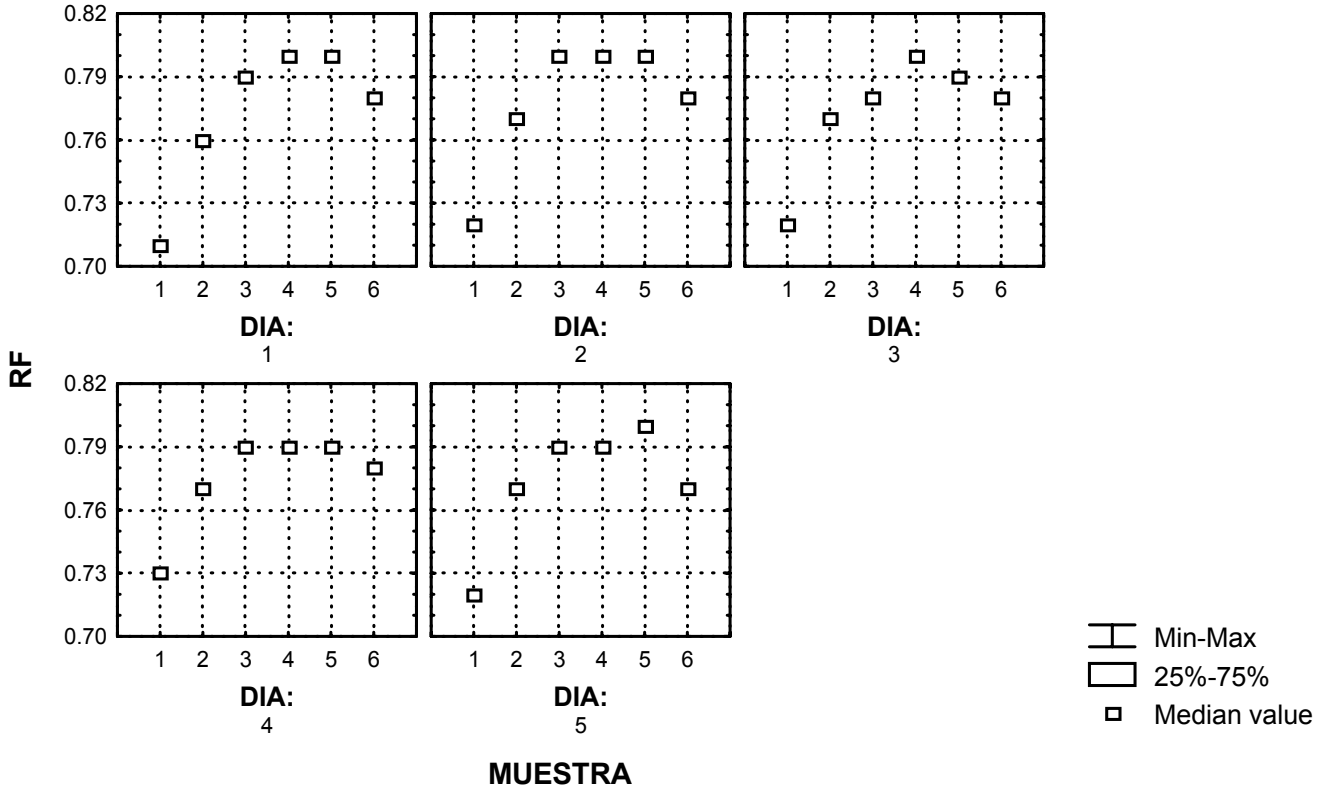
Una vez mas pudo corroborarse que el lote 6 resulta ser el de mejor calidad en términos de pureza y que el patrón aportado por el Laboratorio Farmacéutico Roberto Escudero presenta alguna impureza muy probablemente eliminable mediante un proceso de recristalización de la muestra. Nótese que para las tres técnicas aplicadas (TLC, HPLC y DSC) esta muestra mostró el valor mas bajo reportado en cuanto a pureza. Cabe destacar que para las muestras sintetizadas en el ICIDCA los valores del grado de pureza se mantuvieron para las tres técnicas dentro de un intervalo entre 98.5 y 99.2 % tal y como se reporta en las tablas II y III, aunque puede llegarse a un criterio semejante tomando en cuenta los valores de R_f reportados en la tabla I.

Un análisis estadístico de los resultados alcanzados nos permitió llegar a conclusiones muy favorables con relación al método de trabajo utilizado con las muestras y a las técnicas empleadas para el estudio. A continuación mostramos el comportamiento de las muestras objeto de estudio analizadas durante 5 días consecutivos, Tabla IV, Fig.2 (indican las tendencias que siguen las muestras).

Tabla IV. Resultados de R_f alcanzados durante 5 días consecutivos aplicando TLC.

Muestras	Rf_1	Rf_2	Rf_3	Rf_4	Rf_5	Media	Desv.St	CV(%)
Nit. Patrón	0.71	0.72	0.72	0.73	0.72	0.72	0.0070	0.97
Lote 3	0.76	0.77	0.77	0.77	0.77	0.768	0	0
Lote 5	0.79	0.80	0.78	0.79	0.79	0.79	0.0070	0.89
Lote 6	0.80	0.80	0.80	0.79	0.79	0.796	0.0054	0.68
Nuevo	0.80	0.80	0.79	0.79	0.80	0.796	0.0054	0.68
Chino	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77	0.778	0.0044	0.56

En este caso para el ploteo de valores de R_f vs Día llamaremos:
Muestra 1: a la nitrofurazona patrón
Muestra 2: al lote 3
Muestra 3: al lote 5
Muestra 4: al lote 6



DSC durante 5 días consecutivos arribamos a los valores que aparecen en las tablas V y IV.

Observando la distribución de las muestras por días y los valores de R_f asociados a ellas podemos obserrvar un comportamiento muy similar. Se destacan la muestra 1 por tener valores de R_f inferiores al resto. Tomando estos criterios podemos concluir que nuestros resultados presentan una aceptable reproducibilidad al variar los días de experimentación (Douglas, C.M, 1991 y Stat Soft, 1993).
Si establecemos una comparación de los resultados alcanzados utilizando como técnicas HPLC y DSC durante 5 días consecutivos arribamos a los valores que aparecen en las tablas V y VI.

Tabla V: Resultados de pureza (%P) alcanzados durante 5 días consecutivos por HPLC.

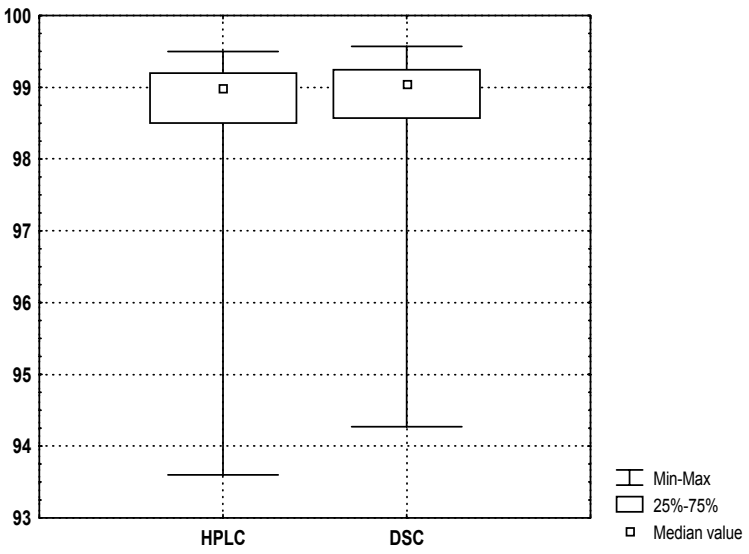
Muestras	**% P_1**	**% P_2**	**% P_3**	**% P_4**	**% P_5**	**Media**	**Desv.St**	**CV(%)**
Nit. Patrón	93.72	93.73	93.73	93.60	93.66	93.688	0.0572	0.06
Lote 3	98.51	98.50	98.50	98.50	98.51	98.504	0.0055	0.01
Lote 5	99.20	99.19	99.19	99.20	99.20	99.196	0.0055	0.01
Lote 6	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	0	0
Nuevo	99.20	99.20	99.18	99.19	99.20	99.194	0.0089	0.01
Chino	98.79	98.80	98.80	98.80	98.80	98.798	0.0044	0.004

De igual forma no se aprecian diferencias significativas en los valores reportados en la tabla V.

Tabla VI. Resultados de pureza alcanzados a partir de los termogramas por DSC para una misma muestra durante 5 días.

Muestras	**%P_1**	**%P_2**	**%P_3**	**%P_4**	**%P_5**	**Media**	**Desv.St**	**CV(%)**
Nit. Patrón	94.5	94.27	94.46	94.50	94.48	94.442	0.0976	0.10
3	98.52	98.57	98.6	98.57	98.6	98.572	0.0327	0.03
5	99.25	99.28	99.25	99.28	99.25	99.262	0.0164	0.02
6	99							1
Nuevo	99							1
Chino	98							04

Llevados estos resu ıs muestras en ambas técnicas.



Al analizar la Fig. 3 se observa que las dos cajas de bigotes correspondiente a cada técnica analítica son muy similares. Ambas presentan la mediana desplazada hacia la cota superior llegando a la conclusión de que los resultados no difieren significativamente. Los valores alcanzados por DSC muestran una variedad un poco menor.

Conclusiones.

- Las técnicas analíticas utilizadas(TLC, HPLC y DSC) resultan de gran utilidad a la hora de evaluar el grado de pureza de un producto terminado.
- El lote 6 de nitrofurazona alcanzó valores de pureza superiores al resto de los productos evaluados siendo competitivos con el valor establecido a escala comercial.
- Los resultados alcanzados nos permiten dar criterio acerca de la reproducibilidad de las técnicas utilizadas en nuestro estudio.
- En análisis de productos terminados suelen darse como buenos los coeficientes de variación inferiores al 4-5% en el ensayo de reproducibilidad, por lo que el resultado de los métodos evaluados podemos considerarlo satisfactorio.

Referencias bibliográficas.

Díaz de Arce, C. y otros. (2003). Paquete tecnológico para la producción de nitrofurazona. C. Habana, Cuba.

Merck & Co., Inc (1989). The Merck Index, 11th. Edition. Published by Merck & Co., Inc. Rahway, N.J., USA.

Grigat,H. Und Stein. M. (1996). Therapy and toxicology in human and aminal. Dtsch. Apth Ztg. 136(6), 28-30, 33-4,37.

GEQF. (2001). Listado de Principios Activos y Aditivos necesarios para la producción de medicamentos. 6 páginas.

CDF,Centro para el Desarrollo de la Farmacoepidemiología. MINSAP. (2003). Formulario Nacional de Medicamentos.

Castro, I. y otros (1989). Informe Interno ICIDCA. Protocolo de Sustancias Activas y Precursores. NITROFURAZONA. 20 pp.

Castro, I. y otros (1989a). Informe Interno ICIDCA. Protocolo de Sustancias Activas y Precursores. CLORHIDRATO DE SEMICARBAZIDA. 15 pp.

Castro, I., Díaz, M. y otros (1989b). Informe Interno ICIDCA. Protocolo de Sustancias Activas y Precursores. 5-Nitrofurfuraldiacetato. 21 pp.

Díaz de Arce, C. y otros (2003a). Búsqueda bibliográfica sobre la nitrofurazona en el período 1982-2003. ICIDCA. Informe Interno.

Díaz de Arce, C. y otros (2004b). Paquete Búsqueda bibliografica sobre aspectos analíticos de la Nitrofurazona en el período 1982-2003. Informe Interno.

Espí Lacomba, N. (1988). Métodos de Separación y Concentración. Tomo II. Universidad de la Habana, Facultad de Química, p. 123-132. ENPES.

Bauer, K.; Gros L.; Saber W. (1992) Cromatografía de capa fina. Heidelberg, Mitterweger Werksatz, Germany, p. 13-18.

Fried B.; Sherma J. (1986). Thin Layer Cromatography, Marcel Dekker, New York, p. 4-7.

Viades T.J.; Portilla B.M.; De la Vega G.C.(1998). Kinetic Study on Thermal Stability of Penicillin by Differential Scanning Calorimetry. Vol.29, No.4. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, p.32-37.

Brown A.; Besades E.; Márques T.; Rivas M. (1998). Revista ICIDCA, vol. 32, No.2, p. 25-28. Potencialidades de la Calorimetría Diferencial de Barrido en el estudio de materiales de referencia química.

Kirchner J.G. (1978). Thin Layer Cromatography, John Wiley and Sons, New York. Techniques in Chemistry, vol. XIV.

Brown A.; Dominguez A.M. (1999) Introducción de la Calorimetría Diferencial de Barrido. Cuidados y Usos. Revista ICIDCA. Vo. XXXIII, No.1

Douglas C. M. (1991). Diseño y Análisis de Experimentos. Arizona. State Univ. Grupo Editorial Iberoamericana.

Stat Soft. INC. (1993). Ayuda de Statistica for windows. Release 5.1, 2300. East 14th Street Tulsa, ok 74104; USA.

VALIDACIÓN DE LA TÉCNICA "DETERMINACIÓN DE LOS MONÓMEROS LIBRES FURFURAL, MONOFURFURILIDENACETONA Y DIFURFURILIDENACETONA EN MEZCLAS DE RESINA FAM, FL Y EPOXI MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE

VALIDATION OF THE TECHNICAL "DETERMINATION OF THE FREE MONOMERS OF FURFURAL, MONOFURFURILIDENACETONE AND DIFURFURILIDENACETONE IN BLEND OF RESIN FAM,FL AND EPOXY BY ULTRAVIOLET-VISIBLE SPECTROPHOTOMETRY"

Autores: Mercedes Guerra, Andrés Gómez, Deborah Crespo, Engracia Rodríguez, Arelys Rodríguez, Jorge Luis García
ICIDCA
Email- mguerra@icidca.edu.cu

Resumen:

En los últimos años se ha alcanzado mayor rigor en la implementación de nuevos métodos analíticos con la aparición de los sistemas de calidad que rigen los procesos de fabricación y métodos analíticos o de control que se establecen a través de normas internacionales con metodología de estricto cumplimiento. El objetivo del trabajo es buscar las pruebas demostrativas que aporten un grado de confianza y seguridad del método analítico empleado, así como en la calidad de los resultados y de esta forma contar siempre con productos competitivos de calidad estable. Para el control de calidad de la técnica analítica se estudian los parámetros de validación de precisión y exactitud.
Para la precisión se mide la repetibilidad del método con las cuatros matrices, reportando coeficientes de variación por debajo del 1% y de reproducibilidad por debajo del 4%, cumpliendo con lo establecido en las normas internacionales.
Para la exactitud se mide el recobrado para cada una de las mezclas y reporta para el furfural un rango de 96 a 109% con un coeficiente de variación por debajo de un 2.42%, lo que indica que el método es exacto para la medición de la concentración del furfural. Para la monofurfurilidenacetona y difurfurilidenacetona los porcientos de recobrado están por encima del 110% , lo que indica que para estos monómeros la determinación no es exacta y que existen interferencias analíticas. En este caso es necesario realizar variaciones en el método analítico para hacerlo más selectivo.

Palabras claves: Validación, exactitud, repetibilidad y reproducibilidad

Key words: validation, accuracy, repeatability, reproducibility

Abstract

In the last years, the implementation of new analytical methods more rigorous has been reached with the appearance of the quality systems that govern the processes of production and control or analytical methods that settle down through international norms with strict execution methodology. The objective of this paper is to look for the demonstrative tests that contribute a degree of trust and security of used analytical method, as well as in the results quality and in this way to have always competitive products of stable quality. The validation parameters of precision and accuracy were measured for the quality control of analytical technique.

The precision of the method was measured for the repeatability in the four matrix reporting variation coefficients below 1% and for reproducibility reports below 3%, fulfilling that settled down in the international norms
For the accuracy the one was measured recovered for each one of the mixtures and it reports for the furfural a range from 96 to 109% with a variation coefficient below 2%, what indicates that the method is exact for the measuration of the concentration of the furfural. For the monofurfurilidenacetone and difurfurilidenacetone the percents of having recovered are above 110%, what indicates that for these monómeros of the determination it is not exact and that analytic interferences exist. In this case it is necessary to work in the analytic method to make it more selective.

Introducción

El desarrollo de nuevos productos trae unido el estudio de sus propiedades y aplicaciones, llevado a cabo en el ICIDCA durante los últimos 12 años, con los polímeros furano epoxídico (Dopico, M; Gómez, A 1999; Gómez, A y otros 2000, 2002)
Es imprescindible para su eficiente generalización y comercialización llevar a cabo el control de calidad de la resina y la cuantificación de sus monómeros libres a través de métodos analíticos o de control que cumplan con la metodología establecida por las normas internacionales de control de la calidad y garanticen la calidad de los datos obtenidos
Según las "Normas de buena fabricación y control de la calidad" la validación es un requisito indispensable para la comprobación de la técnica analítica
Según Castro y otros (1989), la validación es un proceso durante el cual se realiza una evaluación experimental de las técnicas analíticas para demostrar si las mismas resultan suficientemente confiables dentro de las condiciones en las cuales fueron desarrolladas, de esta forma se proporciona seguridad en los resultados reportados, calidad, optimización del método y obtención de los parámetros de validación, criterio que nos permite conocer si el método analítico se encuentra dentro de los objetivos trazados en la determinación.
El objetivo de nuestro trabajo fue buscar pruebas demostrativas que aporten un grado de confianza y seguridad del nuevo método analítico, midiendo los parámetros de validación precisión y exactitud.
El método analítico se basa en la medición simultánea de furfural, monofurfurilidenacetona (FAc) y difurfurilidenacetona (DIFA) en una mezcla con máximo de absorción suficientemente separados y se analizan directamente utilizando la Ley de Beer para cada componente mediante Espectroscopia Ultravioleta-Visible (Rao, CN 1970)

Materiales y métodos de análisis.

Materiales.

Espectrofotómetro UV-VIS ULTROSPEC 2000

Cubeta de cuarzo10 mm.

Reactivos

Etanol Superfino "A"

Patrón de alta pureza de furfural, FAc y DIFA.

Mezclas a analizar.

Resina FAM-Blend: Resina furano-epoxidica sobre la base de furfural, acetona y DGEBA(Diglicil éter del Bisfenol A, monómero epoxidica.

Resina FL: Resina base furfural-alcohol furfurilico
Mezcla A: 60 Resina FAM-Blend
40 resina Fl.

Mezcla B: 40 Resina FAM-Blend
60 Resina Fl

Mezcla C: 60 Resina FAM-Blend
40 Resina Fl
20' Epoxi

Mezcla D: 40 Resina FAM-Blend
60 Resina FL
20 Epoxi

Métodos de análisis.

Determinación de las absortividades de los componentes puros de furfural, FAc y DIFA para establecer un sistema de ecuaciones de tres variables según Rao, C.N (1970)

Furfural: Se pesa con exactitud hasta la sexta cifra alrededor de 0.049 mg de furfural químicamente puro, se transfiere a un volumétrico de 10 ml, se disuelve con etanol, se enrasa con el mismo y se lee la absorbancia a 274, 320 y 376 nm para calcular el absortividades del furfural a la longitud de onda de 274, 320 y 376 nm.

Monofurfurilidenacetona. Se pesa con exactitud hasta la sexta cifra alrededor de 0.043 mg de FAc químicamente puro, se transfiere a un volumétrico de 10 ml, se disuelve con etanol, se enrasa con el mismo y se lee la absorbancia a 274, 320 y 376 nm para calcular la absortividades del FAc a la longitud de onda de 274, 320 y 376 nm.

Difurfuridencaetona. Se pesa con exactitud hasta la sexta cifra alrededor de 0.0484 mg de FAc químicamente puro, se transfiere a un volumétrico de 10 ml, se disuelve con etanol, se enrasa con el mismo y se lee la absorbancia a 274, 320 y 376 nm para calcular la absortividades de la DIFA a la longitud de onda de 274, 320 y 376 nm.

Establecido el sistema de ecuaciones, solo se debe chequear al cambio de algún elemento en el sistema óptico o el deterioro del mismo.

Evaluación de los monómeros en la Resina FAM.

Se pesa aproximadamente 1 g de muestra de la Resina FAM, se lleva aun volumétrico 100 ml y se enrasa con etanol, se toma una alícuota entre 0.05 a 0.1 ml, se lleva a un volumétrico de 50 ml, se enrasa con etanol.y se lee la absorbancia a 274, 320 y 376 nm, de esta manera se obtiene $A_{274,}$ A_{320}, $A_{376..}$

Expresión de los resultados.

Calculo de las Absortividades.

Para el calculo se emplea la Ley de Lambert-Beer.

$A=\varepsilon CL$

A: Absorbancia a la longitud de onda seleccionada
ε: Absortividades
C: Concentración en moles/l de la sustancia a analizar
L: Longitud de la cubeta de 10 mm

Despejando se obtiene:

$$\varepsilon = \frac{A}{bC}$$

Donde:

$$c = \frac{P}{10PM}$$

C: Concentración en moles/l de la solución patrón
P: Peso del patrón (mg)
10: Volumen de solución (ml)
PM: Peso molecular del patrón
PM del furfural: 96.085
PM del FAc: 136.1506
PM del DIFA: 214.2209

De esta forma se obtiene las Absortividades de los componentes puros y se puede plantear el Sistema de Ecuaciones.(1)

$A_{274}=15500C_{furfural} + 3290C_{FAc} + 4358C_{DIFA}$

$A_{320}=76C_{furfural} +25000C_{FAc} + 12382C_{DIFA}$

$A_{376}=0C_{furfural} + 203C_{FAc} + 35394C_{DIFA}$

Resolviendo el sistema de ecuaciones por el método de Solución por Menores se tiene la concentración en mol/l de las componentes Furfural, FAc y DIFA y posteriormente se calcula la concentración en porciento. Este calculo se realiza con un programa en base MICROSOFT EXCEL

Calculo de la concentración en porciento

Para el furfural.

$$\% = \frac{C \times 96.085 \times 0.050 \times 100' \times 100}{Peso \times d}$$

C: Concentración (mol/l)
96.085: Peso Molecular
d: Dilución final
50: Volumen final de la solución en ml
100: Volumen inicial de la muestra en ml

Reduciendo:

$$\% = \frac{c * 48042}{Peso * d}$$

Para la monofurfuridenacetona

$$\% = \frac{C \times 136.15056 \times 0.050 \times 100' \times 100}{Peso \times d}$$

C: Concentración (mol/l)
136.15056: Peso Molecular
d: Dilución final
50: Volumen final de la solución en ml
100: Volumen inicial de la muestra en ml

Reduciendo

$$\% = \frac{C * 68075}{Peso * d}$$

Para el difurfurilidenacetona.

$$\% = \frac{C \times 214.2209 \times 0.050 \times 100' \times 100}{Peso \times d}$$

C: Concentración (mol/l)
214.2209: Peso Molecular
d: Dilución final
50: Volumen final de la solución en ml
100: Volumen inicial de la muestra en ml

Reduciendo

$$\% = \frac{c * 107110}{Peso * d}$$

<u>Resultado y discusión.</u>

Precisión

Según Calpena (1991), Farmacopea mexicana (1991), Guerra, M, Rodríguez E y otros (2002) para la precisión se miden los parámetros repetibilidad y reproducibilidad
La repetibilidad se obtiene a las mismas condiciones, es decir con el mismo analista, en el mismo laboratorio, con los mismos aparatos, reactivos y en el curso de la misma serie de análisis efectuados, generalmente, en un corto intervalo de tiempo, es decir empleando condiciones iguales de análisis.
Para este estudio se utilizaron 4 mezclas, tratadas en formas separadas la mezcla A, mezcla B, mezcla C y mezcla D, con 10 réplicas, reportan coeficiente de variación por debajo del 1%, excepto para el caso de la mezcla C para el furfural y la DIFA que reporta 1.58 y 1.57 %,cumpliendo con lo establecido

en las normas internacionales para los métodos analíticos, con un coeficiente de variación por debajo del 2%. (Tabla No 1)
Para el estudio de Precisión intermedia se varía los parámetros de medición mientras se haga factible, en este caso, se realizaron las mediciones con el mismo instrumento, pero en cuatro días diferentes y los resultados alcanzados se reflejan en la (Tabla No 1)
Los coeficientes de variación, para a mezcla A, B, C y D se encuentran en el rango para los métodos analíticos con buena reproducibilidad entre 1.5% a 4%, (Castro, M. S.; Gascon, M.y otros; 1989)

Tabla No1
Determinación de los parámetros de la precisión

	Componentes Mezclas	Repetibilidad			Precisión Intermedia			
Mezcla		X(%)	S	C_v(%)	X(%)	S	C_v(%)	Intervalo Confianza Media
Mezcla A	Furfural	3.35	0.032	0.98	3.17	0.053	1.67	X±0.03
	MFA	1.37	0.011	0.83	1.46	0.034	2.28	X±0.02
	DIFA	0.60	0.005	0.83	0.57	0.009	1.50	X±0.01
Mezcla B	Furfural	3.84	0.023	0.61	3.73	0.088	2.36	X±0.05
	MFA	1.1	0.008	0.78	1.19	0.033	2.80	X±0.02
	DIFA	0.5	0.004	0.94	0.50	0.012	2.48	X±0.01
Mezcla C	Furfural	3.73	0.059	1.58	3.51	0.296	3.70	X±0.17
	MFA	15.61	0.148	0.95	16.09	0.232	1.44	X±0.13
	DIFA	5.04	0.079	1.57	5.47	0.316	3.56	X±0.18
Mezcla D	Furfural	3.63	0.031	0.86	3.64	0.324	4.02	X±0.19
	MFA	10.99	0.030	0.28	11.22	0.051	0.45	X±0.03
	DIFA	3.42	0.025	0.73	3.50	0.064	1.83	X±0.04

MFA: Monofurfurilidenacetona
DIFA: Difurfurilidenacetona
X: Media de las determinaciones
S: Desviación standard
Cv: Coeficiente de variación
El intervalo de confianza para la media significa, para cada una de las mezclas, que el 95% de la concentración de los componentes se encuentra en el rango determinado

Exactitud

Para la exactitud, se trabajó con dos niveles de concentración para ello se realizaron dos adiciones de los patrones de furfural, MFA y DIFA, reportándose los siguientes resultados:

Tabla No 2
Determinación de los parámetros de exactitud para el furfural

Mezclas	Cantidad de furfural (mg)	Recuperación (%)	C_v (%)
Primera adición			
Mezcla A	2.653	102	1.66
Mezcla B	2.562	95	2.42
Mezcla C	2.360	103	1.17
Mezcla D	2.302	109	1.42
Segunda adición			
Mezcla A	6.815	104	0.45
Mezcla B	6.749	98	2.38
Mezcla C	6.420	105	1.18
Mezcla D	6.714	105	1.4

De la Tabla No2 se observa que la recuperación se encuentra entre el intervalo de 95 a 109%, la cual se encuentra en el orden de la recuperación reportada en las Normas internacionales y los coeficientes de variación entre 0.45 a 2.42% según Norma Cubana (2001)
Para el caso de la monofurfurilidenacetona y difurfurilidenacetona, los porcientos de recuperación se encuentran fuera de los rangos establecidos por las normas, por encima del 110%, lo que significa que para la determinación de estos dos monómeros no es exacto el método con desviaciones por exceso que puede explicarse por la presencia de interferencias analíticas, como polímeros que pueden absorber en 320 y 376 nm
Se recomienda realizar un tratamiento de muestra que aumente la selectividad del método analítico y revalidar el método analítico

Conclusiones.

- Para la repetibilidad se reporta un coeficiente de variación por debajo del 1% para las mezclas A, B y D y para la mezcla C se reporta 1.58% para el furfural y 1.57%.
- Para la reproducibilidad el coeficiente de variación para la Mezcla A, B, C y D se encuentra en el rango de los métodos analíticos reproducible por debajo del 4%.
- Por los resultados alcanzados podemos decir que la técnica "Determinación de furfural, FA y DIFA por Espectroscopia UV-VIS" es reproducible.
- En el caso de la exactitud, se reporta que el método es exacto para la determinación de furfural, no ocurriendo asi para la monofurfurilidenacetona y difurfurilidenacetona

Recomendación
- Se recomienda hacer un tratamiento de muestra para mejorar la exactitud del método para la determinación de la monofurfurilidenacetona y difurfurilidenacetona

Bibliografía

1. Dopico, M; Gómez, A y otros (2000) Revista ICIDCA XXXIV (1) 20-25

2. Gómez y otros Memorias VII Simposio Latinoamericano de Polímeros, SLAP 2000

3. Gómez, A y otros "17 Conferencia de Química Universidad de Oriente (2002)

4. Calpena, A C, Esembano, E ; Fernández, C. (1991). Farm. Clin., 7 (9) 749-758

5. Castro, M. S.; Gascon, M.; Pujol, J. M. Sans y L. L. Vicente (1989). "Validación de métodos analíticos". Sección Catalana de la Asociación Española de Farmacéuticos de la Industria, Comisión de Normas de Buena Fabricación y Control de la Calidad.

6. Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos (1991). "Validación de los métodos analíticos", 1-73.

7. González, R.; Capote, R.; Nuevas, A. y otros (2000) "Protocolo de validación de técnicas analíticas para la determinación cuantitativa en el control de calidad y/o en estudios de estabilidad de materia o principios activos de medicamentos",.Centro de Biomateriales, Universidad de La Habana

8. Guerra, M; Rodríguez, E; Coro, J y otros Memorias VII Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados Diversificación 2002

9. Norma Cubana Experimental (2001) Guia para la Validacion de Métodos de Ensayos Quimicos para Alimentos. Proyecto para circular. 7ma. Revisión..1ª Edición. Oficina Nacional de Normalización (NC)

10. Rao, C.N; "Espectroscopia Ultravioleta y Visible" Editorial Alambra, S.A 1970

ESTUDIO POR ESPECTROMETRÍA FTIR DE EXTRACTOS DE BOTHRYODIPLODIA THEOBROMAE.

Addiss Bermello, Grisel Ortega, Magdalena Lorenzo, Gretel Mieres, Mayté Oliveros, Georgina Michelena

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA. Apartado 4026, Ciudad de la Habana; Cuba. e-mail: addiss@icidca.edu.cu

RESUMEN

Las fitohormonas influyen en diversos procesos del metabolismo de las plantas. Los ácidos jasmónico y cucúrbico y sus derivados, denominados jasmonatos y cucurbatos, son fitohormonas endógenas reguladoras del crecimiento vegetal que intervienen en el incremento de los rendimientos agrícolas y estimulan la maduración de los frutos.

El cultivo líquido del hongo *Bothryodiplodia theobromae* produce ácido jasmónico, como metabolito secundario, con rendimientos satisfactorios. Otros compuestos posiblemente presentes en el caldo de fermentación son el metil jasmonato, el ácido cucúrbico y otros derivados.

Ensayos realizados por Cromatografía de Placa Delgada (TLC) y Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) en estos extractos, han corroborado la presencia de ácido jasmónico y hacen sospechar la presencia de ácido cucúrbico.

En el presente trabajo se reporta el estudio, mediante la Espectrometría Infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), de extractos de metabolitos producidos en cultivos líquidos de *Bothryodiplodia theobromae*. Se asignan los espectros FTIR de extractos purificados y el derivado metilado de uno de ellos.

Los extractos estudiados muestran espectros FTIR muy semejantes, en los que se corrobora la presencia del ácido jasmónico y/o sus derivados por las absorciones características de ácidos orgánicos.

Al esterificar completamente los ácidos, en uno de los extractos, se confirma la presencia de ácido cucúrbico y/o sus derivados en la muestra, por la permanencia en su espectro FTIR de las bandas de grupos OH alcohólicos, características de éste compuesto y sus derivados.

Palabras Clave: FTIR, *Bothryodiplodia theobromae*, jasmonatos, cucurbatos

STUDY BY FTIR SPECTROMETRY OF *BOTHRYODIPLODIA THEOBROMAE* EXTRACTS.

Addiss Bermello, Grisel Ortega, Magdalena Lorenzo, Gretel Mieres, Mayté Oliveros, Georgina Michelena

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA. Apartado 4026, Ciudad de la Habana; Cuba. e-mail: addiss@icidca.edu.cu

SUMMARY

Phytohormones influences in various processes of plants metabolism. The jasmonic and cucurbic acids and its derivatives, denominated jasmonates and cucurbates, are endogenous phytohormones regulators of the vegetable growth, that influence the increment of agricultural yields and stimulate the fruits maturation.

The culture broth of the fungus *Bothryodiplodia theobromae* produces jasmonic acid, as secondary metabolite, with satisfactory yields. Other possible compounds in the fermentation broth are the methyl jasmonate, cucurbic acid and other by-products.

Researches carried out by Thin Layer Chromatography (TLC) and High Performance Liquid Chromatography (HPLC) of these extracts, have corroborated the presence of jasmonic acid, and the suspicion of the presence of cucurbic acid.

The present paper reports the study by FTIR, of metabolites extracts obtained in culture broth of *Bothryodiplodia theobromae*. The FTIR spectra of purified extracts and the methyl derivative of one of them are assigned. The studied extracts show very similar FTIR spectra, in those the presence of the jasmonic acid and/or their derivatives is corroborated by the characteristic absorptions of organic acids.

The total esterification of the acids, in one of the extracts, confirms the presence of cucurbic acids and/or their derivatives in the sample, by the presence of the OH alcoholic groups bands in their FTIR spectrum, because of they are characteristic of this compound and its derivatives.

Key words: FTIR, *Bothryodiplodia theobromae*, jasmonates, cucurbates.

ESTUDIO POR ESPECTROMETRÍA FTIR DE EXTRACTOS DE *BOTHRYODIPLODIA THEOBROMAE.*

Addiss Bermello, Grisel Ortega, Magdalena Lorenzo, Gretel Mieres, Mayté Oliveros, Georgina Michelena

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA. Apartado 4026, Ciudad de la Habana; Cuba. e-mail: addiss@icidca.edu.cu

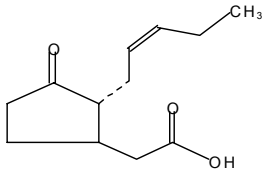
INTRODUCCIÓN.

Las fitohormonas son sustancias presentes en las plantas, que regulan e influyen en varios procesos del metabolismo vegetal. Su aplicación aumenta los rendimientos y la calidad de las cosechas agrícolas. Las fitohormonas biosintéticas son las producidas biotecnológicamente, específicamente por la vía microbiológica.

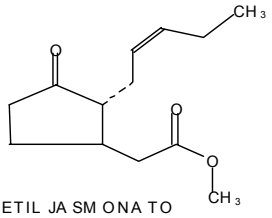
El ICIDCA ha investigado ampliamente el desarrollo de tecnologías de producción de reguladores del crecimiento vegetal por vía microbiana, particularmente los ácidos indolacético y jasmónico [Michelena G. (2003)].

Las fitohormonas influyen, en general, en diversos procesos del metabolismo vegetal. Entre las fitohormonas endógenas se encuentran los ácidos jasmónico y cucúrbico y sus derivados, denominados jasmonatos y cucurbatos. Los compuestos posiblemente presentes en el caldo de fermentación son el metil jasmonato, el ácido cucúrbico y otros derivados.

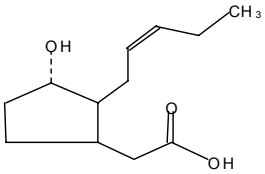
.



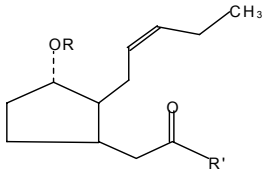
ACIDO JASMONICO



METIL JASMONATO



ACIDO CUCURBICO



R = β–D-glucosa
R' = OH

ACIDO O-β-D-GLUCOPIRANOSILCUCURBICO

R = H
R' = triptófano

N-(+)-CUCURBINOIL-S-TRIPTÓFANO

Las fitohormonas son reguladoras del crecimiento vegetal que intervienen en un amplio espectro de respuestas fisiológicas en las plantas [Ortega, G. (2002)] tales como el incremento de los rendimientos agrícolas [Koda Y. (1992)] y la estimulación de la maduración de los frutos [Sembner G. (1993)], entre otras. Las funciones de mayor interés actual son las relacionadas con la regulación de la defensa de las plantas por ataque de patógenos [Kitahara T. (1991); Hamberg M. (1992); Cohen Y. (1993); Miersch O. (1993)].

La especie *Bothryodiplodia theobromae,* que es un hongo fitopatógeno causante de la putrefacción de frutos y plantas, se reporta como buena productora de ácidos jasmónico y cucúrbico como resultado de su metabolismo secundario [Miersch O. (1987)].

El cultivo líquido del hongo *Bothryodiplodia theobromae* produce, con rendimientos satisfactorios [Eng, F. (1996)], ácido jasmónico como metabolito secundario.

MÉTODOS.

OBTENCIÓN Y PURIFICACIÓN DEL EXTRACTO.

Los extractos se obtienen a partir del caldo producido por fermentación líquida del hongo *Bothryodiplodia theobromae* [Michelena G. (2003)] a los 14 días de fermentación. Se utilizaron cepas aisladas de cáscara cítrica pertenecientes a la colección del INIFAT. El medio de cultivo empleado fue el Miersch [Miersch O. (1987)] modificado por el ICIDCA con extracto de levadura [Almeida G., (1999)] en los que se utiliza la sacarosa como fuente de carbono y el nitrato de potasio como fuente nitrogenada.

El caldo fermentado se filtra al vacío, para separar la biomasa, se lleva a pH 3 y se extrae con acetato de etilo [Ortega G. (2003)] en un extractor líquido-líquido de flujo continuo, en la relación caldo:solvente 1:1, durante 4 a 5 horas de extracción. La fase no acuosa se seca en un evaporador rotatorio a 50 °C.

OBTENCIÓN DEL DERIVADO METILADO.

Se mezclan solución de KOH saturada, éter dietílico y sal de urea, se deja reaccionar, para que el gas producido por la reacción en medio básico se disuelva en el éter frío, hasta que tome una coloración amarillo verdosa. De esta solución se toma un volumen de la parte etérea y se adiciona a la muestra seca.

ESPECTROMETRÍA INFRARROJA.

Los espectros en el Infrarrojo medio con transformada de Fourier (FTIR) de las muestras se midieron en película capilar entre ventanas de KBr, a fin de evitar la presencia de solventes, en el rango de 4000 a 500 cm^{-1}. Los espectros se realizaron en un espectrómetro FTIR modelo VECTOR 22 de la Brücker Optik y en un espectrómetro FTIR de la Pye Unicam ATI Mattson Genesis Series. Los espectros se convirtieron a unidades de Absorbancia. A los espectros medidos en el espectrómetro VECTOR 22 se les realizó el ajuste de la línea base mediante el método de líneas rectas sobre 64 puntos mínimos del espectro.

Se estudiaron las siguientes muestras:

E1: extracto de la cepa 1517

E2: extracto de la cepa 2334

E3: extracto de la cepa 2334

E4: extracto mezclado de diferentes fermentaciones de la cepa 2334

METI: derivado metilado del extracto E4

Procedimiento de las Intensidades Relativas.

En este procedimiento se utiliza, en lugar de la intensidad absoluta de la banda de interés analítico, su intensidad relativa a otra absorción en el espectro cuya posición e intensidad no varían en el proceso que se estudia. Se utiliza esta forma de expresar la intensidad de la banda de interés a causa de la gran dificultad experimental para reproducir el mismo grosor de capa en la película capilar en cada muestra y porque de este modo no es necesario pesar las muestras, con el considerable ahorro de tiempo y la eliminación de fuentes de error que esto significa.

En los espectros FTIR de los extractos se miden las intensidades de la vibración de valencia del grupo carbonilo ACO, en la región de los 1730 cm^{-1} (banda Nr. 10 de la Tabla I) y de la banda de referencia AOH en los 3400 cm^{-1} (banda Nr. 1 de la Tabla I).

Se calcula la intensidad relativa ICO, según la expresión:

$$ICO = ACO / AOH \qquad \text{Ecuación 1}$$

donde :

ICO: intensidad relativa de la vibración de valencia del grupo carbonilo

ACO: intensidad absoluta de la vibración de valencia del grupo carbonilo

AOH: intensidad absoluta de la vibración de valencia de grupos OH alcohólicos

Se utiliza como banda de referencia la Nr. 1 de la Tabla I, asignada a la vibración de valencia de grupos OH alcohólicos, porque es una banda absolutamente independiente del grupo carbonilo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Asignación de los espectros FTIR de los extractos.

Los espectros FTIR de las muestras (Figuras 1 y 2) se asignaron utilizando el programa ASIR v2,0 [ICIDCA (1997)], que es un sistema automatizado para la asignación de las absorciones características de los grupos funcionales químicos más relevantes en el espectro Infrarrojo [García J. A. (1996), (1999)] y literatura especializada [Neto C. D. (1991); Colthup N. B. (1975); Socrates G. (1980)]. El espectro FTIR de una muestra, brinda una visión integral de todos los grupos químicos presentes en la misma, principalmente de los que se encuentran en mayores cantidades, si ésta no es un compuesto puro. Para la asignación del espectro FTIR de una mezcla, es necesario por tanto, tener en cuenta su probable composición química.

En la Tabla I se muestran las posiciones de las bandas en cm^{-1} y las asignaciones de las frecuencias de grupo características más importantes de los espectros FTIR de las muestras, de acuerdo a la posible composición química de las mismas, en la que sólo se consideró la presencia de C, O e H. Cuando se asigna más de un tipo de vibración a una banda, es que todas son igualmente probables y/o pueden estar totalmente superpuestas. La columna EXTRACTOS muestra los valores promedio y las desviaciones estándar de las posiciones de las bandas de los extractos E1, E2 y E3, la columna METI muestra los valores de las posiciones de las bandas del derivado metilado.

TABLA I. ASIGNACIÓN DE LOS ESPECTROS INFRARROJOS			
Nr.	**ASIGNACIÓN**	**EXTRACTOS**	**METI**
1.	ν O-H alcohol	3397 ± 5	3365
2.	ν O-H ácido (dímero)	(3000 ± 500)	
3.	a. ν_{asim} –CH_3	2973 ± 3	2963*
	b. ν_{asim} –CH_2 ciclopentano		
4.	ν_{asim} – CH_2	2934 ± 0.5	2935*
5.	ν_{asim} – CH_2	2915	2915
6.	ν_{sim} – CH_3	2880 ± 0	2880*
7.	ν_{sim} – CH_2	2862	
8.	Sobretonos del grupo COOH	2700-2200	
9.	ν C=O éster alifático saturado		1737*
10.	a. ν C=O cetona en anillo de 5 miembros	1729 ± 2	
	b. ν C=O ácido		
	c. ν C=O acetato de alcoholes saturados		
11.	ν C=O cetona en anillo de 5 miembros		1693
12.	a. δ– CH_2	1456 ± 1	1455*
	b. δ OH + ν_{asim} HO-C-C ácido		
13.	δ_{asim} – CH_3	1441	1440*
14.	δ_{sim} – CH_3	1383 ± 3	1379*
15.	a. ν_{asim} O-CO-C éster alifático saturado	1230 ± 1	1236*
	b. C-CO-C cetona		
	c. ν_{asim} HO-C-C ácido + δ OH		
16.	ν_{asim} C-O-C éster alifático saturado	1195 ± 0	1196*
17.	ν_{sim} C-O-C éster alifático saturado	1089 ± 1	1093*
18.	ν C-O + ν C-C acetato de alcoholes saturados	1048 ± 1	1046

Claves:
ν: Vibración de valencia del enlace
δ: Vibración de doblaje en el plano del grupo funcional
asim: asimétrico
sim: simétrico

Las absorciones asignadas se pueden agrupar en los siguientes tipos:

- absorciones características de ácidos (bandas Nrs. 2, 8, 10b, 12b y 15c)
- absorciones características de grupos OH alcohólico (banda Nr. 1)
- absorciones características de los grupos CH_3 y CH_2 (bandas Nrs. 3-7 y 12a, 13-14).
- absorciones características de éster (bandas Nrs. 9, 10c, 15a, 17-18)
- absorciones características de cetona (bandas Nr. 10a, 11, 15b)

Los espectros de los extractos E1, E2 y E3 (Figura 1) son muy semejantes. El solapamiento y falta de definición de las bandas en los espectros FTIR de las muestras nos permite afirmar que los extractos obtenidos son mezclas complejas. Sin embargo, al comparar los espectros podemos apreciar que en los extractos E2 y E3 las bandas poseen mejor definición.

Los espectros de E1, E2 y E3 son muy complicados debido a que se superponen las absorciones características (Tabla I) correspondientes a las estructuras químicas de los jasmonatos y cucurbatos que deben estar presentes en los extractos. En estos espectros, las vibraciones de valencia de los grupos OH

acídicos, de los ácidos jasmónico y cucúrbico, aparecen como una banda muy ancha (banda Nr. 2), a causa de la formación de dímeros por puentes de hidrógeno, que se superpone completamente con las vibraciones de valencia de los OH alcohólicos del ácido cucúrbico y sus derivados (banda Nr. 1) y los grupos CH_3 y CH_2 (bandas Nrs. 3 a 7), que se encuentran en todos los compuestos de la mezcla.

La presencia de los ácidos orgánicos en los extractos se corrobora por la aparición de las muy características vibraciones de sobretonos del grupo -COOH, en la región entre los 2700 y los 2200 cm^{-1} (banda Nr. 8).

La región de las vibraciones de valencia de los grupos carbonilo (-C=O) en los espectros FTIR de los extractos E1, E2 y E3 es también muy compleja. En ellos aparece una banda en los 1729 ± 2 cm^{-1} (banda Nr. 10) en la que se han superpuesto las absorciones de los grupos carbonilo de:

- cetona en el anillo de 5 miembros (banda Nr. 10a), presentes en todos los compuestos de la mezcla.
- ácidos jasmónico y cucúrbico (banda Nr. 10b)
- éster del metil jasmonato (banda Nr. 10c), cuya presencia se confirma por otra absorción característica de acetatos en los espectros de los extractos (banda Nr. 18).

Correspondencia entre las intensidades de las bandas por FTIR y las determinaciones por HPLC.

En los espectros FTIR de los extractos, la intensidad de la banda correspondiente a la vibración de valencia de los grupos carbonilo debe ser proporcional a la concentración de los ácidos presentes. A fin de comprobar este postulado, en los extractos E1, E2 y E3 se calcularon las intensidades relativas de dicha banda (ICO) y se correlacionaron con las concentraciones de ácido jasmónico (mg/ml) determinadas por HPLC [Redondo D. (2003)], lo que se muestra en la Figura 3 y la Tabla II. Se puede apreciar que existe una buena correspondencia entre ambas magnitudes y que podría estimarse la concentración de ácido jasmónico mediante la intensidad de la banda carbonilo en los espectros FTIR de los extractos, lo cual será propósito de estudios posteriores.

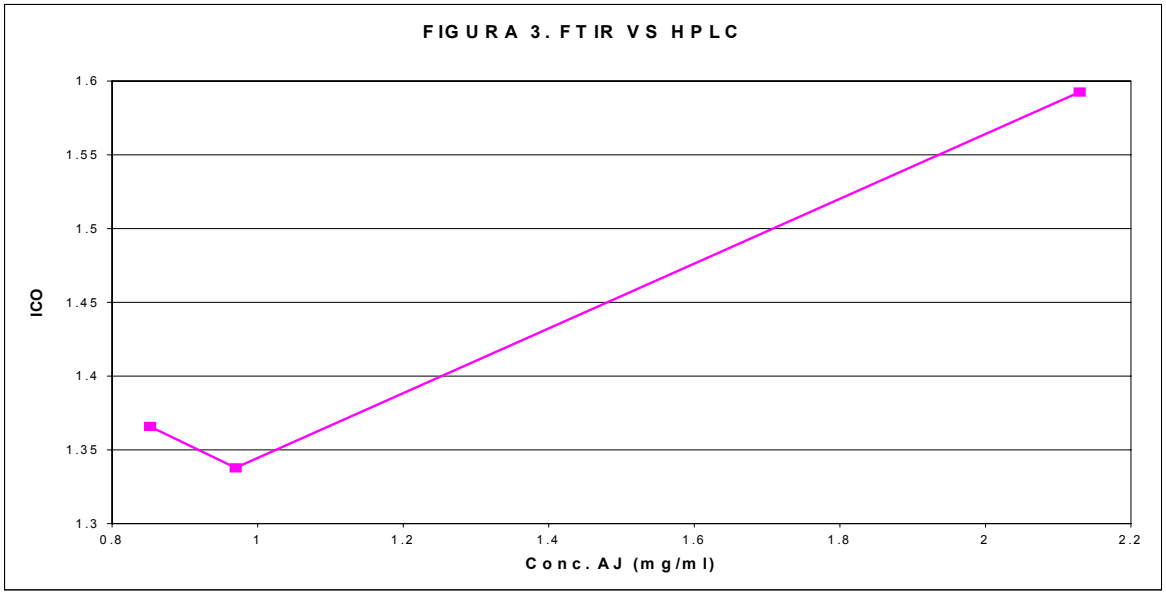


Tabla II. Comparación de resultados por FTIR y HPLC		
Muestra	**ICO**	**Conc. AJ**
E1	1.366	0.852
E3	1.338	0.970
E2	1.593	2.130

Según se observa en estos datos, de los dos extractos estudiados de la cepa 3 (muestras E2 y E3), la concentración de ácido jasmónico es mucho mayor en el extracto E2. Esta muestra tuvo un comportamiento atípico en su solubilidad pues para la determinación por HPLC fue necesario el tratamiento con ultrasonido.

Detección de cucurbatos.

El ácido cucúrbico y los cucurbatos poseen actividades biológicas similares a los jasmonatos. Se reporta [Miersch O. (1987)] la producción de cucurbatos en cultivos líquidos de *Bothryodiplodia theobromae* lo cual es muy atractivo por los altos precios de estos productos, alrededor de 400 USD/g.

En estudios realizados se presume la presencia del ácido cucúrbico y sus derivados en los cultivos de *Bothryodiplodia theobromae*. Mediante la Cromatografía de placa delgada [Lorenzo M. (2003a)] se detectan en estos caldos manchas que, por su coloración y valores de Rf [Ueda J. (1994)], son características del ácido cucúrbico y sus derivados. También se sospecha la presencia de cucurbatos en los caldos pues, en determinaciones realizadas mediante HPLC [Michelena G. (2003)], existe una gran coincidencia de los tiempos de retención de compuestos presentes en los cultivos con los reportados para cucurbatos [Ueda J. (1994)].

Para la cuantificación de los jasmonatos por Cromatografía de Gases es necesario obtener sus ésteres metílicos [Lorenzo M. (2003)]. Al comparar los espectros FTIR del extracto E4 y su derivado metilado (METI) (Figura 2), a fin de corroborar la esterificación de los ácidos, apreciamos:

- la desaparición en el derivado metilado METI, de las vibraciones de valencia de los grupos OH acídicos (banda Nr. 2) y de los sobretonos del grupo ácido en la región de 2700 a 2300 cm^{-1} (banda Nr. 8), lo que es consecuencia de la esterificación.
- la definición de una bamda en los 3365 cm^{-1} (banda Nr. 1) en el derivado metilado METI que, por la posición y forma de la banda, se asigna a una vibración de valencia de grupos OH de tipo alcohólico. Como los OH de tipo alcohólico se encuentran sólo en el ácido cucúrbico y/o sus derivados y no en los jasmonatos, podemos concluir que en el extracto E4 existe una cantidad apreciable de cucurbatos.

Lo anterior corrobora la metilación total del extracto E4 y la presencia de cucurbatos en el mismo.

CONCLUSIONES

1. Mediante la asignación de los espectros FTIR de extractos de metabolitos producidos en cultivos líquidos de *Bothryodiplodia theobromae* se confirma la presencia de grupos químicos de las estructuras de jasmonatos y cucurbatos en estos caldos.
2. En los extractos estudiados existe una buena correspondencia entre las intensidades relativas de la vibración de valencia del grupo carbonilo en los espectros FTIR y las concentraciones de ácido jasmónico determinadas por HPLC.

3. Se confirma la presencia de ácido cucúrbico y/o sus derivados en extractos de cultivos líquidos de *Bothryodiplodia theobromae*, mediante las bandas características de los grupos OH de tipo alcohólico, que sólo se encuentran en los cucurbatos en los caldos estudiados.

REFERENCIAS

Almeida G., M. Klibansky, B. Altuna, F Eng, S. Legrá y S. Armenteros (1999). "Algunas consideraciones acerca de la utilización de fuentes carbonadas en la producción de ácido jasmónico". Rev. Iberoamer. Micol., 16: 146-148.

Cohen Y., U. Gisi, T. Niderman, (1993). "Local and sistemic protection against *Phytophthora* infestans induced in potato and tomato plants by jasmonic acid and jasmonic methyl ester". Phytopathology 83: 1054-1062.

Colthup, N. B., L. H. Daly, S. E Wiberley (1975). "Introduction to Infrared and Raman Spectroscopy", Academic Press, New York.

Eng, F. (1996). "Producción de ácido jasmónico con *Bothryodiplodia theobromae* por cultivo líquido y por fermentación en medio sólido". Tesis para el grado de Maestro en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. México D.F.

García J. A.., A. Bermello y otros (1996). "The automated assignment of Infrared spectrum: ASIR 1,1. Software implementation". Revista CIENCIA (Venezuela) 4, (2).

García J. A.., A. Bermello y otros (1999). "Algoritmo para la asignación automatizada de espectros infrarrojo". Afinidad, LVI (484): 349 – 359.

Hamberg M., H.W. Garder (1992). "Oxylipin pathway to jasmonates: biochemistry and biological significance". Biochim. Biophys. Acta 1165: 1-18

ICIDCA (1997). Programa ASIR v 2.0.

Kitahara T. (1991). Agric. Biol. Chem. 55 (4): 1013-1017

Koda Y. (1992). "The role of jasmonic acid and related compounds in the regulation of plants development". Int. Rev. Cytol. 135: 155-159.

Lorenzo M., J. González (2003). "Determinación de ácido jasmónico (AJ) y el ácido 9,10 dihidrojasmónico (ADHJ) en fermentación de cepas de Bothryodiplodia theobromae por cromatografía gaseosa". Revista ICIDCA Sobre los derivados de la caña de azúcar, XXXVII (1): 3 - 6.

Lorenzo M., S. Martínez; F. Eng; G. Michelena (2003a). "Análisis por TLC de jasmonatos obtenidos por vía fermentativa". Memorias de la 2da. Conferencia Internacional de Química, Santa Clara, ISBN 959-250-080-0.

Michelena G. (2003). Informe Anual del Proyecto Nacional "Desarrollo de productos biológicos para su aplicación al cultivo de la caña de azúcar", Informe Interno 4493, ICIDCA.

Miersch O., A. Preiss, G. Semdner, K. Schreiber (1987). "(+)-Isojasmonic acid and related compounds from *Bothryodiplodia theobromae*". Phytochemistry 26: 1037-1039.

Miersch O., T. Gunther, W. Fritsche, G. Semdner (1993). "Jasmonates from different fungal species". Natural Products Letters 2: 293-299.

Neto, C. D., Y. Kono, H. Hyakutake, M. Watanabe, Y. Suzuki, A. Sakurai (1991). "Isolation and identification of (-)-Jasmonic Acid from wild rice, Oryza officinalis, as an antifungal substance". Agric. Biol. Chem. 55 (12): 3097 - 3098.

Ortega, G., M. Oliveros, M. Lorenzo, G. Michelena, E. Carreras, B. Altuna, G. Almeyda (2002). "Separación y purificación de ácido jasmónico en caldos de fermentación". Informe Interno 4420. ICIDCA.

Ortega, G., M. Oliveros, M. Lorenzo, G. Michelena, E. Carreras, B. Altuna, S. Armenteros, S. Legrá (2003). "Separación y purificación de ácido jasmónico obtenido por vía microbiana". Revista ICIDCA Sobre los derivados de la caña de azúcar, XXXVII, (1): 43 - 50

Redondo D. (2003). Comunicación personal

Sembner G., B. Pathier (1993). "The biochemistry and the Physiological and molecular actions of jasmonates". Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol. 44: 569-589.

Socrates, G. (1980). "Infrared Characteristic Group Frequencies", John Wiley and Sons, New York.

Ueda J., K. Miyamoto, S. Kamisaka (1994). "Separation of a new type of plant growth regulator, jasmonates, by chromatographic procedures". J. Chromatog. A 658: 129-142.

FIGURA 1.
ESPECTROS FTIR DE LOS EXTRACTOS

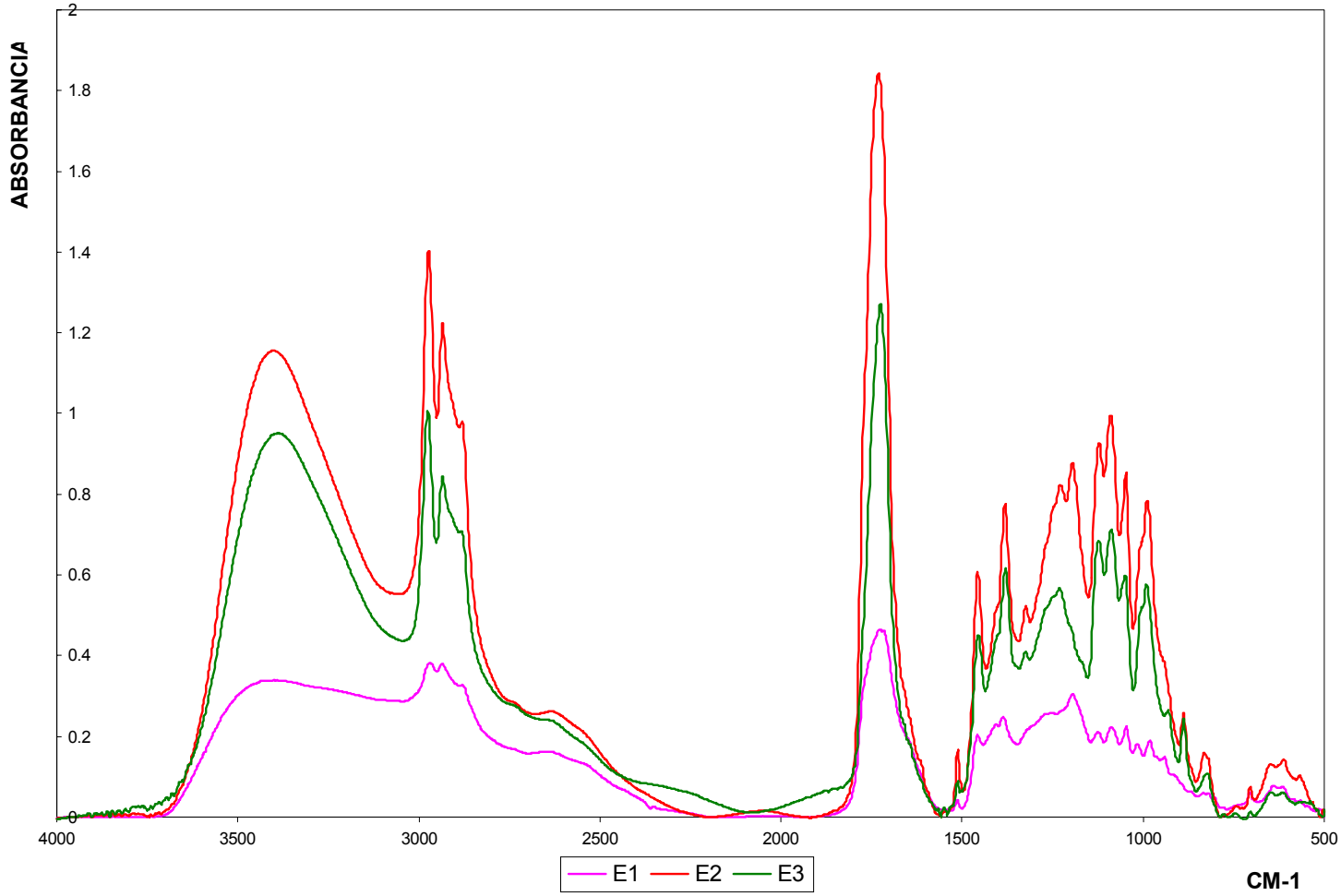
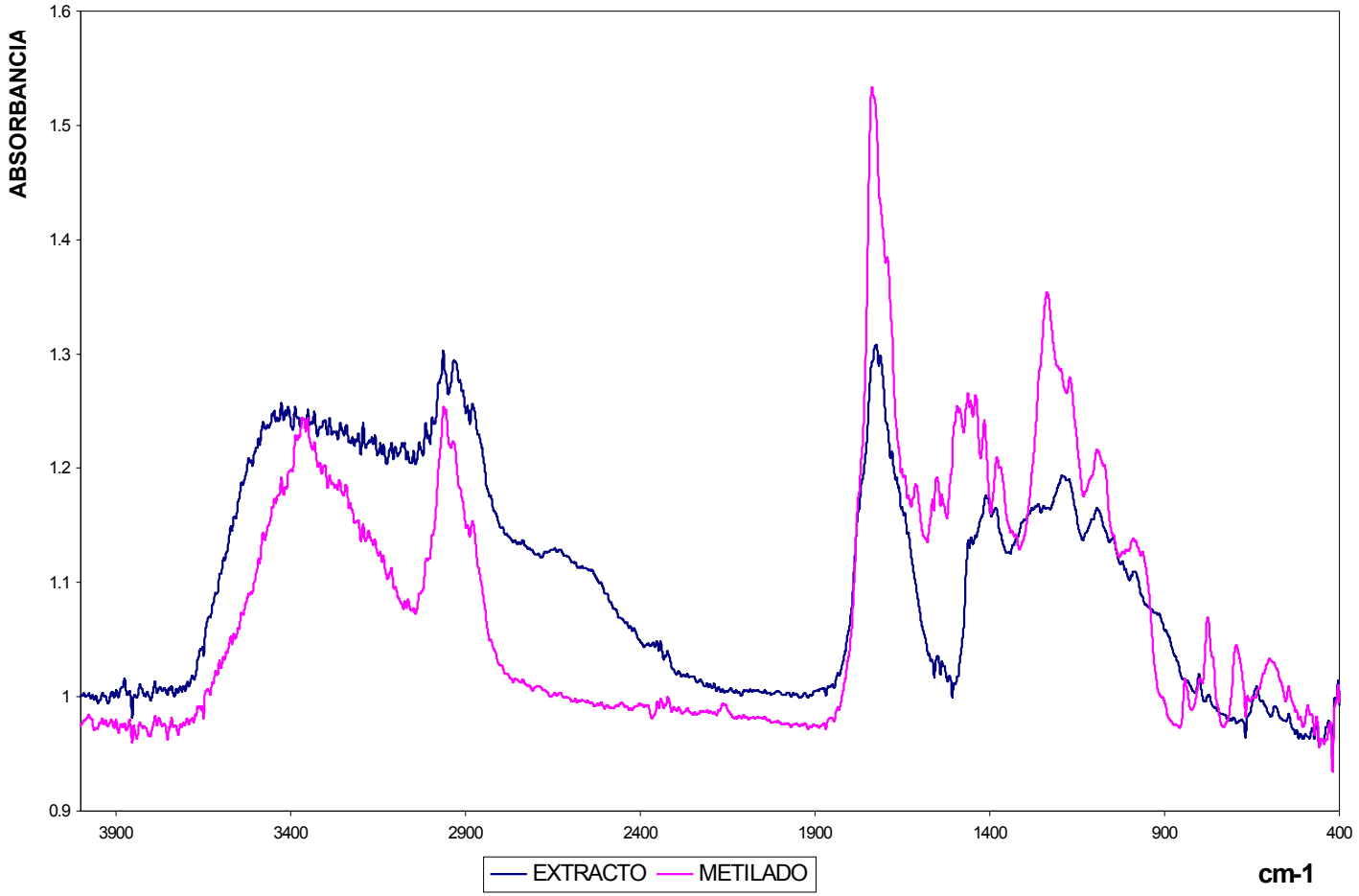


FIGURA 2.
ESPECTROS FTIR DEL EXTRACTO E4 Y SU DERIVADO METILADO



DISMINUCIÓN DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE TABLEROS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE RESINA UREA-FORMALDEHÍDO CON RELLENOS INORGÁNICOS.

DIMINISING OF PRODUCTION COST TABLE BOARD BY MEANS OF UREA – FORMALDEHYDE WITH INORGANIC FILLERS.

Manuel Serantes López[1] Juan A. Leal Alfonso[1] Arletis Renté Zamora[1] María Elena Rodríguez[1] Michel Bocourt Povea[1] Mario Dorta Rodríguez[1] Natalia Vega[2]

Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar(**ICIDCA**)[1]
serantes@icidca.edu.cu
Laboratorio Central de Minería(**LACEMI**)[2] natalia@LACEMI.cu

RESUMEN
Es conocida la utilización de rellenos inorgánicos con resinas de diferentes tipos desde hace varios años, fundamentalmente en selladoras, tapaporos, masillas, etc., con aplicaciones en la industria del mueble, así como en la preparación de pinturas vinílicas, de aceite, esmaltes, etc
En este trabajo se hace un estudio sobre el uso de diferentes porcientos de rellenos inorgánicos para sustituirlo por resina con el objetivo de diminuir el costo de los tableros. En el mismo se emplean diferentes aditivos para mejorar la suspensabilidad de los rellenos, se presentan tablas con las propiedades físico-químico así como con las propiedades físico- mecánico de los tableros producidos con los diferentes porcientos de los rellenos seleccionados.
Se presenta un análisis económico preliminar del ahorro producido por el uso de 5%,10%,15% de resina Urea – Formaldehído sustituido por relleno en tablero de partículas.
Palabra claves: aditivo, físico-químico , físico-mecánico.

Summary
It is known since several years the use of inorganic filler with different types of resins, fundamentally in sealers, porefillers mastic, etc. with applications in the preparation of vinyl based paint, oil based paints, enamels .etc.
In the present work a study about the use of different inorganic filler to substitute resin with the objective of diminish the particleboard cost is realized. In the work different additives to improve the suspensability of the filler are employed. Table with the physical-chemical properties, as same as the physical- mechanics properties of particleboard produced with the different percents of the selected fillers are presented.
A economic preliminary analysis of the savings produced due to the use of 5%,10% and 15% of fillers substituting resin Urea-Formaldehyde in particleboard with the mentioned additives.
Keys words: additive ,physical-chemical, physical-mechanics

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental de esta investigación es el desarrollo y estudio de modificaciones en la resina urea- formaldehído con relleno inorgánicos nacionales para mejorar o mantener las propiedades adhesivas de la resina y las propiedades físico- mecánicas en los tableros con el objetivo de disminuir el costo de producción de estos últimos. Se estudiaron varios tipos de rellenos con tres granulometrias diferentes de los mismos: menos de 100, 44 y 70 micras, Gálvez (1986), La Serna (1982).

Los rellenos inorgánicos en el caso de la resina urea- formaldehído le imparten muy buena plasticidad pues disminuyen la cristalinidad del retículo polimérico al interpenetrar las moléculas de los aluminosilicatos en el mismo.

Esta unión resulta en un nuevo producto con propiedades intermedias mejores o peores que los integrantes por lo que se hace necesario estudiar las propiedades químico- físico y físico- mecánicas.

En este estudio se espera sustituir entre 10 – 15% de resina urea- formaldehído por rellenos debido a que el costo de las resinas es (80 – 85) % mayor que el costo de los rellenos.
En este trabajo se estudiaron tres rellenos diferentes, Zeolita , Bentonita, y Vidrio Volcánico, los cuales han sido detalladamente estudiados por las técnicas de Difracción de Rayos X (DRX), Análisis Térmico (AT) en sus variantes Termico Diferencial, Termo Gravimetrico y Diferencial Termo Gravimétrico, así como Análisis Químico (AQ) y por métodos de Absorción Atómica.
Además de la caracterización de los rellenos se obtuvieron las propiedades físico–químicas a las mezclas de resina urea – formaldehído con los rellenos y se produjeron tableros con diferentes por ciento, de los rellenos seleccionados, los que fueron sometidos a diferentes análisis físico-mecánicos.
Los mejores resultados se obtuvieron con granulometría entre 70 y 100 micras
Al igual que en los estudios anteriores la escala fue de planta piloto en tableros de 25 x 28 cm quedando pendiente el escalado en una planta de tableros.
En el trabajo participa, también LACEMI que lo hace en colaboración en todo lo referente a propiedades de los rellenos, yacimientos importantes y suministros, lo cual hizo posible que se tomaran los rellenos estudiados.

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

La resina urea – formaldehído utilizada procede de la fábrica de tablero de partículas " "Camilo Cienfuegos" de Santa Cruz del Norte. Las partículas para la producción de los tableros, tanto la capa superficial, como la capa central también provienen de la fábrica mencionada anteriormente. Las partículas se secaron hasta un 2 % de humedad en la estufa a 105 ^{O}C. Serantes (1990), Serantes (1992).
Como se aprecia en la tabla I las resinas utilizadas para mezclar con los rellenos, en el estudio de las diferentes granulometrías no fueron las mismas aunque todas están en los rangos de trabajo admisibles para la mismas.

TABLA I Las propiedades físico-químicas de la resinas utilizadas para mezclar con los rellenos son las siguientes:

Micras utilizadas	**70**	**44**	**100**
- Peso Seco (%)----------	61.3	60.8	54..9
- Tiempo de Gel (s) ----------	98	128	60
- Viscosidad en copa 4 mm (s) ---------	32.7	75	15
- pH ----------	8.7	8.1	7.7
- Formaldehído Libre(%)----------	1.3	0.62	1.7

También se obtuvieron tableros producidos en fábricas para realizar la comparación, como blanco, con respecto a los tableros que se le añadieron los rellenos inorgánicos independientemente que también se produjeron tableros con las partículas de la fábrica en las mismas condiciones con la que se realizaron los tableros con relleno pero sin los mismos.
Los rellenos utilizados fueron:

1. Zeolita
2. Bentonita
3. Vidrio Volcánico

Los rellenos utilizados son procedentes de los yacimientos de Zeolitas de Tasajeras en la Provincia de Las Villas, la Bentonita de Managüa en la Provincia de la Habana y el Vidrio Volcánico de Güaramanao en la provincia de Holguín. Rodríguez (1990)
Las granulometrías estudiadas fueron: menor de 70, 44 y 100 micras.

Caracterizados desde el punto de vista químico y mineralógico en el Laboratorio Central de Minerales José Isaac del Corral, LACEMI, con la utilización de los equipos y parámetros de trabajo que posee la institución.

III. RESULTADO Y DISCUSIÓN.

El análisis químico de las muestras se presenta en la tabla II y III.

TABLA II Composiciones químicas en %

Elementos	**Vidrio Guaramanao**	**Zeolita Tasajeras**	**Bentonita Managüa**
SiO_2	62.16	61.43	49.60
Al_2O_3	13.64	11.98	19.90
CaO	4.57	5.78	2.17
MgO	3.33	1.28	2.41
Fe_2O_3	2.10	2.99	8.95
TiO_2	0.35	0.52	0.81
Na_2O	2.18	1.32	0.10
K_2O	1.44	1.58	0.20
PPI	9.62	11.11	14.50

Como puede observarse la composición química de los tres rellenos varía, sobre todo la de la bentonita de Managüa ya que aunque son alumino silicatos, sus composiciones estructurales y la composición mineralógica es diferente.

TABLA III. Composición mineralógica.

	Vidrio Cuaramanao	Zeolita Tasajeras	Bentonita Managüa
Minerales	Vidrio Volcánico Montmorillonita Calcita Feldespato (trazas)	Heulandita – Clinoptilolita Feldespato Montmorillonita Quarzo Calcita	Mineral de Capas Mezclada Motmorillonita – Beidelita Gohetita Caolinita (trazas)

La literatura clásica en estos minerales esta reportada por ASTM (1998),Nemecz(1981), Grim (1968), Mackenzie (1970) e Ivanova (1974).
El bagazo que se utilizó en la producción de tableros de partículas presenta las siguientes características:

Análisis granulométrico de las partículas de bagazo de la capa superficial.

Tamiz(mm)	**6.3**	**4**	**2**	**1**	**0.5**	**0.2**	**colector**
Promedio(%)	-	-	6.32	24.48	43.52	20.04	5.04

Análisis granulométrico de las partículas de bagazo de la capa central

Tamiz(mm)	**6.3**	**4**	**2**	**1**	**0.5**	**0.2**	**colector**
Promedio(%)	2.16	7.44	30.4	32.38	20.72	5.84	0.72

Se produjeron probeta de laboratorio en forma de paleta pero por contracciones de la resina con los rellenos estos se arquearon y no se le pudieron realizar propiedades físico- mecánicas, Serantes (1989), Serantes (1993).

III .1 Producción de las mezclas de resinas y rellenos.

a) Granulometría de 70 micras.

Antes de producir tableros sustituyendo relleno por resina UF es necesario conocer las propiedades fisico-químicas de las mezclas en los porcientos que se pretende estudiar puesto que puede ocurrir que no haya compatibilidad del relleno y la resina, que los rangos sean muy altos o que las propiedades de las mezclas estén por debajo de los rangos establecidos para producir tableros.

Sobre la base de lo anterior se presenta a continuación las propiedades físico – químicas de los rellenos zeolita tasajera y vidrio volcánico con granulometría de menos de 70 micras con la resina urea – formaldehído utilizada.

En las tablas IV,V y VI, se presentan los resultados obtenidos de las mezclas producidas con granulometrías menor de 70 micras en los % de sustitución por resina que fueron estudiados 5, 10 y 15.

TABLA IV : Propiedades físico – químicas de las mezclas de Zeolita Tasajera y resina urea– formaldehído (U.F.).

Propiedad / %	5	10	15
Tiempo de Gel (s)	-	97	90
Tiempo de Vida (h)	+ de 7	+ de 7	+ de 7
pH con catalizador	6.15	6.13	6.09
pH sin catalizador	7.70	7.36	7.11

TABLA V . Propiedades físico – químicas de la mezcla Bentonita y Resina Urea – Formaldehído.

Propiedad / %	5	10	15
Tiempo de Gel (s)	92	164	274
Tiempo de Vida (h)	+ de 7	+ de 7	+ de 7
pH con catalizador	6.84	7.01	7.25
pH sin catalizador	9.64	9.93	10.12

TABLA VI . Propiedades físico – químicas de la mezcla de Vidrio Volcánico y Resina Urea – Formaldehído.

Propiedad / %	5	10	15
Tiempo de Gel (s)	96	92	80
Tiempo de Vida (h)	+ de 7	+ de 7	+ de 7
pH con catalizador	6.16	6.17	6.14
pH sin catalizador	8.01	7.84	7.74

Como se observa en las tablas IV, V y VI, el tiempo de vida en todos los casos es mayor de 7 horas.

El tiempo de gel disminuye al aumentar el porciento de relleno empleado con los rellenos de Zeolita y Vidrio Volcánico, y no así en el caso de la Bentonita, que al aumentar el % de relleno hace que no endurezca la resina debido posiblemente a su contenido de iones calcio en su estructura laminar.

Comparando con el tiempo de gel de la U.F. que es de 98 segundo, se puede observar como entre 5 y 10 % la Zeolita y el Vidrio Volcánico no afectan esta propiedad no así con el 15 % que lo disminuye ligeramente. En el caso de la Bentonita con 5 % no afecta la propiedad pero sí con 10 y 15 %.

En el caso del pH sin catalizador disminuye en el caso de la Zeolita y el Vidrio Volcánico cuando aumenta el porciento de relleno no así en el caso de la Bentonita lo cual provoca un aumento del mismo.
Analizando el pH cuando tiene el catalizador se mantiene en el caso de la Zeolita y el Vidrio Volcánico o disminuye muy ligeramente al aumentar el porciento de relleno. En el caso de la Bentonita aumenta el pH al aumentar el porciento de relleno.
En todos los casos, con respecto al pH de la resina U.F. la mezclas con rellenos disminuye dos unidades aproximadamente debido fundamentalmente al efecto del catalizador cloruro de amonio.
Por las razones anteriores, es decir, sobre la base de las propiedades físico – químico se decidió producir tableros con los rellenos Zeolita Tasajera y Vidrio Volcánico en el rango estudiado y no así con la Bentonita.

b) Granulometría menor de 44 micras.

TABLA VII: Propiedades físico- químicas de las mezclas de zeolita tasajera y resina urea-formaldehído (U.F.).

Muestras	pH	Tiempo de gel (s)	viscosidad (s)
5%	8.57	142	85
10%	8.67	156	105
15%	8.62	187	130

TABLA VIII: Propiedades físico- químicas de las mezclas de vidrio volcánico y resina urea-formaldehído (U.F.).

Muestras	pH	tiempo de gel (s)	viscosidad (s)
5%	8.91	128	81
10%	8.79	130	100
15%	8.70	134	114

Tiempo de gel.
Como se puede observar en las tablas Nº VII, NºVIII el tiempo de gel aumenta a medida que aumenta el % de relleno observándose más notable en la zeolita tasajera que fue de 45(seg.); y en el vidrio volcánico fue de 6(seg.)
Viscosidad
La viscosidad al igual que tiempo de gel aumenta a medida que aumenta el % de relleno haciéndose más notable en la zeolita tazajera que fue de 44(seg.), y el vidrio volcánico tuvo la menor variación que fue de 33(seg.).
pH.
El pH aumenta a medida que aumenta el relleno; en el vidrio volcánico disminuye con el aumento del relleno entre 9.91-8.70, y la zeolita tasajera se mantiene constante entre (8.57-8.62).
Tiempo de vida.
El tiempo de vida se mantiene constante para los dos rellenos, siendo de 4horas.
Una vez obtenidas las propiedades físico-químicas de los experimentos con los diferentes % de rellenos se procedió a la segunda etapa del desarrollo experimental que consiste en producir tableros de partículas de 3 capas y de 10mm de espesor con 5,10 y 15% de rellenos.

c) Granulometría menor de 100 micras.

TABLA IX Propiedades físico – químicas de las mezclas de zeolita tasajera y resina urea-formaldehído (U.F.). Menos de 100 micras.

Muestras	pH	Tiempo de gel (s)	viscosidad (s)
0%	7.5-8.0	120-160	18-20
5%	7.50	138	17.7
10%	7.45	155	18.0
15%	7.45	170	19.0

TABLA X Propiedades físico – químicas de las mezclas de vidrio volcánico y resina urea-formaldehído (U.F.).

Muestras	pH	tiempo de gel (s)	viscosidad (s)
0%	7.5-8.0	120-160	18-20
5%	7.65	100	17.6
10%	7.69	105	18.0
15%	7.48	+ 300	18.0

En la tabla IX se aprecia el comportamiento de las propiedades de las mezclas de resina urea – formaldehído con relleno de Zeolita Tasajera.
El tiempo de gel aumenta al aumentar el porciento de relleno entre 138 y 170 aunque se presenta en un rango de trabajo aceptable.
La viscosidad se mantiene entre 18 y 19 segundos y el pH en 7.5 estos también se encuentran en un rangos de trabajo aceptables.
En la tabla X se puede observar como varían la propiedades físico – químicas de la resina urea – formaldehído con la adición de diferentes porciento de relleno de Vidrio Volcánico.
El tiempo de gel aumenta al aumentar el porciento de relleno de 5 a 15% entre 100 a más de 300 segundos esto implica que al no endurecer la resina, con 15% en menos de 5 minutos habría que realizar modificaciones en el ciclo de prensado para lograr que la resina endurezca.
La viscosidad se mantiene en un buen rango de trabajo alrededor de 18 segundos y el pH disminuye ligeramente de 7.7 en 5 y 10% a 7.5 en 15% estando también en rango de trabajo para la tecnología de tableros.
Concluyendo con lo anteriormente expuesto que las propiedades físico–químicas son buenas y que permiten producir tableros con esta cantidad de rellenos estudiada.

III.2 Producción de tableros.

Se produjeron tableros de 3 capas y de 10mm añadiéndose 1 % de emulsión de parafina al 37 % así como 9 % de resina en la capa central y 11 % en la capa superficial. La cantidad de relleno utilizado se resta de la resina Urea – Formaldehído utilizada para de esta forma sustituir resina por relleno.

Se produjeron tableros con Zeolita Tasajera y Vidrio Volcánico por las razones mencionadas anteriormente, es decir, por la interacción negativa de la Bentonita con la resina Urea – Formaldehído para la producción de tableros.

A.- Granulometría menor de 70 micras

En las tablas XI y XII se presentan las propiedades físico–mecánicas de los tableros producidos con diferentes porcientos de rellenos de Zeolita y Vidrio Volcánico y se comparan con los tableros sin relleno tanto los producidos en el ICIDCA como los producidos en la fábrica " Camilo Cienfuegos ".

TABLA XI. Propiedades físico – mecánicas de los tableros producidos con diferentes porciento de Zeolita Tasajera.

Propiedades	Tablero de fábrica	Tablero del ICIDCA	5%	10%	15%
Densidad kg/m^3	692	685	704	666	676
Espesor mm	17.08	8.5	8.7	9.02	8.8
Humedad %	7.4	7.5	6.9	7.0	7.3
Flexión N/mm^2	20.9	17.9	22.0	18.5	18.3
Mód. de Flex. N/mm^2	1700	-	2420	1947	1952
Tracción N/mm	0.32	0.24	0.40	0.39	0.26
Dilatación (2 h) %	15.6	13.3	13.3	14.9	17.6
Dilatación (24 h) %	26.8	36.3	30.5	34.1	37.6
Absorción (2 h) %	53.4	24.9	24.3	27.8	32.1
Absorción (24 h) %	90.7	82.6	68.4	52.7	77.4

Como se puede apreciar de la tabla anterior la resistencia a la flexión aumenta con respecto al tablero sin relleno así como el módulo de flexión y la tracción perpendicular tanto con respecto al tablero producido en el ICIDCA como al producido en la fábrica. Sin embargo se aprecia también como disminuyen las propiedades al aumentar el porciento de relleno.

En la dilatación y absorción en 2 y 24 horas se mantiene en el rango comparado con los tableros sin relleno hasta 10 % no así con 15 % de relleno.

TABLA XII Propiedades físico – mecánicas de los tableros producidos con diferentes porciento de Vidrio Volcánico.

Propiedades	Tablero de fábrica	Tablero del ICIDCA	5%	10%	15%
Densidad kg/m^3	692	685	672	657	698
Espesor mm	17.08	8.5	8.7	8.7	8.8
Humedad %	7.4	7.5	7.1	7.4	7.1
Flexión N/mm^2	20.9	17.9	18.7	16.8	17.8
Mód. de Flex. N/mm^2	1700	-	1901	1834	1950
Tracción N/mm	0.32	0.24	0.34	0.33	0.26
Dilatación (2 h) %	º	13.3	18.5	24.3	18.4
Dilatación (24 h) %	26.8	36.3	45.3	44.3	43.9
Absorción (2 h) %	53.4	24.9	29.4	42.7	22.4
Absorción (24 h) %	90.7	82.6	78.4	96.0	78.6

De la tabla anterior se puede afirmar que la flexión, el módulo y la tracción se mantienen en rango hasta 10 % de relleno comparado con el tablero producido en el ICIDCA y con el de la fábrica " Camilo Cienfuegos". La dilatación y la absorción aumentan ligeramente con respecto a los tableros sin relleno.
Para un incremento del porciento de relleno se puede observar que hasta 10 % mantiene las propiedades mecánica en un rango adecuado así como la dilatación y absorción.

B.- Granulometría menor de 44 micras

TABLA XIII: Propiedades fisico-mecánicas de los tableros producidos con diferentes porcientos de Zeolita Tasajera.

Propiedades	**5%**	**10%**	**15%**	**0%**
Espesor (mm)	10.0	9.8	10.1	9.9
Densidad (kg/m^3)	663	684	663	679
Flexión (N/mm^2)	14.9	16.5	16	18.3
Módulo (N/mm^2)	1572	1577	1463	1720
Tracción (N/mm^2)	0.3	0.3	0.3	0.4
Dilatación.2h (%)	12.2	13.6	10.3	9.5
Dilatación.24h (%)	38.4	41.6	36.1	32
Absorción. 2h (%)	28.9	28.5	22.2	26.2
Absorción.24h (%)	82.1	88.9	81.1	74.2
Humedad (%)	6.4	6.9	7.7	7.3

TABLA XIV Propiedades fisico-mecánicas de los tableros producidos con diferentes porciento de Vidrio volcánico.

Propiedades	**5%**	**10%**	**15%**	**0%**
Espesor (mm)	10.2	10.1	10.2	9.9
Densidad (kg/m^3)	659	666	658	679
Flexión (N/mm^2)	14.8	16.6	15.8	18.3
Módulo (N/mm^2)	1804	1804	1666	1720
Tracción (N/mm^2)	0.3	0.3	0.2	0.4
Dilatación.2h (%)	22.6	14.6	18.5	9.5
Dilatación.24h (%)	38.4	38.6	41.5	32
Absorción. 2h (%)	42.5	41.5	95.7	26.2
Absorción.24h (%)	88.7	28.7	82.5	74.2
Humedad (%)	6.3	6.2	7.7	7.3

TABLA XV: Propiedades fisico-mecánicas de los tableros de partícula para diferentes espesores según la Norma Cubana 43-18-99

Propiedad	**Método de ensayo**	**Unidades**	**Especificación Rango de espesores en mm**			
			3-8	> 8-13	>13-20	>20-25
Resistencia a la flexión estática	NC 43-08-2	N/mm^2	15	14	13	12
Módulo de elasticidad en flexión	NC43-08-2	N/mm^2	1900	1800	1600	1500
Resistencia a la tracción perpendicular a la superficie	NC 43-08-6	N/mm^2	0.45	0.40	0.35	0.30
Dilatación del espesor por inmersión total en agua durante 24 horas	NC 43-08-4	%	20	20	18	18

Zeolita Tasajera

En la tabla XIII se puede observar la variación de las propiedades al aumentar el % de relleno. En este caso las propiedades mecánicas se mantienen en el orden de 16.0-16.5(N/mm^2) para la flexión, 1470-1570 N/mm^2 para el módulo de la flexión y 0.3 N/mm^2 para la tracción perpendicular.

En el caso de las propiedades físicas como % de dilatación en 2h y 24h y % de absorción los valores se mantienen aproximadamente constantes con el aumento de relleno en los valores siguientes: (10-13)y (36-42)% para la dilatación en 2h y 24h respectivamente y 23-28% y 82-88% para la absorción en 2- 24 horas.

Las variables; espesor, densidad y humedad se mantiene en el rango 660-685 Kg/m^3, 6.5-7.5% y 10mm respectivamente.

Queremos señalar que si estos valores se comparan con la tabla XV que contiene las propiedades físico-mecánicas establecidas en la norma cubana NC 43-18-99 para tableros de partículas los valores obtenidos se encuentran dentro de los parámetros establecidos para la flexión aunque ligeramente menores para el módulo. La flexión 1800 N/mm^2 y la tracción 0.4 N/m^2. La dilatación en 24 horas resultó también algo mayor comparándolo con los valores de la norma.

Comparando entonces los valores de las propiedades físico-mecánicas obtenidas con los diferentes % de relleno con las propiedades de los tableros sin los rellenos (tablero patrón) Tabla XV se puede observar también la disminución de las propiedades cuando se emplea rellenos de Zeolita Tasajera entre 5 y 15%.

Los tableros sin rellenos si cumplen con la norma 43-18-99 excepto en la dilatación que es ligeramente superior, por lo tanto podemos concluir que los rellenos de Zeolita Tasajera en el rango de 5-15% disminuyen ligeramente las propiedades comparando con el tablero sin relleno y con las propiedades establecidas en la norma de especificaciones de calidad de tableros de partículas. Serantes (1998), Martínez (1991), Valdés (1989)

Vidrio volcánico

En el caso del relleno vidrio volcánico se observa en la tabla XIV que ocurre algo similar al caso de la Zeolita Tasajera; las propiedades mecánicas de flexión están el rango respecto a la norma 43-18-99 no así el modelo de la flexión ni la tracción perpendicular.

Las propiedades físicas están por encima de la norma y la humedad el espesor y la densidad están en el rango de (6.2-6.8)%y (10.1-10.2)mm y (658-666) Kg/m^3.

Se puede concluir también en este caso que las propiedades disminuyen ligeramente cuando se añade este relleno en el rango de 5-15%.

C.- Granulometría menor de 100 micras

Por tanto se procedió a producir tableros en las condiciones señaladas anteriormente y a medirse las propiedades físico – mecánicas de los mismos las cuales se muestran en las tablas siguientes:

TABLA XVI Propiedades físico – mecánicas de los tableros producidos con diferentes porcientos de Zeolita Tasajera.

Propiedades	**0%**	**5%**	**10%**	**15%**
Espesor (mm)	9.9	10.6	9.9	10.2
Densidad (kg/m^3)	634	645	713	622
Flexión (N/mm^2)	14.1	16.6	30.6	22.2
Módulo (N/mm^2)	1838	1838	1913	1954
Tracción (N/mm^2)	0.45	0.33	0.49	0.28
Absorción.2h (%)	25.10	47.35	26.45	45.10
Absorción.24h (%)	75.7	95.9	64.9	87.2
Dilatación.2h (%)	6.9	11.0	6.6	15.1
Dilatación.24h (%)	16.9	21.2	21.5	31.5
Humedad (%)	7.7	6.7	6.8	7.0

Como se puede observar de la tabla XVI la resistencia a la flexión reporta valores superiores que los tableros sin rellenos (0%) siendo más pronunciada en 10% de adición. Con la resistencia a la tracción ocurre algo similar en 10% de relleno se observa un incremento de la propiedad, el modulo de flexión se mantiene aproximadamente 1900 ± 120 (N/mm^2) para los tres porciento estudiados.
En la absorción en 2 y 24 horas se observan valores comparables con el blanco de 0% de relleno solo con 10% de adición, con 5 y 15% reportan valores mayores. Un tanto parecido a la absorción ocurre en la dilatación en 2 y 24 horas, solo con 10 % reporta resultados comparables con el blanco.
El espesor la densidad y la humedad se mantienen en el rango de trabajo: 10.2 mm ± 0.2; 654 kg/m^3 ± 21 y 7% ± 0.3 respectivamente.
Por las razones señaladas anteriormente se comprueba que en 10% de adición presenta las mejores propiedades.

En la tabla XVII se muestran las propiedades físico – mecánicas de los tableros con relleno Vidrio Volcánico

TABLA XVII Propiedades físico-mecánicas de los tableros producidos con diferentes porciento de Vidrio Volcánico.

Propiedades	**0%**	**5%**	**10%**	**15%**
Espesor (mm)	9.9	9.9	10.7	10.4
Densidad (kg/m^3)	634	655	643	640
Flexión (N/mm^2)	14.1	30.4	19.4	20.6
Módulo (N/mm^2)	1837	2797	901	896
Tracción (N/mm^2)	0.45	0.43	0.30	0.30
Absorción.2h (%)	25.1	23.8	55.0	31.4
Absorción.24h (%)	75.7	67.6	100.0	78.2
Dilatación.2h (%)	6.95	7.25	16.50	8.45
Dilatación.24h (%)	16.9	21.6	34.5	21.7
Humedad (%)	7.7	6.5	7.0	7.0

Como se aprecia en la tabla XVII la resistencia a la flexión reporta valores superiores que el experimento sin relleno (0%) existiendo buenos valores siempre entre 10 y15% alrededor de 20 N/mm^2. Con la resistencia a la tracción no ocurre lo mismo y se observa que disminuye a medida que aumenta el porciento de relleno aunque hasta el 10% es admisible 0.3 N/mm^2.

El módulo de flexión se presenta bajo, en el orden de 900 N/mm^2 en 10 y 15%.
La absorción en 2 y 24 horas presenta los mejores resultados en 5 y 15% existiendo un deterioro de la propiedad en 10% para lo cual no es lógico y será necesario repetir este experimento para comprobar los resultados obtenidos.
En la dilatación en 2 y 24 horas ocurre algo similar que con la absorción estando los mejores valores en 5 y 15% aunque en términos generales parece ser que se mantienen las propiedades de absorción y dilatación entre 5 y 15% en un rango aceptable si obviamos el experimento de 10%.
El espesor, la densidad y la humedad se mantienen en rango en 10.3 mm $\pm$ 0.1%; 646 $\pm$ 20 Kg/m^3 y 6.8 $\pm$ 0.3%.
Por las razones analizadas anteriormente los mejores valores en las propiedades se presentan en 5% de relleno de Vidrio Volcánico aunque entre 10 y 15% no existen diferencias significativas respecto a la resistencia, aunque si en las propiedades de absorción y dilatación. Por esta razón proponemos que se utilice el 5% y se investigue con precaución con 10% de relleno.
Si se comparan los valores de esta tabla con las propiedades de las tablas XVI y XVII se puede comprobar como para la Zeolita Tasajera cumple con las propiedades de la norma con excepción de la dilatación en 24 horas y la tracción en 15% de relleno.
En el caso del Vidrio Volcánico solamente cumple la norma en 5% pues en 10% y en 15% no cumple el módulo de flexión, ni la tracción, ni la dilatación en 24 horas.
Por las razones anteriores se refuerzan las conclusiones realizadas en las tablas XIV y XV de utilizar el 10% de relleno de Zeolita Tasajera y entre 5 y 10 % para el Vidrio Volcánico.

IV Conclusiones

- Se estudió el comportamiento de los rellenos inorgánicos Zeolita Tasajera y Vidrio volcánico en mezclas con resina urea-formaldehído en sus propiedades físico-químicas en el rango de 5 hasta 15 porcientos.
- Se estudiaron las propiedades físico-mecánicas de los tableros producidos con los rellenos de Zeolita Tasajera y Vidrio Volcánico en tres porcientos 5, 10 y15.
- Los rellenos utilizados se utilizaron para sustituir resina urea-formaldehído en los porcientos entre 5 y 15.
- Se demostró que las propiedades físico-mecánicas de los tableros son buenas para granulometría menor de 70 y 100 micras y que disminuyen con granulometría menor de 44 micras comparados con el tableros patrón sin relleno y con la norma cubana 43-18-99.
- Se concluye con este estudio que una granulometría debe ser menor 70 micras, y menor de 100 micras y no menor de 44 micras en un rango en 5-10% de rellenos tanto de Zeolita tasajera como de vidrio volcánico.

V Recomendaciones.

1. Se recomiendan que se realicen experimentos comprobatorios con los materiales a nivel industrial antes de realizar la prueba de escalado.
2. Realizar prueba industrial en una fábrica de tableros para escalado de la investigación.

Bibliografía.

1. Luis O. Galvéz Taupier. 1986 Ciencia tecnología desarrollo. Editorial Científico Técnica La Habana .
2. N. La Serna, R. Almagro, O. Carvajal, J.Luis Valdés, E. de la Vega. 1982 Producto aglomerados a partir del bagazo de la Caña de Azúcar. Editorial Científico Técnica Ciudad de la Habana.

3. M. Serantes, A. Morales y G. Almarales 1992 Sellador en base de resina urea-formaldehído (U.F) para tableros de partículas de bagazo. (SDCA) Vol. XXIV, Nº1.
4. Manuel Serantes, Moraima Trujillo, J.Luis Valdés y Osvaldo Martínez. 1994 Adhesivo en base de U.F. de pegado en frío CF-165 para uniones fijas en tableros, maderas, formicas y otros. (SDCA) Vol. XXVI, Nº2.
5. Rodríguez A. Rivero C. 1990 Análisis Químico Completo de Silicatos. Arch. LACEMI.
6. ASTM 1998 Selected Powder Diffraction Data of Minerals JCPDS USA
7. Nemecz E, 1981 "Clay Minerals", Akademieai Kiado, Budapest, Hungría
8. Grim R. . 1968. "Clay Mineralogy" Mc Graw Hill Company. 2da. Ed. New York E.U
9. Mackenzie R. C. and Mitchell B.D. 1970 "Didferential Thermal Analizie" Academic Press London .
10. Ivanova . V.P. 1974 et all, Termichaskii Analiz Mineralov I Gornij Porod, Nedra Moscú
11. M Serantes O. Martínez, J. Puig P. Sosa. 1989. Estudio del formaldehído libre en resinas de urea-formaldehído para la producción de tableros de partículas de bagazo. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar (SDCA) Vol. 23, Nº2.
12. M. Serantes O. Martínez, P. Sosa. 1993 Correlación entre las propiedades de la resina urea-formaldehído endurecida y las propiedades de tableros de partículas de bagazo. (SDCA) Vol. 27, Nº1.
13. M. Serantes, O. Carvajal, O. Martínez, J.A. Leal, P.Sosa1998: Tableros de partículas de bagazo de alta calidad. Requisitos tecnológicos. (SDCA) Vol32, Nº3,.
14. Martínez O. Y otros. 1991. Estudio comparativo de resinas urea-formaldehído(U.F) y urea – paraformaldehído (U.F.P.F)en la producción de tableros de partículas de bagazo. (SDCA) Vol.XXV Nº3: 7-10.
15. J. Valdés, J. Méndez. , M.E Rodríguez y P. Sosa. 1989. Calidad de los tableros de partículas de bagazo en Cuba. (SDCA) Vol. XXIII, Nº1.

USO DE TÉCNICAS NOVEDOSAS EN LA OBTENCIÓN DE ÉSTERES DE SACAROSA
OBTAINING OF SUCROSE ESTERS BY NOVEL TECHNIQUES

Migdalia Dopico, Laura Lamí, Mailé Sarmiento, Carmen Viltres, Milaydis Reyna, Adolfo Brown, Maybis del Valle.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA.
Vía Blanca No. 804. Apartado 4026. CP 11000. La Habana. Cuba.
Tel: (537)99-4107. Fax: (537)33-8236. E-mail: migdalia@icidca.edu.cu

RESUMEN

La Química Combinatoria se ha desarrollado en los últimos años porque emplea técnicas de síntesis no convencionales con gran eficiencia, entre los métodos que se emplean tenemos las reacciones en medio seco y la aplicación de ondas ultrasónicas que han sido ampliamente utilizadas en síntesis química, tanto en medio acuosos como orgánicos.

En este trabajo se estudia la obtención de ésteres de sacarosa de diferentes grados de sustitución, para ser utilizados como materia prima para la síntesis de poliuretano, utilizando técnicas novedosas: la síntesis en fase seca, empleando dos fuentes de calentamiento (en estufa convencional de laboratorio y horno de microondas) y otra por la interacción directa de la sacarosa con el agente acetilante en un baño de ultrasonido en ausencia de disolvente y catalizadores. En todos los casos se obtuvieron buenos resultados como lo demuestra la caracterización realizada mediante cromatografía de capa delgada y espectroscopía infrarroja.

Se obtuvo un éster de menor grado de sustitución que el octaacetato de sacarosa, mediante la reacción en fase seca de la sacarosa con el ácido acético y 15 minutos de reacción con radiación de microondas.

Se obtienen los hexa y hepta acetatos de sacarosa por la reacción en fase seca y calentamiento en estufa durante 4 horas a 170°C.

Mediante la activación con ultrasonido se obtuvieron ésteres de sacarosa de menor y mayor grado de sustitución sin el empleo de catalizadores mediante la variación de las condiciones de síntesis.

Palabras claves: sacarosa, éster, fase seca, química combinatoria.

ABSTRACT

The Combinatory Chemistry has been developed in the last years because it uses non conventional synthesis techniques with great efficiency, such as dry phase reactions and the application of ultrasonic waves.

In this work the obtaining of sucrose esters of different substitution degrees, to be used as raw materials for the polyurethane synthesis, using novel techniques: the synthesis in dry phase, using two heating sources (conventional laboratory and microwaves stoves) and by the direct interaction of the sucrose with the acetylating agent in an ultrasound bathroom in absence of solvent or catalysts is studied. In all cases good results were obtained as it is demonstrated it the characterization carried out by means of thin layer chromatography and infrared spectroscopy.

An ester of smaller substitution degree that the sucrose octaacetate was obtained, by means of the reaction in dry phase of sucrose with acetic acid and 15 minutes of reaction with microwaves radiation.

The hexa and hepta sucrose acetates were obtained by the reaction in dry phase and heating in stove during 4 hours at 170 ^{o}C.

Sucrose esters of smaller and bigger substitution degrees were obtained without catalyst by means of the activation with ultrasound and the variation of the synthesis conditions.

Key words: sucrose, esters, dry phase, combinatory chemistry.

INTRODUCCIÓN.

La Química combinatoria comprende un conjunto de metodologías encaminadas a la síntesis de colecciones de compuestos (librerías combinatorias) de forma simultánea. La preparación de un número tan elevado de compuestos no podía afrontarse a un costo razonable, con los métodos de la Química sintética clásica.
La síntesis en fase sólida o síntesis sobre soportes poliméricos fue desarrollada por primera vez por Merrifield (1963) con el objetivo de sintetizar péptidos y pequeñas proteínas. Las reacciones en medio seco reciben su nombre porque se llevan a cabo en ausencia total de disolvente. De una manera general, los reactivos son impregnados o mezclados con un sólido finamente dividido, que puede actuar como soporte inerte o incluso como soporte y catalizador de la reacción simultáneamente, según Pérez (2000) y Gutiérrez (1989).
El empleo de soportes sólidos como medio de procesos rutinarios en reacciones orgánicas se ha visto incrementado en los últimos años, sobre todo para su utilización en el desarrollo de técnicas de síntesis por microondas (M.O.) con fines preparativos. La radiación de M.O. es una fuente de energía que se utiliza en varios campos de la química, en especial en la síntesis como lo reportan Bogdal (1998) y Tirado (2001), debido a la eficacia y ventajas de esta nueva técnica en comparación con los métodos térmicos convencionales.
La aplicación de ondas ultrasónicas en síntesis orgánica ha despertado gran interés en muchos autores en los últimos años según reportes de Lindley (1987). Estas han encontrado empleo especialmente en sistemas heterogéneos sólido-líquido. Se conoce que la propagación de ondas ultrasónicas intensas en un líquido producen fenómenos de cavitación del medio, Einhorn (1989). Las ondas ultrasónicas han sido ampliamente utilizadas en síntesis química, tanto en medio acuosos como orgánicos ejemplo de ello lo tenemos en: transición de complejos metálicos, adición a enlaces dobles como C=C y C=X, de oxidación-reducción, preparación de reactivos órgano-metálicos, en reacciones de sustituciones, etc., como lo refiere Lamí (1996).
En este trabajo se estudia la obtención de ésteres de sacarosa de diferentes grados de sustitución, para ser utilizados como materia prima para la síntesis de poliuretanos ampliamente empleados como adhesivos, Martín (2001); utilizando técnicas novedosas según Martínez (2003): la síntesis en fase seca, con dos fuentes de calentamiento (convencional en estufa de laboratorio y microondas) y por la interacción directa de la sacarosa con el agente acetilante en un baño de ultrasonido en ausencia de disolvente o catalizadores. En el estudio se presentan los resultados mediante la cromatografía de capa delgada y la espectroscopía infrarroja.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Reactivos

Sacarosa comercial.
Ácido acético, grado reactivo de la Merck
Acetona calidad técnica, purificada por destilación.
Etanol, grado reactivo Fluka.
Anhidrido Acético grado reactivo de la Merck
Sílica gel de G 60 mesh.

Equipos

Horno microondas SANYO modelo EM 704T de 800 W.
Estufa de vacío Bioblock Scientific.
Rotoevaporador Buchi 461.
Balanza analítica Sartorius.
Baño ultrasónico Elma Transsonic T 460/H.

Caracterización

Cromatografía de Capa Delgada. Se utilizaron placas de vidrio de 20 x 20 cm con soporte de Sílica gel G 60 mesh, como fase móvil metanol-agua-ácido fórmico- cloroformo 1:0,5:1:7,5 y revelador ácido sulfúrico y estufa a temperaura de 110^0C durante 15 min., utilizando como patrón el octaacetato de sacarosa.
Espectroscopía Infrarroja: Se utilizó un espectrómetro FT-IR ATI MATSON (4000-400 cm^{-1}).

Técnica de síntesis

La técnica operatoria desarrollada para la esterificación se describe a continuación en forma general:
Se disuelve la sacarosa en la mínima cantidad de agua y luego esta solución saturada se añade en el soporte, se homogeniza y se rotoevapora a vacío hasta sequedad. Posteriormente se le añade el agente acetilante (ácido acético o anhídrido acético) disuelto en acetona y se continúa rotoevaporando. Las mezclas reaccionantes además se prepararon homogenizando manualmente los reaccionantes y el soporte sin el empleo de disolventes como la acetona o el agua. En todos los casos el soporte de reacción utilizado fue sílica gel.
La mezcla reaccionante preparada de la forma manual descrita anteriormente se somete a dos tratamientos diferentes:

1. Calentamiento mediante irradiación con microondas durante 5, 10 y 15 minutos a potencia de 600 w.
2. Calentamiento convencional en estufa durante 4 horas a temperatura 170ºC.

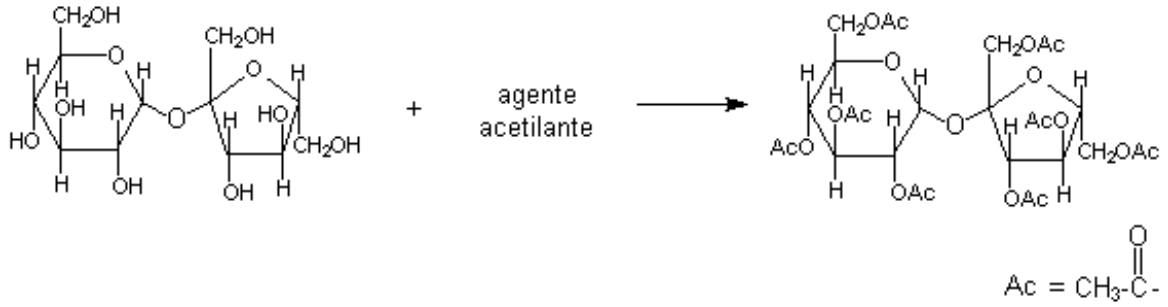
La esterificación directa de la sacaroa con los agentes acetilantes en ausencia de catalizadores se realizó en un baño de ultrasonido durante 4 horas a temperatura de 80ºC.
En todos los casos el producto de la reacción es extraído utilizando etanol, el que al evaporarse a sequedad permite obtener el producto crudo que se somete a su análisis posterior de cromatografía y espectroscopía IR. Para los análisis espectroscópicos fue necesario la purificación de las muestras mediante su separación por cromatografía de placa preparativa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Para la obtención de los poliuretanos es necesario que se parta de ésteres con diferentes grados sustitución (penta, hexa o hepta), lo que resulta de difícil obtención dada la alta reactividad de los grupos hidroxílicos presentes en la molécula de sacarosa. Es por esta razón que se estudiaron diferentes métodos no reportados con anterioridad, tomando como base lo expuesto anteriormente.

La síntesis tradicional de ésteres de sacarosa Bornemann (1992) se realiza mezclando sacarosa y agente acetilante, con agitación y calentamiento entre 100-110 ^{0}C durante varias horas. Posteriormente es necesario adicionar un exceso del agente acetilante en pequeñas porciones a intervalos de 15 minutos. Se disuelve el producto en agua y en etanol, destilando a presión reducida cada vez. Se lava numerosas veces con agua y se desechan las porciones solubles de acetatos de sacarosa de baja sustitución.

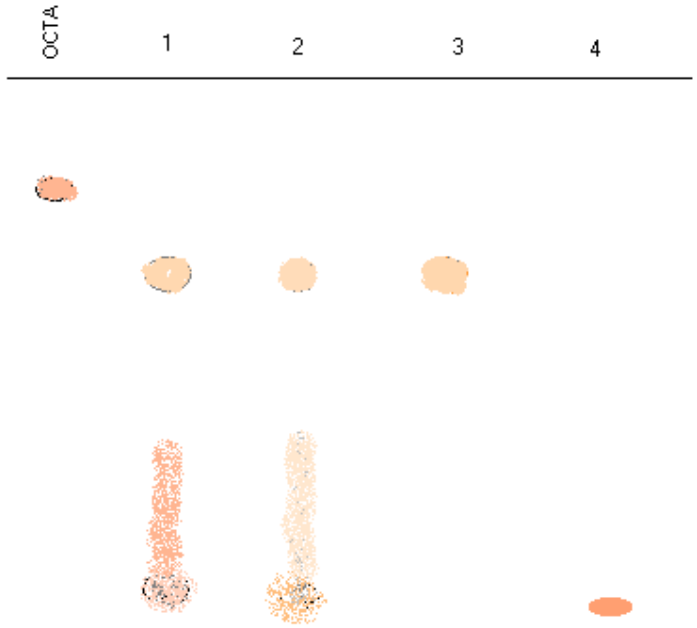
El siguiente esquema representa la reacción de esterificación total de la sacarosa:



1.-Calentamiento mediante irradiación con microondas.

Se realizaron varias experiencias soportadas sobre sílica gel y con una relación molar sacarosa y ácido acético como agente acetilante de 1:3, en las cuales se varió el tiempo de reacción: 5, 10 y 15 minutos. La potencia del microondas fue de 600 w, Dopico (2002). Los resultados obtenidos son mostrados en el cromatograma Nº 1 donde se observa que a los 15 minutos de reacción se obtiene un éster de menor grado de sustitución que el octaacetato de sacarosa, que es el patrón empleado; además se observa la ausencia de sacarosa sin reaccionar y no aparecen huellas de otros productos.

Cromatograma Nº 1.



OCTA: Patrón de octacetato de sacarosa
1. 5 minutos de reacción
2. 10 minutos de reacción
3. 15 minutos de reacción
4. sacarosa

La caracterización demostró que mediante este método se puede lograr una sustitución parcial de los grupos OH en la molécula de sacarosa, pues en todos los casos la muestra presenta un Rf diferente que el de los patrones de octacetato y sacarosa, por lo que consideramos que corresponda al hexa o heptacetato de sacarosa (producto **1**). El espectro IR de este producto corroboró el resultado obtenido, ya que se observa una disminución de la banda de vibración de valencia del grupo OH de la sacarosa y la aparición de la banda correspondiente a la vibración de valencia del carbonilo del éster, entre otras (Figuras 1, 2 y 3).

Figura No.1: Espectro IR de la sacarosa

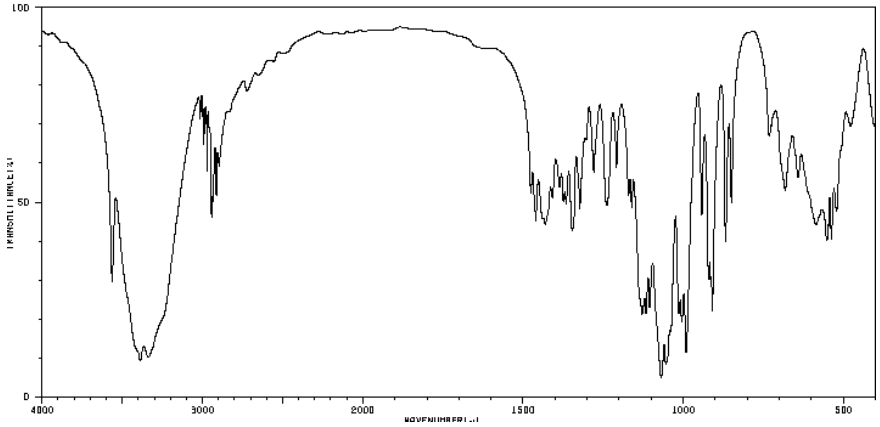


Figura No.2: Espectro IR del producto **(1)** obtenido

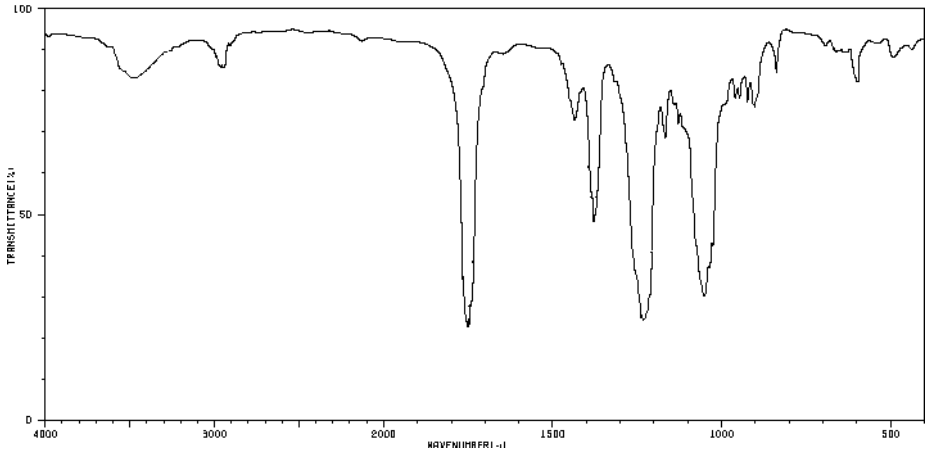
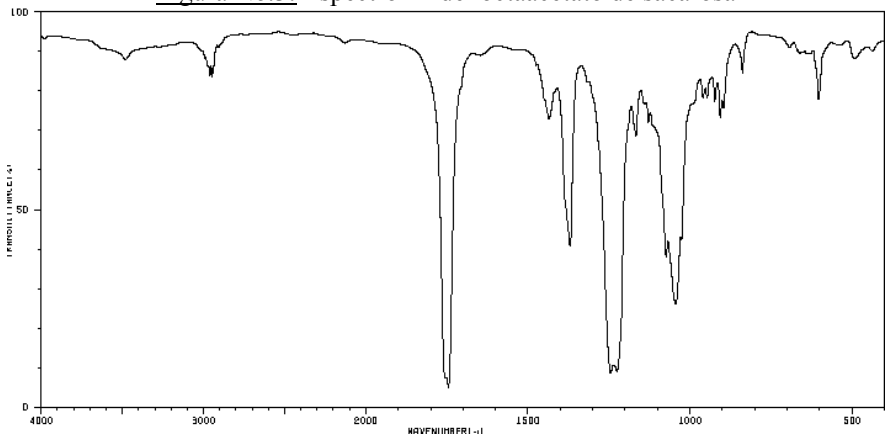


Figura No.3: Espectro IR del octaacetato de sacarosa



2.-Calentamiento convencional en estufa.

Se realizaron otras experiencias en fase seca utilizando sílica gel como soporte, con calentamiento convencional en estufa durante 4 horas a temperatura 170°C. El agente acetilante empleado fue el ácido acético en una relación sacarosa-ácido 1:3.

Por los resultados obtenidos en Cromatografía de Capa Delgada se evidencia que se obtienen 2 manchas de Rf menor que el patrón de octacetato, asignados preliminarmente a los hexa y penta

acetatos de sacarosa (productos 2 y 3). Se obtuvieron los espectros IR de ambos productos y se comprueba la presencia de la banda correspondiente al grupo carbonilo de los ésteres y nuevamente la disminución de la banda de vibración de valencia del grupo OH de la sacarosa. (ver Cromatograma Nº 2 y Figuras 4 y 5).

Cromatograma Nº 2.

1. Octacetato de sacarosa
2. Esteres obtenidos
3. Sacarosa

Figura No.4: Espectro IR del producto (**2**) obtenido

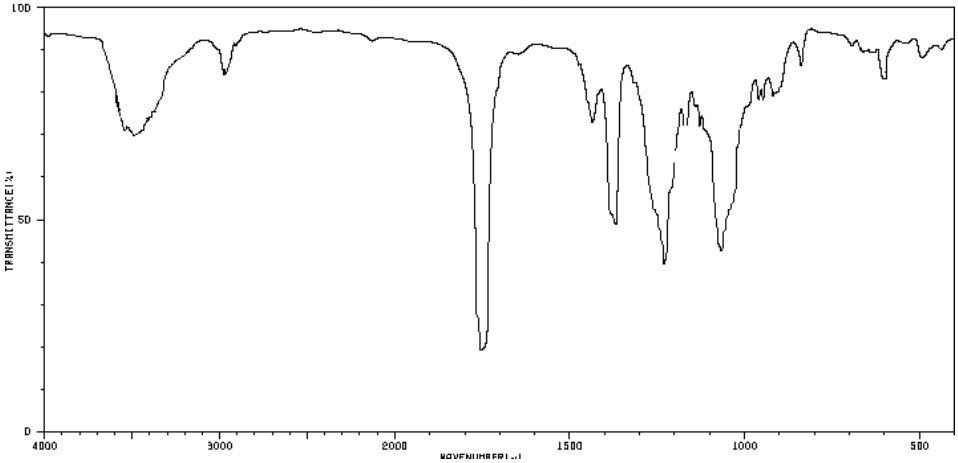
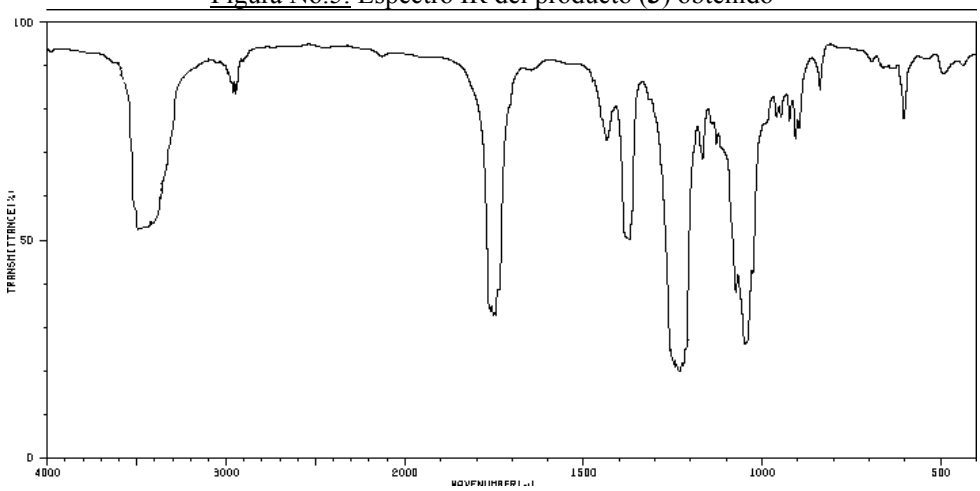


Figura No.5: Espectro IR del producto (**3**) obtenido



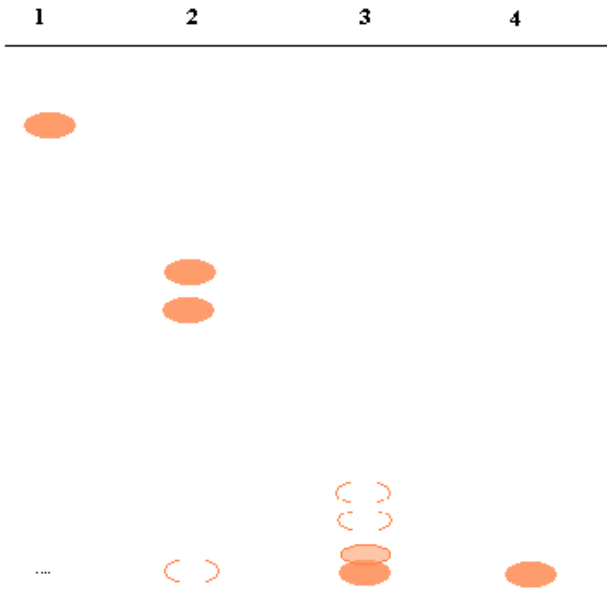
Esterificación directa de la sacarosa con los agentes acilantes en ausencia de catalizadores.

Se llevaron a cabo las esterificaciones directas con anhídrido acético y ácido acético como agentes acetilantes con relaciones molares de sacarosa-agente acetilante 1:2 y 1:5 respectivamente en un baño de ultrasonido durante 4 horas a una temperatura de 80^0C.

El cromatograma Nº 3 muestra los resultados de estas experiencias, en el caso de la reacción llevada a cabo con anhídrido acético se observan 2 manchas de los ésteres intermedios de 4 a 6 sustituciones. Para el caso en que se emplea el ácido acético aparecen tres manchas de menores Rf (dos de ellas muy poco visible lo que indica que se encuentran en muy bajas concentraciones) por lo que las asignamos a los ésteres de menor grado de sustitución.

Se registraron los espectros de los ésteres obtenidos con el anhídrido acético, que son los de nuestro interés y que por su similitud a los anteriores se asume que correspondan a las estructuras planteadas.

Cromatograma Nº 3.



1. Octaacetato de sacarosa
2. Esteres obtenidos con anhídrido acético
3. Esteres obtenidos con ácido acético
4. Sacarosa

Del estudio realizado se demuestra que es posible obtener ésteres de sacarosa mediante el empleo de técnicas no convencionales, tales como la síntesis en fase seca con diferentes tratamientos térmicos

(estufa y microondas), y la utilización de ondas ultrasónicas; con una disminución significativa de los tiempos y los pasos de reacción.

CONCLUSIONES.

- Se obtuvo un éster de menor grado de sustitución que el octaacetato de sacarosa, mediante la reacción en fase seca de la sacarosa con el ácido acético y 15 minutos de reacción con radiación de microondas.
- Se obtienen los hexa y hepta acetatos de sacarosa por la reacción en fase seca y calentamiento en estufa durante 4 horas a 170°C.
- Mediante la activación con ultrasonido es posible obtener ésteres de sacarosa de menor y mayor grado de sustitución al hacer reaccionar durante 4 horas a 80°C sacarosa con ácido acético y anhídrido acético, respectivamente.

RECOMENDACIONES.

- Optimizar las condiciones de reacción de las diferentes técnicas de síntesis estudiadas, como el empleo de otros soportes, formas de impregnación para las reacciones en fase seca y relaciones molares, con el objetivo de lograr la obtención selectiva del éster de sacarosa con el grado de sustitución deseado.
- Caracterizar por especroscopía RMN los productos obtenidos por los diferentes tratamientos para corroborar el grado de sustitución de cada uno.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Merrifield R. B. (1963); J. Am. Chem. Soc., 85, 2149.
2. Pérez. R.. (2000), Tesis de Doctorado. Universidad de La Habana.
3. Gutiérrez Vicente E. (1989), Reacciones de transposición en espacios intracristalinos de materiales inorgánicos. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Ciencias. Dpto. Química.
4. Bogdal D., Pielichowski J., Jaskot K. (1998), Org. Prep. Proc. Int. 30, 427-432.
5. Tirado Y. (2001), Trabajo de Diploma. Universidad de La Habana.
6. Lindley J. and Mason T. J. (1987), Chem. Soc. Rev., Vol. 16, 275.
7. Einhorn C., Luche J. L.(1989), Synthesis 787
8. Lamí L. (1996), Tesis de Maestría. Universidad de La Habana.
9. Bornemann; Stephen; Cassells; John M.; Combes; Clive L.; Dordik; Jonathan S.; Hacking; Andrew J. (1992), Patente US 5141860.
10. Martínez N., Autié M., Autié G. (2003), Ponencia del Taller de Síntesis Química No Convencional.
11. Martín, J.M. (2001), Adhesivos, vol. I. Capt. 5, Universidad de Alicate, España.
12. Dopico M., Sarmiento M. y col. (2002); Informe Interno. ICIDCA.

ESTUDIO DE ADITIVOS EN RELLENOS INORGÁNICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE TABLEROS DE PARTÍCULAS DE BAGAZO

ADDITIVE STUDY IN INORGANIC FILLER IN BAGASSE PARTICLEBOARD PRODUCTION .

Autores: Michel Bocourt[1], Arletis Renté[1]. Manuel Serantes[1], Juan Alberto Leal[1], Mario Dorta[1], Maria Elena Rodríguez[1], Natalia Vega[2].

1) ICIDCA. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Vía Blanca N° 804 Apartado 4026. CP 11000. La Habana. Cuba.
2) LACEMI .Laboratorio Central de Minería.
1) E-mail**:** bocourt@icidca.edu.cu
2) E-mail**:** natalia@LACEMI.cu

RESUMEN

En este estudio se espera sustituir entre 10 – 15% de resina urea- formaldehído por rellenos debido a que el costo de las resinas es 80 – 85 % mayor que el costo de los rellenos.
Para este trabajo se escogieron dos tipos de rellenos: Zeolita y Vidrio Volcánico y se estudió su comportamiento con los aditivos carboxi metíl celulosa(CMC), acetato de polivinilo(PVAc), y silicato de sodio($SiO_2.Na_2O$) en solución, con el objetivo de mejorar la suspensabilidad del relleno, fundamentalmente en el caso que la granulometría de este se encuentre por debajo de 100 micras. Además de la caracterización de las propiedades físico–químicas a las mezclas de resina urea – formaldehído con los rellenos y los aditivos mencionados anteriormente, se produjeron tableros con diferentes porcientos, los que fueron sometidos a varios análisis físico-mecánicos.
Los mejores resultados se obtuvieron con PVAc y silicato de sodio fundamentalmente para granulometrías menores de 100 micras.
Se presenta un análisis económico preliminar del ahorro por el uso de 5%, 10% y 15% de resinas urea-formaldehido sustituida por rellenos en tableros de partículas con los aditivos mencionados.
Palabras claves: rellenos inorgánicos, aditivos, resinas.

ABSTRACT

In this study it is hoped to substitute in 10 - 15% of fillers for resin urea - formaldehyde because the cost of the resins is 80 - 85 bigger% that the cost of the fillers.
In this work two different fillers Zeolita and Volcanic Glass and their behaviors were studied with the preservatives celuloce metil carboxi(CMC), polivinilo acetate (PVAc), and silicato of sodium($SiO_2.Na_2O$) in solution, with the objective of improving the suspensabilidad of the filler, fundamentally in the case that the grain of this it is below 100 microns. Besides the characterization of the physical-chemical properties to the mixtures of resin urea-formaldehyde with the fillers and the preservatives mentioned previously, boards took place with different percent, those that were subjected to diverse analysis physical-mechanics. Besides the characterization of the physical-chemical properties to the mixtures of resin urea-formaldehyde with the fillers and the preservatives mentioned previously, boards took place with different percent, those that were subjected to diverse analysis physical-mechanic analysis.

The best results were obtained with PVAc, and silicato of sodium fundamentally for grains smaller than 100 microns.
An analysis economic preliminary of the saving by the use of 5%, 10% and 15% of fillers substituted by resin UF in boards of particles with the two mentioned preservatives.
Key words: inorganic padded, aditives, resines.

INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental de esta investigación es el desarrollo y estudio de modificaciones en la resina urea- formaldehído con rellenos inorgánicos nacionales para mejorar o mantener las propiedades adhesivas de la resina y las propiedades físico-mecánicas en los tableros, disminuyendo a su vez el costo de producción de estos últimos.
Es conocida la utilización de rellenos inorgánicos con resinas de diferentes tipos desde hace varios años, fundamentalmente en selladoras, tapaporos, masillas, etc y su aplicación en la industria del mueble, así como en la preparación de pinturas vinílicas, de aceite y esmaltes, entre otras(Rodrigez,1990).
Los rellenos inorgánicos, en el caso de la resina urea-formaldehído, le imparten muy buena plasticidad pues disminuyen la cristalinidad del retículo polimérico al interpenetrar las moléculas de los aluminosilicatos en el mismo(Astm,1998).
En este estudio se espera sustituir entre 10 – 15% de resina urea- formaldehído por rellenos debido que el costo de las resinas es 80 – 85 % mayor que el costo de los rellenos.
En este trabajo se escogieron dos rellenos diferentes: Zeolita y Vidrio Volcánico. Su comportamiento con los aditivos carboxi metíl celulosa (CMC), acetato de polivinilo (PVAc) y silicato de sodio ($SiO_2.Na_2O$) en solución, con el objetivo de mejorar la suspensabilidad del relleno, fundamentalmente en el caso que la granulometría de este se encuentre por debajo de 100 micras.
Además de la caracterización de las propiedades físico–químicas de las mezclas de resina urea formaldehído con los rellenos y los aditivos mencionados anteriormente, se produjeron tableros con diferentes por ciento, los cuales que fueron sometidos a diferentes análisis físico-mecánicos.
Con los resultados obtenidos en este estudio se pretende pasar a una prueba de escalado en la Fábrica de tableros "Camilo Cienfuegos" para con ello dar cumplimiento al objetivo final del proyecto que comprende la prueba industrial y su evaluación técnico económica final.
Laboratorio Central de Minerales José Isaac del Corral (LACEMI) participa en el trabajo colaborando en todo lo referente a propiedades de los rellenos, yacimientos importantes y suministros, facilitando los rellenos estudiados.
En estos momentos La Unión Geólogo Minera está en capacidad de ofertar estos minerales ya que cuenta con suficientes reservas estudiadas, así como con plantas de procesamientos, que junto al conocimiento de los mismos hizo que fueran los seleccionados para hacer este estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

La resina urea formaldehído utilizada y las partículas para la producción de los tableros(tanto la capa superficial, como la capa central) procede de la fábrica de tablero de partículas " "Camilo Cienfuegos" de Santa Cruz del Norte. Estas partículas se secaron hasta un 2 % de humedad en la estufa a 105 ^{O}C.
Los tableros se produjeron en las instalaciones existentes en el ICIDCA en un formato de (28 x 25) cm^2 de área y un espesor de 10mm.

La emulsión de parafina se preparó en el ICIDCA al 37 % como se utiliza normalmente así como el cloruro de amonio al 20 %. Se añaden al tablero como agente hidrófobo y como catalizador de la resina UF respectivamente
Los rellenos utilizados fueron:
1. Zeolita Tasajera
2. Vidrio Volcánico

Los rellenos utilizados son menor de 70 micras y menores de 100 micras, procedentes de los yacimientos de Zeolitas de Tasajeras en la Provincia de Las Villas y el Vidrio Volcánico de Güaramanao en la provincia de Holguín, y fueron caracterizados desde el punto de vista químico y mineralógico en el Laboratorio Central de Minerales José Isaac del Corral, LACEMI, con la utilización de los equipos y parámetros de trabajo siguientes(Nemec, 1981, Grim,1968).

Difracción de rayos X

Difractómetro Phillips PW-1710, goniómetro horizontal, focalización Bragg-Brentano, radiación Cu K filtro de Ni; sensibilidad 2000 impulsos/seg, constante de tiempo 1 seg; velocidad del goniómetro 2 grados/min(Mackenzie y otros,1970).

Análisis Térmico

Derivatógrafo MOM 1500 Q; crisol cerámica mediano; material de referencia: alúmina calcinada; atmósfera del horno: aire sin turbulencia; termopares Pt/Pt (Rh); sistema de registro X:Y; sensibilidad de canales; ATD: 250 v, TG: 500 Pmv; sensibilidad de la termobalanza : 200 mg; velocidad de calentamiento: 10 ^{0}c/ min; tiempo de registro del termograma; 100 min. ; velocidad del papel: 2.5 mm/min; peso de muestra: 800 mg(Serantes y otros,1989).

Equipo de absorción atómica SP-9, con los parámetros establecidos en LACEMI, para el análisis completo de silicatos

El análisis químico de las muestras se presenta a continuación en la Tabla I

Tabla I:Composiciones químicas en %

Elementos	**Vidrio Volcánico de Guaramanao**	**Zeolita Tasajera**
SiO_2	62.16	61.43
Al_2O_3	13.64	11.98
CaO	4.57	5.78
MgO	3.33	1.28
Fe_2O_3	2.10	2.99
TiO_2	0.35	0.52
Na_2O	2.18	1.32
K_2O	1.44	1.58
PPI	9.62	11.11

Como puede observarse la composición química de los dos rellenos varía, ya que aunque son alumino silicatos, sus composiciones estructurales y la composición mineralógica es diferente.

Tabla II:Composición mineralógica.

	Vidrio Volcánico de Guaramanao	**Zeolita Tasajeras**
Minerales	Vidrio Volcánico Montmorillonita Calcita Feldespato (trazas)	Heulandita – Clinoptilolita Feldespato Montmorillonita Quarzo Calcita

Los análisis de rayos X y térmicos se realizaron por comparación con la cartoteca ASTM y la literatura clásica para estos minerales, tales como Nemecz, Grim, Mackenzie e Ivanova.

Los rellenos estudiados se analizaron a los porcientos de 5, 10, 15 % para realizarles las propiedades físico químicas en la mezclas utilizando acetato de polivinilo(PVAc) en el rango de 1-3 % y el silicato de sodio en el rango de 0.5-1.5 %.

En el caso del CMC no se pudo llevar a cabo el estudio completo por no contar con la materia prima. No obstante se hizo un estudio económico del mismo para cuando esté disponible.
El bagazo que se utilizó en la producción de tableros de partículas presenta las siguientes características: que aparecen reportados en las Tablas III y IV.

Tabla III:Análisis granulométrico de las partículas de bagazo de la capa superficial.

Tamiz(mm)	**6.3**	**4**	**2**	**1**	**0.5**	**0.2**	**colector**
Promedio(%)	-	-	6.32	24.48	43.52	20.04	5.04

Tabla IV:Análisis granulométrico de las partículas de bagazo de la capa central

Tamiz(mm)	**6.3**	**4**	**2**	**1**	**0.5**	**0.2**	**colector**
Promedio(%)	2.16	7.44	30.4	32.38	20.72	5.84	0.72

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan las tablas que contienen los resultados de las propiedades físico-químicas de las mezclas de los rellenos con resina UF(Serantes y otros,1993).

En la **tabla V** se presentan las propiedades físico químicas de la Zeolita Tazajera en los porcientos 5,10 y 15 para los aditivos de silicato de sodio (**SiO_3Na_2O**) y acetato de polivinilo (PVAc).

Tabla V:Caracterización de la Zeolita Tasajeras en 5, 10 y 15 porciento con silicato de sodio y acetato de polivinilo.

		SiO_3Na_2O 0.5			***SiO_3Na_2O 1.5 %***			***PVAc 1%***			***PVAc 3%***		
	%	***Visc.***	***T. Gel***	***pH***	***Visc.***	***T. Gel***	***pH***	***Visc.***	***T. Gel***	***pH***	***Vsc.***	***T. Gel***	***pH***
Res. UPf Sin Adit.	*0*	*35*	*80*	*8.2*	*35*	*80*	*8.2*	*30*	*90*	*9.1*	*30*	*90*	*9.1*
Res. Upf Con Adit.	*0*	*101*	*88*	*11.9*	*85*	*67*	*10.7*	*55*	*81*	*9.6*	*50*	*71*	*9.0*
Zeolita Tasajera Menor de 70 Micras.	*5*	*86*	*81*	*10.1*	*92*	*102*	*11.1*	*67*	*104*	*8.1*	*59*	*98*	*8.2*
	10	*97*	*86*	*9.6*	*101*	*112*	*10.8*	*85*	*111*	*8.0*	*73*	*113*	*8.2*
	15	*103*	*96*	*9.6*	*104*	*131*	*10.5*	*103*	*118*	*8.0*	*98*	*127*	*8.1*
Zeolita Tasajera Menor de 100 Micras	*5*	*98*	*104*	*10.7*	*56*	*85*	*10.7*	*69*	*87*	*8.1*	*59*	*84*	*8.3*
	10	*108*	*125*	*10.4*	*64*	*126*	*10.5*	*84*	*97*	*7.9*	*74*	*94*	*8.3*
	15	*135*	*140*	*10.1*	*73*	*142*	*10.2*	*97*	*120*	*7.8*	*95*	*105*	*8.2*

Los resultados alcanzados demuestran un efecto del silicato de sodio en granulometría menor de 70 micras para 5, 10 y 15 % para 0.5% de silicato de sodio, al incrementar el % de relleno

aumenta la viscosidad de 86 a 103 segundos y tiempo de gel de 81 a 96 segundos, disminuyendo el pH de 10.1 a 9.6.

Para el 1.5 % de silicato de sodio ocurre lo mismo pero con cambios en los valores: viscosidad aumenta de 92 a 104, el tiempo de gel de 102 a 131 y el pH disminuye de 11.1 a 10.5.

El efecto del silicato de sodio en granulometría menor de 100 micras para 5, 10 y 15% de relleno y 0.5 % de silicato de sodio es el siguiente:

La viscosidad y el tiempo de gel aumentan de 98 a 135 y de 104 a 140 respectivamente y el pH disminuye de 10.7 a 10.1. Para el 1.5% de silicato de sodio se presenta el mismo efecto: aumenta la viscosidad de 56 a 73 segundos y el tiempo de gel de 85 a 142 segundos y disminuye el pH de 10.7 a 10.2.

Con respecto a la resina sin relleno con 0.5 y 1.5 % de silicato se observa que aumentan la viscosidad y el tiempo de gel y disminuye el pH cuando se aumentan los porcientos de Zeolita Tasajera. Con respecto a la resina sin aditivo y sin relleno aumentan las 3 variables: viscosidad, tiempo de gel y pH.

En resumen, se puede afirmar con respecto a la resina que cuando se añade el relleno en los 3 porcientos estudiados se favorece la viscosidad y el tiempo de gel y disminuye el pH para 0.5 y 1.5% de silicato de sodio.

Para el caso del acetato de polivinilo se observa un efecto similar, es decir, aumentan viscosidad y tiempo de gel, disminuyendo ligeramente el pH, cuando se aumenta el porciento de relleno tanto para 1 y 3% de acetato de polivinilo. También ocurre lo mismo respecto a la resina con aditivo y a la resina sin aditivo sin relleno.

Un análisis integral de los resultados nos permite observar que los valores de viscosidad y tiempo de gel estan en rangos aceptables de trabajo y que el pH es ligeramente superior en el caso del silicato de sodio, el cual llega a valores de 10.7 – 10.1 para 0.5 y 1.5 %, no ocurriendo así en el caso del PVAc. Este fenómeno pudiera posteriormente conllevar a una disminución de propiedades en la producción de tableros que analizaremos, si ocurre, cuando se analicen las propiedades físico mecánicas.

En la **tabla VI** aparece las propiedades físco – químicas de la resina UF con relleno de vidrio Volcánico con aditivos de silicato de sodio y PVAc.

Tabla VI:Caracterización del Vidrio Volcánico con 5, 10 y 15 porcientos con silicato de sodio y acetato de polivinilo.

		SiO_3Na_2O 0.5			***SiO_3Na_2O 1.5 %***			***PVAc 1%***			***PVAc 3%***		
	%	***Visc.***	***T. Gel***	***pH***	***Visc.***	***T. Gel***	***pH***	***Visc.***	***T. Gel***	***pH***	***Visc.***	***T. Gel***	***pH***
Resina UPf Sin Adit.	*0*	*35*	*80*	*82*	*35*	*80*	*8.2*	*30*	*90*	*9.1*	*30*	*90*	*9.1*
Resina Upf Con Adit.	*0*	*-*	*305*	*10.4*	*-*	*345*	*11.1*	*70*	*120*	*8.5*	*50*	*71*	*9.0*
V. Volcánico Menor de 70 Micras.	*5*	*-*	*81*	*10.0*	*-*	*99*	*10.9*	*91*	*72*	*8.8*	*58*	*67*	*8.8*
	10	*-*	*83*	*9.9*	*-*	*89*	*10.4*	*116*	*82*	*8.5*	*74*	*74*	*8.4*
	15	*-*	*94*	*9.7*	*-*	*135*	*11.0*	*127*	*89*	*8.4*	*92*	*78*	*8.2*
Vidrio Volcánico Menor de 100 Micras	*5*	*-*	*161*	*11.6*	*-*	*159*	*11.5*	*54*	*89*	*8.3*	*50*	*101*	*8.8*
	10	*-*	*192*	*11.5*	*-*	*177*	*11.4*	*56*	*119*	*8.2*	*57*	*148*	*8.4*
	15	*-*	*311*	*11.3*	*-*	*> 343*	*11.3*	*58*	*133*	*8.3*	*58*	*184*	*8.8*

Se observa para el aditivo de silicato de sodio que el tiempo de gel aumenta y el pH disminuye ligeramente cuando se increment el porciento de relleno para granulometrías menor de 70 micras. La viscosidad no se pudo realizar porque nos acabó la resina, pero debe aumentar cuando aumenta el % de relleno. En el caso de granulometría menor de 100 micras el efecto anterior se ve más pronunciado, es decir, aumenta el tiempo de gel y disminuye el pH pero hasta 311 segundos y 11.3 respectivamente.
Si se compara con la resina sin aditivo y con aditivo se puede observar como este ultimo aumenta el tiempo de gel y el pH aunque estos valores disminuyen cuando se le añade relleno.
En el caso de 1.5 % de silicato de sodio ocurre el mismo efecto pero más pronunciado que 0.5 %. En este aditivo de silicato de sodio se puede decir lo mismo que se menciona en el caso de la zeolita tasajera que los valores altos de pH pudiera traer problemas en las propiedades físico – mecánicas de los tableros, lo cual queda evidenciado cuando se observan los valores de las propiedades.
Para el caso del PVAc el efecto es similar, es decir, aumentan la viscosidad y el tiempo de gel disminuyendo el pH, pero en menor medida que para el aditivo silicato de sodio tanto con respecto a la adición de cantidades de relleno como en comparación con la resina UF sin aditivo y con aditivo.
Pudiéramos concluir que los valores de las propiedades físico químicas están en el rango aceptable tanto para el PVAc como el silicato de sodio en los porcientos de relleno y 1.5 % de silicato de sodio aspecto que confirmaremos con las propiedades físico mecánicas de los tableros producidos.
Con relación a los dos rellenos estudiados, Zeolita Tasajera y Vidrio Volcánico se puede observar que los valores en las propiedades físico químicas(tiempo de gel y pH) en el Vidrio Volcánico son superiores que los de la Zeolita Tasajera, pero estas no influyen en las propiedades Físico-Mecánica de los tableros.
En la **tabla VII** se presentan las propiedades de los tableros con Zeolita Tasajera y Vidrio Volcánico con aditivos de silicato de sodio y PVAc. Se utilizó para los experimentos de 10% de relleno en cada caso y también el punto central de los aditivos, es decir, 1%. Se utilizó un blanco sin rellenos, ni aditivos(Serante y otros, 1998,Valdez y otros,1998).

TABLA VII:Propiedades físico – mecánicas de los tableros confeccionados con rellenos.

	Tableros de Partículas	**Zeolita Tasajera**		***Vidrio Volcánico***	
	Blanco	***1% PVAc***	***1% de SiO_3 Na_2 O***	***1% PVAc***	***1% de SiO_3 Na_2 O***
Flexión N/mm^2	*22.1*	*20.6*	*22.9*	*23.6*	*25.5*
Tracción N/mm^3	*0.47*	*0.44*	*0.38*	*0.58*	*0.61*
Modulo	*1372*	*1445*	*2197*	*2245*	*2534*
Dilatación 2h %	*5.3*	*9.2*	*11.1*	*11.8*	*7.3*
Dilatación 24 h %	*17.6*	*23.5*	*24.9*	*30.8*	*21.8*
Densidad Kg/ mm	*653*	*664*	*684*	*711*	*709*
Espesor mm	*9.85*	*10.18*	*10.0*	*9.64*	*9.59*
Humedad %	*5.8*	*5.9*	*5.7*	*6.33*	*6.37*
Absorción 2h %	*22.6*	*29.7*	*36.9*	*31.7*	*17.7*
Absorción 24h %	*62.9*	*77.7*	*82.0*	*82.8*	*63.0*

En base a los resultados obtenidos, todos los tableros presentan buenas propiedades físico–mecánicas comparados con el blanco, independientemente que los valores del relleno Vidrio Volcánico parecen un poco superiores pero esto se debe fundamentalmente a la densidad de 710 Kg/ m^3 que se encuentra un poco por encima de 650 Kg/ m^3 como aparece en el blanco.

TABLA VIII:Propiedades fisico-mecánicas de los tableros de partículas para diferentes espesores según la Norma Cubana 43-18-99.

Propiedad	Método de ensayo	Unidad	Especificación Rango de espesores en mm			
			3-8	> 8-13	>13-20	>20-25
Resistencia a la flexión estática	NC 43-08-2	N/mm^2	15	14	13	12
Módulo de elasticidad en flexión	NC43-08-2	N/mm^2	1900	1800	1600	1500
Resistencia a la tracción perpendicular a la superficie	NC 43-08-6	N/mm^2	0.45	0.40	0.35	0.30
Dilatación del espesor por inmersión total en agua durante 24 horas	NC 43-08-4	%	20	20	18	18

Si se compara, los valores que aparecen en la **tabla VIII** de las propiedades de la Norma Cubana 43 – 18 –99 estos están por encima en todas las propiedades con excepción de la dilatación en 24 h que es ligeramente superior a 20 % que lo establecido para tableros de 16 mm.

Con los resultados obtenidos queda demostrado que, independientemente de las propiedades físico–químicas, el aumento de pH y tiempo de gel de las mezclas no tiene efecto en las propiedades de los tableros, debido posiblemente a factores inherentes a efectos compensatorios de las partículas y la cantidad de resina añadida (9 y 11%) en capa central y superficial respectivamente.
Concluimos de esta forma que es factible el uso de aditivos de Silicato de sodio y PVAc en los porcientos estudiados tanto para la Zeolita Tasajera como Vidrio Volcánico en el rango entre 5 y 15%.

ANÁLISIS ECONÓMICO PRELIMINAR.

Se asumieron para los cálculos un consumo de 10 toneladas por día y 300 días por un año de trabajo, también el costo para los rellenos de 80 USD y 100 pesos en moneda nacional. El costo disminuye a medida que aumenta el porciento de relleno comparado con el costo por m^3 que tiene el tablero sin relleno tanto E_2 como E_1 y para 3mm y 16 mm.

En las **tablas IX y X** aparecen los costos totales y en divisas para 3mm y 16mm y para calidad E_2 y E_1, así como los ahorros cuando se utilizan aditivos de PVAc, CMC y Silicato de sodio en 5, 10 y 15 % de rellenos.

Tabla IX:costo de los tableros de 16 mm calidad: E1 y E2

TABLEROS (Unidad: m^3)	COSTOS	
	TOTAL	DIVISAS
DE 16 MM, CALIDAD E1		
De 16 mm	**238,37**	**132,12**
De 16 mm, con Relleno 5%	**237,43**	**131,34**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	238,29	132,20
Aditivo: CMC (0,1%)	237,61	131,52
Aditivo: PVAC (1%)	238,57	132,48
De 16 mm, con Relleno10%	**236,49**	**130,56**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	237,35	131,42
Aditivo: CMC (0,1%)	236,67	130,74
Aditivo: PVAC (1%)	237,63	131,70
De 16 mm, con Relleno 15%	**235,55**	**129,78**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	236,41	130,64
Aditivo: CMC (0,1%)	235,73	129,96
Aditivo: PVAC (1%)	236,69	130,92
DE 16 MM, CALIDAD E2		
De 16 mm	**231,23**	**127,90**
De 16 mm, con Relleno 5%	**230,29**	**127,12**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	231,15	127,98
Aditivo: CMC (0,1%)	230,47	127,30
Aditivo: PVAC (1%)	231,43	128,25
De 16 mm, con Relleno10%	**229,35**	**126,34**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	230,21	127,20
Aditivo: CMC (0,1%)	229,53	126,52
Aditivo: PVAC (1%)	230,49	127,47
De 16 mm, con Relleno 15%	**228,41**	**125,56**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	229,27	126,42
Aditivo: CMC (0,1%)	228,59	125,74
Aditivo: PVAC (1%)	229,55	126,69

Tabla X Costo de los tableros de 3mm, Calidad: E1 y E2

TABLEROS (Unidad: m^3)	COSTOS	
	TOTAL	DIVISAS
DE 3 MM, CALIDAD E1		
De 3 mm	**164,10**	**103,03**
De 3 mm, con Relleno 5%	**163,01**	**102,12**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	164,01	103,13
Aditivo: CMC (0,1%)	163,22	102,33
Aditivo: PVAC (1%)	164,33	103,45
De 3 mm, con Relleno10%	**161,91**	**101,21**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	162,92	102,22
Aditivo: CMC (0,1%)	162,12	101,42
Aditivo: PVAC (1%)	163,24	102,54
De 3 mm, con Relleno 15%	**160,82**	**100,30**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	161,82	101,31
Aditivo: CMC (0,1%)	161,03	100,51
Aditivo: PVAC (1%)	162,15	101,63
DE 3 MM, CALIDAD E2		
De 3 mm	**155,76**	**98,10**
De 3 mm, con Relleno 5%	**154,67**	**97,19**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	155,67	98,19
Aditivo: CMC (0,1%)	154,88	97,40
Aditivo: PVAC (1%)	155,99	98,52
De 3 mm, con Relleno10%	**153,57**	**96,28**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	154,58	97,28
Aditivo: CMC (0,1%)	153,78	96,49
Aditivo: PVAC (1%)	154,90	97,60
De 3 mm, con Relleno 15%	**152,48**	**95,37**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	153,48	96,37
Aditivo: CMC (0,1%)	152,69	95,58
Aditivo: PVAC (1%)	153,80	96,69

En **la tabla XI**, se resumen los ahorros alcanzados al emplear los rellenos inorgánicos 5, 10 y 15% y los aditivos en 300 días de trabajo. los ahorros en están en el orden de 42, 582 a 63, 873 USD cuando se utilizan 10 y 15% de relleno, estos disminuyen ligeramente cuando se utilizan aditivos como silicato de sodio, PVAc, y CMC, no reportándose ahorros cuando se utiliza 5% de rellenos con aditivos de Silicato de sodio y PVAc.

Tabla XI Ahorros por utilización de Rellenos Inorgánicos (con o sin aditivo) en tableros de 16 mm y 3 mm, Calidad E1 y E2

	AHORROS	
	TOTAL (Pesos/a)	**DIVISAS** (USD/a)
DE 16 y 3 MM, CALIDADES E1 y E2		
De 16 mm, con Relleno 5%	**25.576,53**	**21.291,27**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	2.080,53	**-2.204,73**
Aditivo: CMC (0,1%)	20.626,53	16.341,27
Aditivo: PVAC (1%)	**-5.443,47**	**-9.728,73**
De 16 mm, con Relleno10%	**51.153,06**	**42.582,54**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	27.657,06	19.086,54
Aditivo: CMC (0,1%)	46.203,06	37.632,54
Aditivo: PVAC (1%)	20.133,06	11.562,54
De 16 mm, con Relleno 15%	**76.729,59**	**63.873,81**
Aditivo: Silicato de Sodio (1%)	53.233,59	40.377,81
Aditivo: CMC (0,1%)	71.779,59	58.923,81
Aditivo: PVAC (1%)	45.709,59	32.853,81

CONCLUSIONES.

1. Se estudiaron las propiedades físico–químicas de la zeolita Tasajera y vidrio volcánico en el rango entre 5 – 15% con los aditivos SiO_3Na_2O y PVAc obteniéndose buenas propiedades con respecto a resina UF sin relleno y con aditivo.
2. Se estudiaron las propiedades de los tableros confeccionados con los rellenos y los aditivos resultando buenas las propiedades en todos los casos comparados con el blanco y comparados con la NC 43-18-99, excepto en la dilatación en 24 horas.
3. Los ahorros por el uso de rellenos están en el orden de 42,000 USD- 63,000 USD por año cuando se utiliza del 10-15% de relleno zeolita Tasajera o vidrio volcánico. Además éstos disminuyen considerablemente por el uso 1% de aditivos.

RECOMENDACIONES.

Realizar una prueba industrial de escalado para ajustar los porcientos de rellenos y comprobar la necesidad o no de la utilización de aditivos para lograr la suspensabilidad de los rellenos en la resina.

BIBLIOGRAFÍA.

Rodríguez A. Rivero C.: Análisis Químico Completo de Silicatos. Arch. LACEMI 1990.

ASTM Selected Powder Diffraction Data of Minerals JCPDS USA 1998

Nemecz E,: “Clay Minerals”, Akademieai Kiado, Budapest, Hungría 1981

Grim R.: “Clay Mineralogy” Mc Graw Hill Company. 2da. Ed. New York E.U. 1968.

Mackenzie R. C. and Mitchell B.D. “Didferential Thermal Analizie” Academic Press London 1970.

M Serantes O. Martínez, J. Puig P. Sosa. Estudio del formaldehído libre en resinas de urea-formaldehído para la producción de tableros de partículas de bagazo. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar (SDCA) Vol. 23, Nº2 1989.

M. Serantes O. Martínez, P. Sosa. Correlación entre las propiedades de la resina urea-formaldehído endurecida y las propiedades de tableros de partículas de bagazo. (SDCA) Vol. 27, Nº1, 1993.
M. Serantes, O. Carvajal, O. Martínez, J.A. Leal, P.Sosa: Tableros de partículas de bagazo de alta calidad. Requisitos tecnológicos. (SDCA) Vol32, Nº3, 1998.
J. Valdés, J. Méndez. , M.E Rodríguez y P. Sosa. Calidad de los tableros de partículas de bagazo en Cuba. (SDCA) Vol. XXIII, Nº1 1989.

NUEVA METODOLOGÍA DE SÍNTESIS DE RESINA FURÁNICA PARA MACHOS Y MOLDES DE FUNDICIÓN DE METALES FERROSOS Y NO FERROSOS

Adolfo Hernández, Mercedes Sosa, Osvaldo Martínez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Nr. 804 Aptdo. Postal 8024.
e-mail adolfoh@icidca.edu.cu.

Resumen
En los últimos años se ha incrementado la utilización de resinas sintéticas en la industria metalúrgica para la confección de machos y moldes de fundición. La resina FURANICID VII es un producto desarrollado en el ICIDCA para estos fines, particularmente en la fundición de algunos metales ferrosos y no ferrosos. Esta resina se obtiene a partir de alcohol furfurílico, urea y solución de formaldehído del 37-40% (Formalina).
La industria química ha logrado obtener el formaldehído en forma de trímero, el paraformaldehído, un sólido granulado soluble en agua el cual resulta muy atractivo, desde el punto de vista tecnológico y comercial, debido fundamentalmente a su mayor facilidad de transportación y almacenamiento, así como su menor costo
Las evidentes ventajas del paraformaldehído ha conllevado a que constituya una tendencia mundial la sustitución del formaldehído en solución por el paraformaldehído sólido. Lo anterior nos llevó a estudiar la posibilidad de la utilización del paraformaldehído en la síntesis de las resinas de la línea FURANICID, para su utilización a escala industrial en la planta que se construye en el Complejo Agroindustrial "Amancio Rodríguez" de Las Tunas.
En el presente trabajo se expone un nuevo procedimiento de síntesis de la resina FURANICID VII utilizando paraformaldehído sólido (FURANICID VII-A) que posee, además de las ventajas inherentes a la utilización del paraformaldehído, la reducción del tiempo de obtención de la resina. Se comparan las características químico-físicas de resinas preparadas con formaldehído en solución y con paraformaldehído.

Palabras clave: Resina furánica, resina urea – formaldehído, paraformaldehído síntesis orgánica

NEW METHODOLOGY FOR THE SYNTHESIS OF A FURAN RESIN FOR CORES AND MOULDS OF FERROUS AND NON FERROUS METALS

Adolfo Hernández, Mercedes Sosa, Osvaldo Martínez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Nr. 804 Aptdo. Postal 8024.
e-mail adolfoh@icidca.edu.cu.

Abstract

In the last years the use of synthetic resins for the confection of cores and moulds in the metallurgic industry has been increased. The FURANICID VII resin is a product developed in ICIDCA for this purposes, particularly in some ferrous an non ferrous metals. This resin is obtained from furfuryl alcohol, urea and aqueous formaldehyde solution of 37- 40 %.
Chemical Industry developed formaldehyde in trimer form, paraformaldehyde, a granulated solid water soluble which is very attractive from the commercial and technological point of view due to it great transportation and storing facilities, as same as it lower price.
The evident advantages of paraformaldehyde had carried to a global tendency to substitute the use of formaldehyde in solution with solid paraformaldehyde. This carried us to study the possibility of the use of paraformaldehyde in FURANICID line resins synthesis for its application at industrial scale in the plant in construction at CAI Amancio Rodríguez in Las Tunas.
In the present work a new synthesis procedure of FURANICID VII resin, using solid paraformaldehyde (FURANICID VII-A) that allows, besides the inherent advantages of the use of paraformaldehyde, the reduction of the reaction time, is exposed.
The chemical – physical characteristics of both, resin obtained with formaldehyde in solution and resin prepared with paraformaldehyde, are compared.

Key words: furan resin, urea – formaldehyde resin. paraformaldehyde, organic synthesis

NUEVA METODOLOGÍA DE SÍNTESIS DE RESINA FURÁNICA PARA MACHOS Y MOLDES DE FUNDICIÓN DE METALES FERROSOS Y NO FERROSOS

Adolfo Hernández, Mercedes Sosa, Osvaldo Martínez
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Aptdo. Postal 8024. e-mail adolfoh@icidca.edu.cu.

Introducción.

El proceso de industrialización de un país está condicionado en gran medida por el desarrollo de su industria sidero - mecánica. Dentro de ésta, las fundiciones ocupan un lugar destacado como una de las producciones indispensables en este desarrollo. La utilización de resinas sintéticas como aglutinantes de mezclas de moldeo para la confección de machos y moldes de fundición en la industria metalúrgica, es una práctica actual por sus ventajas tecnológicas respecto a otros aglutinantes.

La resina FURANICID VII (F-VII) es una resina furánica, patentada por el ICIDCA para estos fines [Piloto C., (1994)], especialmente para la fundición de metales ferrosos y no ferrosos. Se obtiene a partir de alcohol furfurílico, urea y solución de formaldehído del 37-40% (Formalina). Desde el punto de vista comercial cuenta con clientes estables, satisfaciendo la demanda actual identificada. En la línea de resinas FURANICID, la F-VII es la de menor costo de producción, por lo que su fabricación tiene una alta rentabilidad y una rápida recuperación de la inversión [Piloto y otros, (1997)]

La utilización de esta resina conlleva ventajas tales como, excelentes propiedades desde el punto de vista del acabado superficial y la exactitud dimensional de las piezas producidas, la eliminación de problemas en el desarenado de las piezas, el empleo de operarios de menor calificación, la eliminación del estufado de los machos y la aplicación de métodos eficientes de recuperación de arenas [Piloto y otros, (1999)], todo lo cual trae por consecuencia el incremento de la productividad del proceso.

Los progresos en la industria química han conllevado mejoras en los productos utilizados como materias primas. El formaldehído, utilizado tradicionalmente para la obtención de resinas de urea y de derivados furánicos, tiene como desventaja que se comercializa comúnmente en solución del 37- 40 %, con el consecuente gasto de carga inútil, agua, desde el punto de vista químico.

A causa de las ventajas del paraformaldehído sobre el formaldehído en solución, constituye una tendencia mundial su sustitución y es por ello que hemos estudiado la posibilidad de utilizar el paraformaldehído en la síntesis de las resinas de la línea FURANICID, para su utilización a escala industrial en la planta que se construye en el Complejo Agroindustrial "Amancio Rodríguez" de Las Tunas.

El paraformaldehído obtenido en forma de trímero del formaldehído, conocido también como trioxano simétrico, es un sólido granulado soluble en agua que al disolverse libera tres moles de formaldehído por mol de paraformaldehído. Este compuesto es altamente ventajoso como sustituto de la Formalina desde el punto de vista comercial y tecnológico por su menor costo, sus notables ventajas para la transportación y manipulación y su mayor estabilidad, lo que posibilita mayores tiempos de almacenamiento sin variar sus propiedades. En Cuba es actualmente muy utilizado en los procesos industriales.

En el presente trabajo se propone un procedimiento para la síntesis de una resina furánica con características químico - físicas similares a la FURANICID VII, utilizando el paraformaldehído en lugar de la Formalina.

Materiales y Métodos

Materiales

Alcohol furfurílico destilado
Urea técnica
Paraformaldehído comercial

Método de Síntesis.

En el procedimiento para la obtención de la Resina FURANICID VII modificada (F-VIIA) se utiliza alcohol furfurílico, urea y paraformaldehído. Se disuelve la urea con la cantidad de agua necesaria para obtener una concentración de formaldehído del 37 %, se calienta esta solución por debajo de 100 ^{0}C y se ajusta la solución a pH básico. Se añade el paraformaldehído y se agita hasta disolución. Se adiciona el alcohol furfurílico, se ajusta el pH de la solución por debajo de 7 y se calienta entre 70 y 80 ^{0}C hasta obtener la viscosidad adecuada. El producto resultante se neutraliza y destila a presión reducida.

Caracterización Físico - Química

Se realizó la caracterización de la resina FURANICID VIIA mediante los siguientes parámetros químico físicos [Departamento de Polímeros, 1998]:

- Viscosidad mediante el viscosímetro Brookfield a 20°C
- Densidad por pignometría a 20°C.
- Nitrógeno mediante el método micro Khjeldahl
- Contenido sólido por gravimetría
- Formol libre por el método de la Hidroxilamina [Hernández A. (1999)]

Resultados y Discusión

La resina FURANICID VII es una resina del tipo urea - formaldehído modificada con alcohol furfurílico. De modo general, estas resinas son obtenidas a través del mecanismo de policondensación [Bischof K, 1970]

Inicialmente, se ensayó la disolución del paraformaldehído sólido, a fin de obtener la solución de formaldehído del 37-40% y sintetizar la resina por el procedimiento establecido en la patente [Piloto C., (1994)], lo cual no resultó una técnica reproducible.

El método de síntesis que se desarrolló se diferencia del procedimiento expuesto en la patente en los siguientes aspectos:

- En el primer paso de la síntesis se añade el paraformaldehído sólido a la solución de urea y no la urea sólida a la solución de Formalina, como se plantea en la patente.
- En el primer paso de la síntesis, no se requiere del calentamiento durante 30 min de la solución de Formalina con la urea sólida añadida, para la formación de los metiloles [Piloto y otros (1997)]. En su lugar, se calienta la solución de urea y se adiciona el paraformaldehído, que se disuelve rápidamente por la formación de los grupos metiloles en alrededor de 10 min.
- En el segundo paso de la síntesis, no se necesitan 100 min para la reacción entre los metiloles y el alcohol furfurílico, sino sólo alrededor de 30 min.

Como se aprecia, el método de síntesis expuesto posee ventajas con respecto al método de la patente [Piloto C., (1994)], fundamentalmente en lo referido al tiempo de reacción total.

En la Tabla 1 se muestran las propiedades químico - físicas de las resinas FURANICID VII obtenidas con solución de formaldehído (F-VII) [Ficha, 2000] y con paraformaldehído (F-VIIA).

Tabla 1.
Propiedades de las resinas FURANICID VII

Propiedades	**F-VII**	**F-VIIA**
Viscosidad (C.P)	280 - 480	380 - 580
Densidad (g/cm)	1,24 - 1,26	1,25 - 1,27
Nitrógeno (%)	11 - 13	12 - 14
Contenido sólido (%)	61 - 78	60 - 70
Formol libre (%)	1,9 - 2,3	2,0 - 2,5

Aunque la viscosidad de la resina obtenida con paraformaldehído tiene viscosidad algo mas alta que la tradicional, no se encuentra en valores que la imposibiliten para su utilización, según se observa en la Tabla 1 El resto de los parámetros demuestran que ambas resinas poseen propiedades químico - físicas semejantes, lo cual implica que es factible sustituir la Formalina por el paraformaldehído en la síntesis de esta resina.

El nuevo procedimiento de obtención de la resina FURANICID VII con paraformaldehído, además de las cualidades generales aportadas por la utilización del paraformaldehído, referidas a su mayor facilidad de transportación y almacenamiento así como su menor costo, se obtiene en un tiempo de síntesis mucho menor. Esta ventaja adicional representa un ahorro de energía y tiempo de operación en planta, que conlleva a la disminución del costo de producción de la resina.

Conclusiones

1. Se establece un nuevo procedimiento de síntesis de la resina FURANICID VII con paraformaldehído sólido en sustitución de la solución de formaldehído del 37-40%.
2. Con el nuevo procedimiento de obtención de la resina FURANICID VII se disminuye considerablemente el tiempo de síntesis, lo que representa un ahorro de energía e incide en la disminución de su costo de producción.

3. La sustitución de la solución de formaldehído del 37-40% por el paraformaldehído, en la síntesis de esta resina, es altamente ventajosa tanto desde el punto de vista económico y comercial como tecnológico.

Referencias

Bischof K, 1970. Cap. VII "Polímeros formados mediante policondensación" en Introducción a la Química y Tecnología de los Plásticos. Editorial Ciencia y Técnica, Instituto del Libro, La Habana, p. 276-282.

Piloto y otros (1997). Proyecto Tecnológico "Resinas aglutinantes de arenas de moldeo para los procesos de fundición", Departamento de Polímeros, ICIDCA.

Colectivo de autores (1998). "Compilación de Técnicas analíticas". Departamento de Polímeros, ICIDCA

Ficha Técnica de resinas FURANICID VII (2000). Departamento de Polímeros, ICIDCA.

Hernández A., M. González, (1999). "Adecuación de la técnica de la determinación de aldehídos totales por el método de reacción con hidrocloruro de hidroxilamina". Revista ICIDCA, Vol. XXXIII, Nr. 2, p. 20-24.

Piloto C., A. Alvarez, A. R. Cartaya, L. Mora, N. Valladares, M. Hernández, B. M. Hernández, M. Díaz, (1994). "Resina furfural urea formaldehído". Patente concedida. Certificado Nr. 22339.

Piloto C., A. Hernández, A. Alvarez, M. Fontanies, M. Herryman, I. Nápoles, M. Sosa (1999). "Aplicación de una resina furánica en fundición". Revista ICIDCA, Vol. XXXIII, # 3.

"TABLEROS AGLUTINADOS CON CEMENTO Y SU EVALUACIÓN FÍSICO MECÁNICO"

"BOARD GLUE WITH PORTLAND CEMENT AND ITS PHISICAL MECHANICAL PROPERTIES"

Téc. María Elena Rodríguez Dorrego Téc. Pablo Sosa Pérez Lic. Andrés Gómez Estévez.
Ing. Raúl Costales Sotelo Ing. Ofelia Carvajal Cabo

ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar)
Email: agomez@icidca.edu.cu

RESUMEN
Dada la reanimación de la industria azucarera y sus derivados se hace necesario apoyar las actividades de desarrollo de los aglomerados y entre estos los relacionados con los tableros de bagazo- cemento, por su incidencia en las construcciones de viviendas y de instalaciones turística.
En el presente trabajo se realiza un estudio de las propiedades físico mecánicas de diferentes tipos de tableros aglutinados con cemento:
- Los de bagazo cemento desarrollados por el ICIDCA.
- Los de madera cemento.
- Los de pulpa de madera cemento.

Estos dos últimos importados, tomando en consideración las normas vigentes internacionales para estos tipos de tableros, tanto en métodos de ensayos como en especificaciones de calidad.
El objetivo del trabajo es establecer una referencia para las investigaciones que actualmente se llevan a cabo, estableciendo el grado de cumplimiento de las propiedades de cada uno de estos tableros de acuerdo a las normas internacionales.

ABSTRACT
Given the reanimation of the sugar industry and their derived become necessary to support the activities of development of the agglomerates and among these those related with the trash boards - I cement, for their incidence in the constructions of housings and of tourist facilities.
Presently work is carried out a study of the properties physique mechanics of different types of boards agglutinated with cement:
- Those of trash cement developed by the ICIDCA
- The wooden cement
- The pulp wooden cement

These two last cared, taking in consideration the international effective norms for these types of boards, so much in methods of rehearsals as in specifications of quality.
The objective has been to establish a reference for the investigations that at the moment are taken to end, establishing the degree of execution of the properties of each one of these boards according to the international norms.

INTRODUCCION
En Cuba y particularmente en el ICIDCA se ha investigado la producción de tableros de bagazo, tanto los de fibra como los de partícula, además se han estudiado diferentes aditivos, rellenos, refuerzos y aglutinantes incluido el cemento. El desarrollo de tableros de bagazo aglutinados con cemento son de gran importancia y vigencia, por cuanto en estos tipos de tableros se conjugan las ventajas de ligereza, buena resistencia mecánica propiedades aislantes, facilidad de maquinado etc. con las propiedades ventajosas del cemento es decir resistencia al fuego, al ataque de hongos e insectos y a las condiciones atmosféricas.

Este tipo de material es muy apropiado para casas prefabricadas de bajo costo, escuelas hoteles, edificaciones industriales y comerciales, encofrados divisiones interiores revestimiento de protección contra el fuego etc.
En el ICIDCA se han realizado pruebas a escala de laboratorio, planta piloto y en instalaciones industriales tanto en nuestro país como en el extranjero. Por ello y atendiendo a la reanimación de la industria azucarera y sus derivados, se hace necesario apoyar las actividades de desarrollo de los aglomerados y entre estos los relacionados a los tableros cuyo aglutinante es el cemento.
El objetivo de este trabajo es propiciar una guía para las investigaciones que actualmente se lleven a cabo, estableciendo el grado de cumplimiento de las propiedades de cada uno de estos tableros para con las especificaciones de calidad normadas internacionalmente para los mismos, resaltando de forma comparativa estas propiedades.

MATERIALES Y METODOS
En el presente trabajo se realizan las propiedades físico – mecánica de diferentes tipos de tableros aglutinados con cemento:
Tableros Bagazo - Cemento
Tableros Madera - Cemento
Tableros Pulpa de Madera - Cemento
Se toma como base las normas vigentes internacionales para estos tipos de tableros, tanto en método de ensayo como en especificación de calidad.
NORMAS UTILIZADAS:
UNE EN- 634-1:96 Tableros de partículas aglomerados con cemento Especificaciones Generales.
UNE- EN- 634- 2:97 Tableros de partículas aglomerados con cemento. Especificación de Calidad.
BS 5669 Parte 4:89 Specificatión For cement bonded particle-board.
ISO EN-326-1: 94 Tableros derivados de la madera Muestreo
EN -323: 94 Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad.
EN 310. 94. Tableros derivados de la madera. Determinación de la flexión estática.
EN 317. 94 Tableros derivados de la madera. Determinación de la hinchazón del espesor después de 24 horas de inmersión en agua.
EN 319. 94 Tableros derivados de la madera. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero.
EN 322 :94 Tableros derivados de la madera. Determinación de la humedad
ASTM D 1037 (vol 04 10) 93 Evaluating properties of wood base fiber paticle panel material selecting test procedures methods

DISCUSIÖN DE LOS RESULTADOS:
En las Tablas No.1, 2 y 3 se presentan las propiedades físico - mecánica a los tableros madera - cemento pulpa de madera – cemento, ambos de importación y a los tableros bagazo cemento producidos en el ICIDCA, obteniendo los siguientes resultados.
Tabla No. 1

TABLERO MADERA - CEMENTO	**VALOR EXPERIMENTAL**	**ESPECIFICACIÖN DE CALIDAD**
Densidad (kg/m^3)	1386	1000
Humedad (%)	10	8 -11
Flexión (N/mm^2)	12	9
Tracción (N/mm^2)	0.5	0.5
Dilatación en 24 horas (%)	0.3	1.5

En este tipo de tablero el por ciento de fibras de madera es poca, con un contenido elevado de cemento comparados con los tableros de bagazo – cemento y los tableros elaborados con pulpa de madera - cemento, además presentan gran fragilidad y cumplen según la Tabla

Tabla No.2

TABLERO PULPA DE MADERA - CEMENTO	**VALOR EXPERIMENTAL**	**ESPECIFICACIÖN DE CALIDAD**
Densidad (kg/m^3)	1241	1000
Humedad (%)	9	8 -11
Flexión (N/mm^2)	7	9
Tracción (N/mm^2)	1	0.5
Dilatación en 24 horas (%)	0.1	1.5

En este tipo de tablero la flexión presenta valores inferiores a lo establecido en las especificaciones de calidad. El resto de las propiedades se cumplen satisfactoriamente.

Tabla No.3

TABLERO BAGAZO - CEMENTO	**VALOR EXPERIMENTAL**	**ESPECIFICACIÖN DE CALIDAD**
Densidad (kg/m^3)	1200	1000
Humedad (%)	9	8 -11
Flexión (N/mm^2)	9	9
Tracción (N/mm^2)	0.5	0.5
Dilatación en 24 horas (%)	2.3	1.5

Los tableros bagazo – cemento cumplen las propiedades normadas, excepto la dilatación en 24 horas donde es ligeramente superior.
En las Gráficas No.1 a la No.5 se exponen de forma comparativa cada una de las propiedades estudiadas, se evidencia que los tableros estudiados superan la densidad normada, la menor densidad es la del bagazo – cemento.

Gráfico No.1

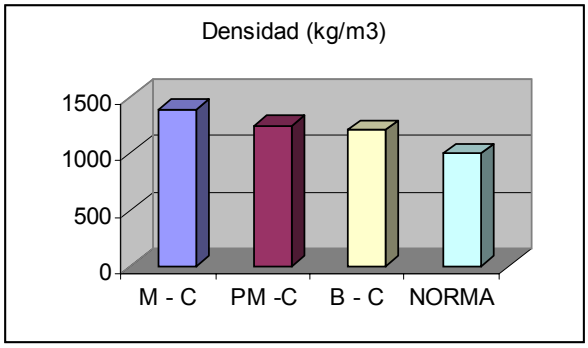
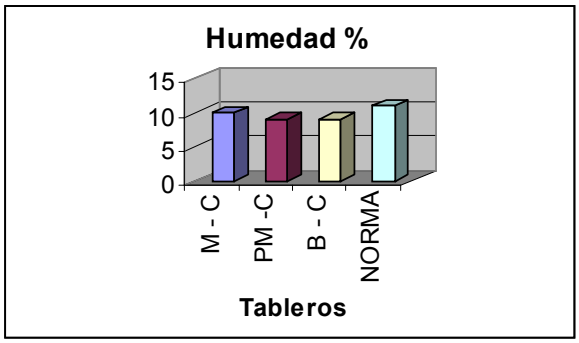


Gráfico No.2



M-C= Madera Cemento; PM – C = Pulpa de Madera Cemento B – C = Bagazo Cemento

En cuanto a la humedad todos los tableros cumplen la norma internacional. **EN -323: 94**
La menor flexión es para el tablero de pulpa de madera – cemento, la mayor flexión para del de madera – cemento. En tracción el resultado mayor es para el tablero de pulpa de madera – cemento.

Gráfico No.3

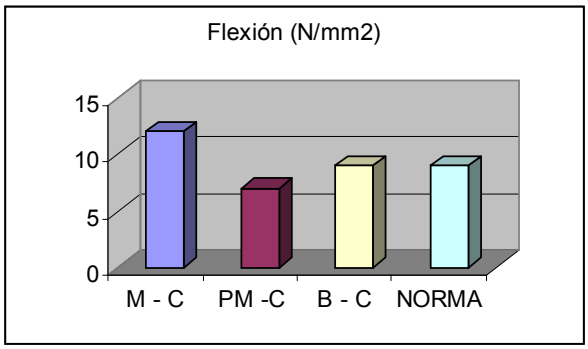


Gráfico No.4

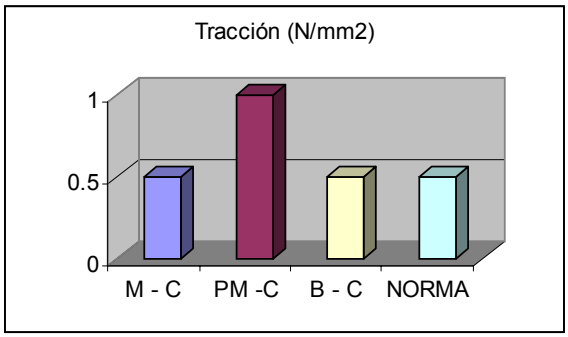
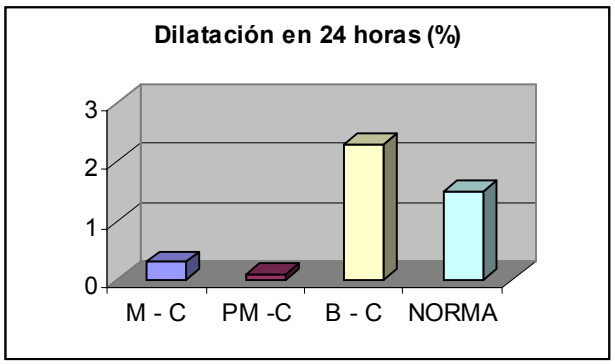


Gráfico No.5



Los tableros de bagazo cemento superan en 0.8 % el parámetro de dilatación en 24 horas establecido en la Norma, la menor dilatación la presentan los tableros de pulpa de madera – cemento.

CONCLUSIONES:

1. Todos los tableros estudiados cumplen en general con las normas internacionales.
2. Los tableros de bagazo- cemento producido en el ICIDCA y en otras instalaciones con nuestro material lignocelulósico (Pro-Cuba, Hungría, etc), presentan buenas propiedades de acuerdo a las especificaciones de calidad establecidas en las normas internacionales. Su densidad es la menor entre los tableros estudiados y esta es una de las cualidades más deseadas para su manipulación, montaje y peso del panel montado.
3. Se recomienda que los estudios e investigaciones que se lleven a cabo sobre el tablero bagazo – cemento, debe trabajarse en disminuir la dilatación en 24 horas sin que afecte el resto de las propiedades mecánicas.
4. Las propiedades actuales de los tableros de bagazo – cemento estudiadas en comparación con los importados de madera y pulpa de madera – cemento así como con los parámetros normados, permiten afirmar que son competitivos técnicamente.
5. Se cumple el objetivo de brindar una guía para estudios posteriores en estos materiales.

REFERENCIAS

(1) Valdés J. L "Conferencia . Comunicación interna ICIDCA. Julio 84.

(2) Valdés J. L Productos Aglomerados con aglutinante inorgánico Revista ICIDCA No. Vol XVIII 1984.

(3) La Serna y Colaboradores. Productos Aglomerados a partir del bagazo de la caña de azúcar Editorial Científico Técnica 1982.

(4) DIB Propuesta de Inversión paneles bagazo cemento MINAZ 1984

(5) Sanderman W "Technical Process for the Production of wood wood/cemento boards and their adaptation for the utilization of agricultural.

(6) Bison – Werque . "Wood Cement board plants 1975.

(7) ICIDCA "Tableros de bagazo- cemento serie, logros y resultados CDO 674. 8-0. 33. 24 Mayo 1984.

(8) Valdés J. L y colaboradores Producción de tableros bagazo- cemento en planta piloto . Memorias 44 Congreso ATAC 1984.

(9) Informes Técnicos de las propiedades Físico- Mecánicas de los tableros Madera- Cemento , Pulpa – Cemento y Bagazo- Cemento.

NORMAS UTILIZADAS:

UNE EN- 634-1:96 Tableros de partículas aglomerados con cemento Especificaciones Generales.

UNE- EN- 634- 2:97 Tableros de partículas aglomerados con cemento. Especificación de Calidad.

BS 5669 Parte 4:89 Specificatión For cement bonded particle-board.

ISO EN-326-1: 94 Tableros derivados de la madera Muestreo

EN -323: 94 Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad.

EN 310. 94. Tableros derivados de la madera. Determinación de la flexión estática.

EN 317. 94 Tableros derivados de la madera. Determinación de la hinchazón del espesor después de 24 horas de inmersión en agua.

EN 319. 94 Tableros derivados de la madera. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero.

EN 322 :94 Tableros derivados de la madera. Determinación de la humedad

ASTM D 1037 (vol 04 10) 93 Evaluating properties of wood base fiber paticle panel material selecting test procedures methods

"DESARROLLO DE NUEVAS COMPOSICIONES POLIMÉRICAS PARA RECUBRIMIENTOS IMPERMEABILIZANTES"

"DEVELOPMENT OF NEW POLYMERIC COMPOSITES FOR WATERPROOF AND SEALING COATINGS"

Lic. Andrés Gómez Estévez. Ing. Julio Puig Santillanes MSc. Migdalia Dopico Paz.
Téc. Arelys Rodríguez Padrón Téc. Jorge Luis García González
Téc. María Elena Rodríguez Dorrego Téc. Pablo Sosa Pérez
Ing. Gisela Meneses Ing. Mario Dorta Téc. Jacquelin Castillo

ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar)
Email: agomez@icidca.edu.cu

RESUMEN
En el presente trabajo se resumen las experiencias y los resultados de la generalización en la aplicación de resinas derivadas del furfural en la protección, impermeabilización y hermetización de pisos, terrazas, cubiertas transitables, así como de tanques y depósitos en general de hormigón para el almacenamiento de petroderivados. Se describen los ensayos realizados y sus resultados. También se refieren trabajos realizados con estos productos furánicos en la protección y hermetización de reactores de intercambio iónico.
En el trabajo se describen dos sistemas de impermeabilización para cubiertas, transitables y no transitables, así como la tecnología de aplicación del mismo.

Palabras Claves: Recubrimientos impermeables, polímeros furano epoxídicos

ABSTRACT
Presently work summary the experiences and the results of the generalization in the application of derived resins of the furfural in the protection, impermeability and sealing of floors, terraces, covered passable, as well as of tanks and deposits in general of concrete for the petroderivados storage. The carried out rehearsals and their results are described. They also refer works carried out with these furanic products in the protection and sealing of reactors of ionic exchange.
In the work two waterproof systems are described for covered, passable and not passable, as well as the technology of application of the same one.

Key words: Waterproof coating, furans epoxy polymers

INTRODUCCIÓN

Los sistemas impermeabilizantes pueden agruparse en dos grupos, Los Sistemas Acuosos y los Sistemas No Acuosos, cada sistema tiene sus propias ventajas y desventajas. Los acuosos son más económicos, son variados en cuanto a composición y a capas a aplicar para asegurar la impermeabilización, por otra parte poseen propiedades de resistencia química y físico mecánicas inferiores a los sistemas no acuosos. Dentro de este grupo se encuentran los sistemas alquídicos, los vinílicos, poliuretanos y otros
Los sistemas no acuosos cuentan con las laminas de base asfálticas, termoplásticas o de caucho, sistemas a partir de asfaltos oxidados, basado en resinas epoxídicas y otros. Estos sistemas son más caros pero presentan mejores propiedades de resistencia química y físico mecánicas. Las de mayores prestaciones por propiedades y por duración son los basados en resinas epoxy.
Bajo el término genérico de resinas epoxy existe un amplio número de polímeros químicamente diferentes. El gran interés prestado a estas resinas se origina por la extensa variedad de sus reacciones

químicas y la amplia diversidad de propiedades de los productos curados En general los aspectos sobresalientes en las resinas epoxy son: la rigidez, la poca contracción del volumen durante el curado, la gran adhesión a diversos substratos, la buena resistencia a los álcalis y la versatilidad de los sistemas de curado disponibles.

La fuente de resinas epoxy esta en la industria petroquímica, una fuente renovable de materia prima, con gran fortaleza tecnológica en los países que poseen estos recursos, pero sobretodo en los Desarrollados. Nuestro país es eminentemente azucarero y dispone de grandes reservas de biomasa, el bagazo entre los primeros y constituye una fuente renovable importante para el desarrollo de productos.

El Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA, lleva un trabajo consecuente desde su propia fundación en 1963, donde han participado otros centros de investigación y de la educación superior, en la actividad de desarrollar polímeros obtenidos del furfural y el alcohol furfurílico obtenidos a partir del bagazo. La más reciente Tecnología desarrollada es el de la obtención de resinas furano-epoxídicas, resinas FAM, que permiten realizar aplicaciones donde son sustituidas las resinas epoxy. El desarrollo de estas composiciones poliméricas sobre la base de resinas FAM, ha permitido emplearlas también en aquellas aplicaciones donde deban resistir esfuerzos mecánicos de torsión, vibraciones, flexiones, etc., de mayor magnitud, en otras palabras deben ser estos productos más tenaces.

La finalidad en este Trabajo es la valoración y generalización de las composiciones poliméricas furánicas en recubrimientos impermeabilizantes de cubiertas, así como de masillas para juntas y sellado. Lograr un material sintético, polimérico (composición polimérica), que cumpla con los requerimientos de impermeabilización, sellantes, juntas y hermetizantes en general para la industria química y para nuestro clima, es un estudio complejo, donde son múltiples los factores a considerar y evaluar. De esta forma la metodología del estudio tendrá diferentes enfoques, un enfoque será sobre la naturaleza, morfología, calidad, etc., de los materiales que se empleen como relleno, un segundo enfoque responderá a la evaluación del comportamiento físico-mecánico y químico de las composiciones y un tercero a la evaluación de las aplicaciones de las mismas en el objetivo propuesto (Suárez, J. C., 2001).

Las composiciones poliméricas más frecuentes en la impermeabilización, sellantes, juntas y hermetizantes son en general las composiciones poliméricas a partir de resinas epoxídicas, fenólicas, poliéster, alquídicas, gomas sintéticas y naturales. Hasta la fecha el empleo de resinas furánicas en esta actividad es bien pobre o poco conocido (Gómez, A. y otros, 1994, 1997, 1999 y 2000).

Las composiciones poliméricas furánicas desarrolladas por el ICIDCA, a partir de derivados de la agroindustria azucarera para estos fines (Gómez, A. y otros, 1987, 1988, 1989 y 1994), se basan en resinas furánicas en general y más especializadas en las furano-epoxídicas, sintetizadas para satisfacer los requerimientos que la matriz en estos productos debe cumplir y se les llaman resinas **FAM**. La tecnología de producción de las mismas están debidamente protegidas y patentada

Materiales y Métodos

Los materiales empleados en todos los trabajos de generalización fueron seleccionados según la aplicación. A continuación relacionamos todos los empleados incluyendo aquellos que en la actualidad ya han pasado a producción, control de la calidad (Dopico, M y otros, 2001) y comercialización (Boletines Técnicos Productos AREA COMERCIAL ICIDCA):

Resina FAM. Resina desarrollada y producida en el ICIDCA.
Alcohol Furfurílico
Alcohol Etílico
Dextrana Técnica
IMPREGNANTE FURANICO PARA HORMIGONES, (IFPH)
RECUBRIMIENTO FURANICO PARA HORMIGONES, (RFPH)
Arena de sílice
Polvos de sílice, talco industrial, grafito y pigmentos.
Aerosil.
Pigmentos inorgánicos.
Endurecedores HY-943.
Pintura de vinil para exteriores

Manta o velo de fibras de poliéster

Propiedades de la resina FAM:

Viscosidad cPs	**2000 - 3000**
Densidad g/cm^3	**1,16 - 1,17**
Peso seco %	**70 - 75**
Punto de gel seg.(1)	**5 - 12**
Tiempo de vida min.(2)	**40 - 50**
Adherencia MPa (3)	**10 - 15**
R. a la Tracción MPa (3)	**9 - 15**
Monofurfurilidenacetona (%)	**32 - 36**
Difurfurilidenacetona (%)	**26 - 30**
Furfural libre (%)	**no más de 2**

(1) A 170 ºC, con 12 % de Acido bencenosulfónico (ABS).
(2) A temperatura ambiente con 15 % de Polietilenpoliamina (PEPA).
(3) Resina sin carga

Propiedades	IFPH	RFPH
Relación de mezclado en peso (resina/end)	**5:1**	**5:1**
Relación de mezclado en volum. (resina/end)	**4:1**	**4:1**
Temperatura de aplicación (ºC)	**15 - 40**	**15 - 40**
Tiempo de fraguado (h)	**24**	**24**
Tiempo útil de aplicación (min)	**25 – 50**	**25 – 50**
Tiempo de almacenamiento a T. Amb.(años)	**2**	**2**
Máxima Temperatura que resiste (ºC)	**150**	**150**
Mínima Temperatura que resiste (ºC)	**- 20**	**- 30**
Densidad (g/cm^3)	**1.11 – 1.13**	
Viscosidad (cPs)	**100 - 200**	
Resist. a la Flexión MPa [mortero]		**30 – 70 [10 - 15]**
Resist. a la Tracción MPa [mortero]		**10 – 15 [5 – 8]**
Resist. a la Compresión MPa [mortero]		**5 – 10 [40 – 60]**
Adherencia (MPa) [mortero]	**45 - 50**	**4.5 – 5.0 [>40.0]**
Rendimiento kg/m^{2}x 1 mm de espesor	**0.6 – 0.8**	**0.7 – 1.3 [2 – 3]**
Valoración en Talleres por su laboriosidad	**Excelente**	**Excelente**

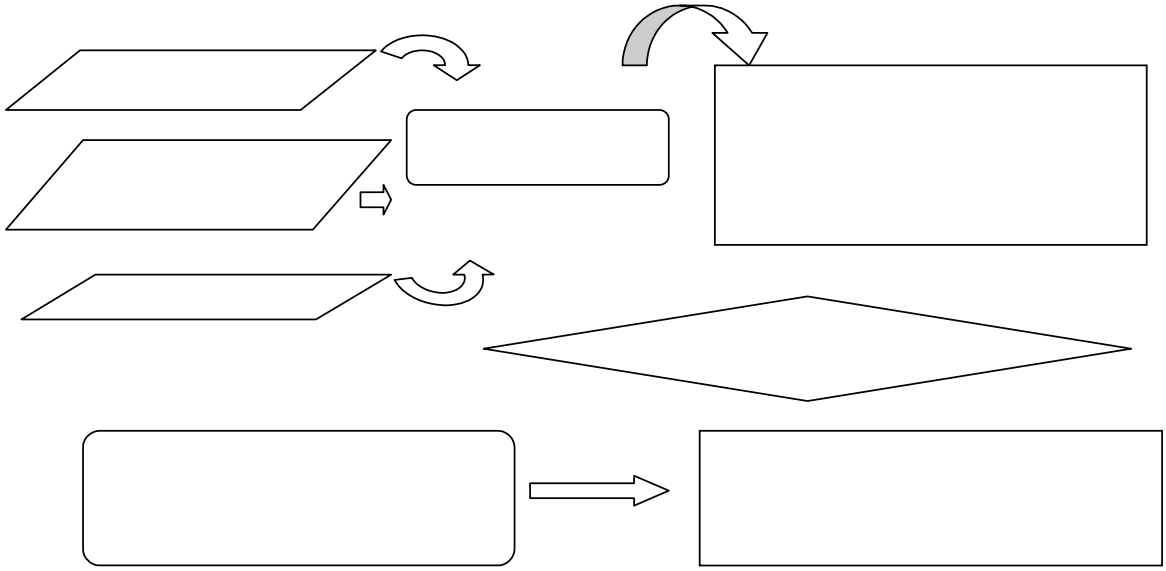
IFPH RECUBRIMIENTO FURANICO IMPREGNANTE Y ACONDICIONADOR PARA MADERAS Y HORMIGONES.

RFPH RECUBRIMIENTO FURANICO ANTICORROSIVO PARA MADERAS Y HORMIGONES.

Los ensayos de propiedades físico – mecánicas se realizaron acorde a las Normas ISO, UNE y ASTM.
El **sistema impermeabilizante** desarrollado para pisos, terrazas y cubiertas transitables y no transitables lleva los siguientes componentes:

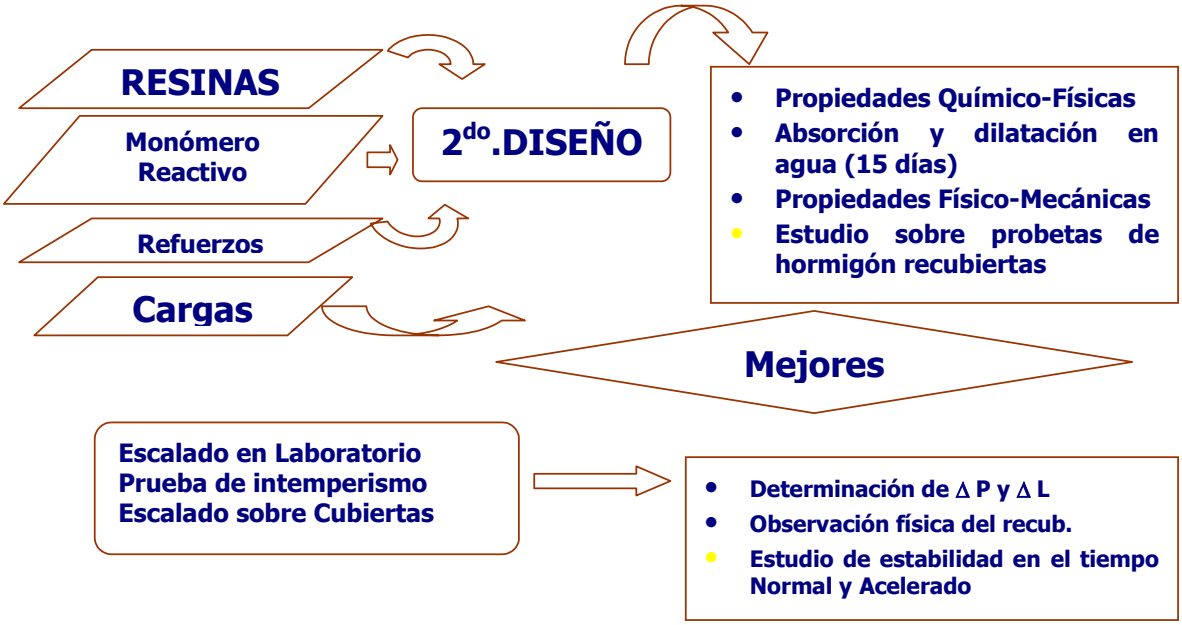
Acondicionador impermeabilizante IFPH
Composición polimérica resanadora de flexibilidad variable RFPH
Sellado ♦ Rec. Impermeable simple Masilla FAM Modificada
Rec. Impermeable reforzado Masilla FAM Modificada
Capa de protección de las irradiaciones Recubrimiento de pintura comercial para exteriores, de vinil o alquídicas.

Para el estudio y desarrollo de las capas Resanadora y Selladora se seleccionaron dos diseños experimentales, que para simplificar la información sobre las variables y todo el procedimiento de evaluación del diseño lo mostramos en forma de Diagrama:



El propósito principal de este diseño era precisar cual matriz debía ser empleada para el estudio, tomando en cuenta para la selección sus propiedades físico mecánicas y en su estabilidad en el tiempo de estas propiedades. Las matrices evaluadas fueron la resina FAM-Blend, GY-250 y la FAM y la evaluación de las propiedades se realizó hasta los 90 días como valor máximo. Las variaciones de Peso y Dimensionales (ΔP y ΔL) se realizaron sobre estas composiciones expuestas en panelarios estandarizados.

En el segundo diseño experimental se estudiaron en las composiciones poliméricas el efecto de los monómeros reactivos y de las cargas modificadoras, tomando como matriz la seleccionada del primer diseño, la resina FAM-Blend. Un esquema descriptivo del diseño se muestra a continuación:



A partir de los mejores resultados de estos diseños se prepararon probetas que constituyeron planchas y tejas de fibrocemento que fueron recubiertas con estas composiciones poliméricas y con un sistema impermeabilizante comercial para poder relacionar y comparar los resultados.

Los procedimientos de aplicación son generales y se enmarcan en los siguientes pasos:

Preparación de superficies: Las superficies deben estar limpias de vegetaciones y partículas sueltas, así como de polvo, grasa, aceite o similares. No se aconseja impermeabilizar si existe humedad en las capas inferiores.

1. Las fisuras y grietas existentes se rellenarán, con posterioridad a la mano impregnadora de **IFPH**, con una mezcla de **RFPH**, dejando secar 24 horas.
2. Si existen juntas de dilatación, fisuras o cambios de horizontal a vertical, se recomienda aplicar una cinta de tela poliéster o poliamida de aproximadamente 15 cm de ancho, en la capa húmeda de una **Composición Polimérica Selladora y Flexible basado en resina FAM** sobre la zona respectiva. Una vez seco, cubrir esta cinta con la otra aplicación del material.
3. Puenteo: en caso específico de problemas constructivos en donde se produzcan fisuras o movimientos crónicos (ej.: unión de lozas), se procederá de la siguiente manera:
   a) Aplicar 3 manos de **Composición Polimérica Selladora y Flexible basado en resina FAM** sobre un trozo de polietileno. Una vez seco separar la película de **Composición Polimérica Selladora y Flexible basado en resina FAM** del plástico.
   b) Cortar tiras de 15 cm de ancho de la membrana obtenida.
   c) Aplicar dichas tiras sobre la fisura pegando al sustrato solamente los bordes con **RFPH**.
   d) Una vez seco se procederá a la impermeabilización total del piso, terraza, azotea o deposito de hormigón.

Advertencias: No se recomienda el uso de agregados no mencionados específicamente en el trabajo. No se aconseja aplicar **las composiciones poliméricas** a temperaturas por debajo de 5 ºC, con humedad relativa mayor al 85% o en previsión de rocíos o lluvias inmediatas. El **Sistema impermeabilizante desarrollado** no debe ser aplicado sobre productos bituminosos.

El orden de aplicación en cualquier actividad de protección anticorrosiva, hermetización o impermeabilización será:

1) Aplicar IFPH con espátula de metal, goma, plástica o madera, e incluso con pedazo de cartón o cartulina gruesa, pudiera emplearse una brocha o escoba. Debe aplicarse siempre sobre una superficie que previamente se haya preparado y se encuentre libre de óxidos, polvo, grasas o aceite, pasadas las 3 a 5 horas de su aplicación es posible aplicar la siguiente capa. En función del grado de protección requerido se puede aplicar una segunda capa para mayores solicitudes de resistencia química. Esta composición polimérica es la base de las aplicaciones de impermeabilización, hermetización y protección anticorrosiva, su función es de capa acondicionadora entre la superficie de base y el recubrimiento posterior, garantizando la adherencia entre estas capas. Es la barrera fundamental que garantiza la integridad de la superficie base.
2) Aplicar una capa de **RFPH.** Los recubrimientos fluidos como pinturas se pueden aplicar en capas de no menos de 0.3 mm y no mayor de 1 mm, debe aplicarse con espátula de metal, goma, plástica o madera, e incluso con un pedazo de cartón o cartulina gruesa, pudieran emplearse brocha o rodillo. Cuando se emplea para recubrimiento de pisos, terrazas o cubiertas transitables se adiciona un tercer componente de base silícea y este mortero ligero puede ser aplicado con plana, cuchara de albañil o con una regla de madera, con espesor no mayor de 5 mm y no menor de 2 mm por capa aplicada. Debe aplicarse siempre sobre una superficie que previamente se haya preparado y se encuentre libre de óxidos, polvo, grasas o aceite, impregnada con una capa del acondicionador **IFPH** y resanadas las fisuras o grietas de la superficie, así como las uniones de losas o juntas de expansión. Esta composición polimérica es la base de hermetización y protección anticorrosiva, su función es de capa de sellado, impermeabilización y protección anticorrosiva entre la superficie hormigón o madera y el medio. Es la barrera fundamental que garantiza la integridad de la superficie base. Pasadas las 12 a 16 horas de su aplicación es posible aplicar una segunda capa para mayores solicitudes de resistencia química o mecánica.

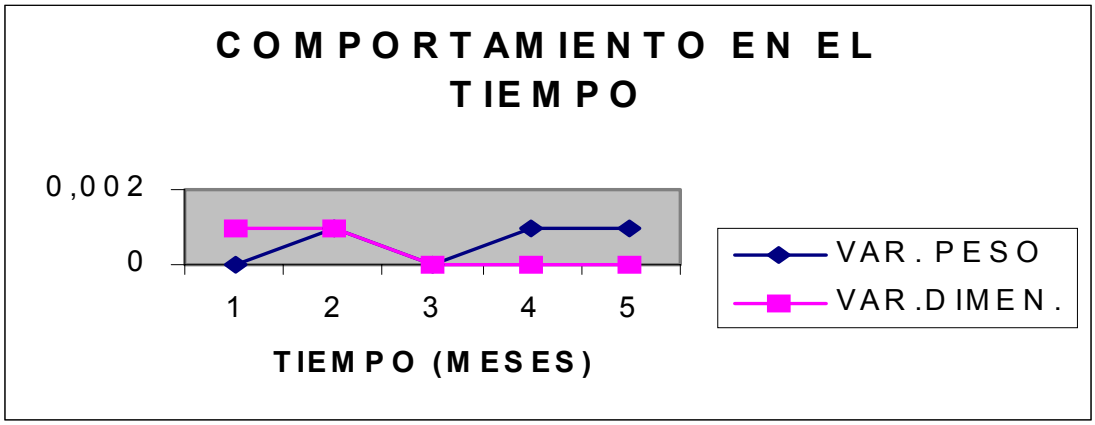
3) Aplicación de una capa de acabado según sea el requerimiento de la aplicación. Esta capa puede ser a base de FAM pigmentada o cargada, o de cualquier pintura siempre que la aplicación en cuestión no sea para protección química.

RESULTADOS Y DISCUSION

Del primer diseño los resultados se describen en la siguiente Tabla:

	Resultados del primer diseño experimental					
	RC(N/mm2)	Valores Promedios				
	0	7	15	30	60	90
FAM-Blend	43	44	46	47	51	63
GY-250	73	73	75	88	77	82
FAM	102	96	95	75	96	91
	RF(N/mm2)	Valores Promedios				
	0	7	15	30	60	90
FAM-Blend	36	42	26	33	32	33
GY-250	26	41	48	47	47	54
FAM	43	43	43	49	52	62
	RT(N/mm2)	Valores Promedios				
	0	7	15	30	60	90
FAM-Blend	23	22	13	12	10	14
GY-250	12	30	19	19	19	19
FAM	20	23	17	17	20	25
	DUREZA(HB)	Valores Promedios				
	0	7	15	30	60	90
FAM-Blend	148	171	174	148	128	171
GY-250	91	173	174	195	173	178
FAM	215	230	265	257	265	260

Las variaciones de Peso y Dimensionales (ΔP y ΔL), se realizaron sobre estas composiciones expuestas en panelarios estandarizados.



La resina más adecuada para la actividad de impermeabilización, en cuanto a la relación flexibilidad : resistencia a la tracción : resistencia a la compresión : dureza, es la FAM-Blend. No obstante los resultados de variación en peso y dimensional son magníficos para cualquiera de las resinas estudiadas.

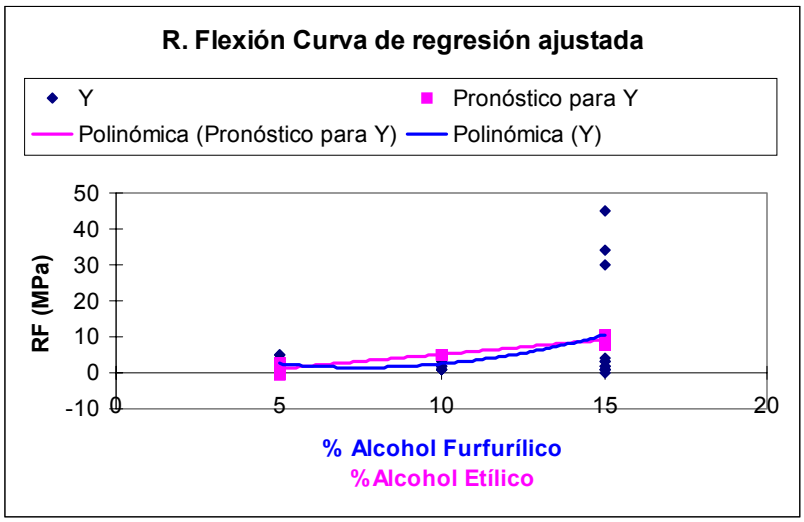
Los resultados del segundo diseño se exponen en la siguiente Tabla:

					RESULTADOS DEL 2do DISEÑO EXPERIMENTAL									
Exp. No.	X1	X2	X3	FOH	ETOH	DEXT	pH	P Seco	Densidad	T Vida	Viscosidad	R. FLEXION	R. TRACCION	R. COMPRESION	DUREZA
1	0	0	0	10	10	1	4	46	1,115	99	50	4	3	44	11
2	1	-1	1	15	5	2	5,1	91	1,1313	90	73	5	5	45	17
3	0	0	0	10	10	1	4,1	60	1,1153	88	51	5	6	52	19
4	1	1	-1	15	15	0	4,3	62	1,0914	127	44	2	2	40	13
5	-1	1	1	5	15	2	5,9	65	1,0987	74	47	34	4	46	14
6	-1	-1	-1	5	5	0	4,3	47	1,099	92	92	5	5	50	17
7	0	0	0	10	10	1	4,6	43	1,1332	170	51	1	1	14	13
8	1	1	1	15	15	2	5,1	47	1,133	123	75	3	3	29	12
9	1	-1	-1	15	5	0	5,1	44	1,091	134	54	1	2	17	13
10	-1	-1	1	5	5	2	6,5	69	1,1273	80	118	3	3	13	15
11	-1	1	-1	5	15	0	6,5	67	1,1331	61	47	30	18	43	93
12	0	0	0	10	10	1	7	40	1,1102	82	53	2	6	46	14
13	0	0	0	10	10	1	4,6	44	1,1045	110	49	2	3	28	12
14	1	-1	1	15	5	2	4,7	46	1,1258	113	67	3	3	38	11
15	0	0	0	10	10	1	4,5	51	1,1235	120	50	3	3	23	12
16	1	1	-1	15	15	0	5	46	1,1157	95	34	45	4	65	118
17	-1	1	1	5	15	2	4,4	64	1,1008	110	47	3	3	45	37
18	-1	-1	-1	5	5	0	5,6	45	1,1358	175	143	0	2	22	14
19	0	0	0	10	10	1	4,5	46	1,1155	99	52	1	1	27	12
20	1	1	1	15	15	2	5,1	47	1,1222	77	75	1	3	27	16
21	1	-1	-1	15	5	0	5,9	46	1,1232	75	65	1	1	30	11
22	-1	-1	1	5	5	2	6,6	65	1,0904	110	100	4	4	59	14
23	-1	1	-1	5	15	0	8,2	66	1,0967	90	48	4	2	37	12
24	0	0	0	10	10	1	6,5	61	1,1046	120	63	1	1	11	13
25	0	0	0	10	10	1	7,2	74	1,119	120	63	2	3	32	13
26	1	-1	1	15	5	2	7,3	71	1,1318	120	81	2	1	31	14
27	0	0	0	10	10	1	6,7	47	1,1151	120	64	4	3	45	74
28	1	1	-1	15	15	0	6,8	46	1,1331	115	39	1	1	23	14
29	-1	1	1	5	15	2	6,5	64	1,1207	135	96	1	1	18	13
30	-1	-1	-1	5	5	0	6,7	45	1,126	110	59	3	1	31	13
31	0	0	0	10	10	1	6,8	47	1,1149	100	65	1	1	9	13
32	1	1	1	15	15	2	5,1	49	1,1261	101	75	0	1	4	10
33	1	-1	-1	15	5	0	6,9	46	1,1246	82	64	1	1	27	13
34	-1	-1	1	5	5	2	6,9	64	1,1208	77	94	2	2	20	15
35	-1	1	-1	5	15	0	7,3	54	1,0954	137	68	2	1	24	12
36	0	0	0	10	10	1	6,8	46	1,1153	115	67	4	1	29	12

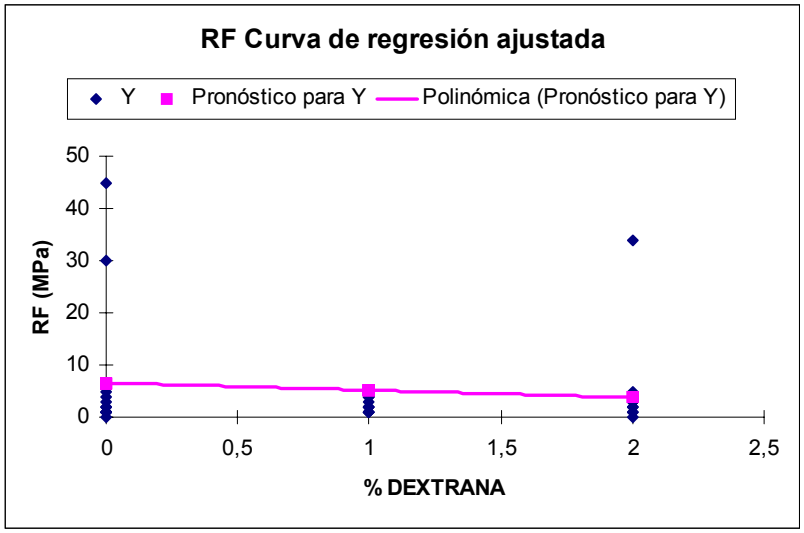
Los resultados generales de este diseño muestran que dentro de los limites de variación estudiados para cada una de las variables, no existe una ecuación que defina la influencia de las mismas sobre las propiedades estudiadas, como veremos en los valores de los coeficientes de regresión de cada propiedad:

Peso Seco	**R^2= 0.1161**	**Densidad**	**R^2= 0.0358**	**T. Vida**	**R^2= 0.0793**
Viscosidad	**R^2= 0.3609**	**R.Flexión**	**R^2= 0.0558**	**R.Tracción**	**R^2= 0.0088**
R.Comp	**R^2= 0.0078**	**Dureza**	**R^2= 0.0521**		

Gráficamente se muestran los resultados del diseño donde lo más transcendente es la definición de la resina a emplear, la FAM-Blend, la cantidad y tipo de monómero reactivo a emplear, el etanol al 10 - 15%, el alcohol furfurílico al 0 - 5% y por último no emplear Dextrana como modificador.



RF **Resistencia a la Flexión**



Resultados similares a los mostrados en las gráficas de RF lo son para RT (Tracción), RC (Compresión), Dureza y demás propiedades químico físicas.
Los resultados de las formulaciones desarrolladas para los sistemas impermeabilizantes de Cubiertas Transitables y No Transitables, en comparación con un Sistema Comercial se muestran en las siguientes Tablas.

CUBIERTA TRANSITABLE		
AREA (m^2)	L	A
0,3	20	15
0,456	24	19
1ra Capa		
Producto	Gasto	Consumo/m2
IFPH	12,2	40,7
	59,40	130,3
	Promedio	85,5
2da Capa	Gasto	Consumo/m2
FAM-Blend con arena	168	560
	215	471,5
	Promedio	515,7
3ra Capa	Gasto	Consumo/m2
Epoxi pig	104	346,7
	185	405,7
	Promedio	376,2

Se puede apreciar que el consumo promedio total de todos los componentes del sistema propuesto no supera el 1.00 kg/m^2.

CUBIRTA NO TRANSITABLE (1) Primera		
AREA (m^2)	L	A
0,04116	0,245	0,168
0,04116	0,245	0,168
1ra Capa		
Producto	Gasto	Consumo/m^2
IFPH	8,12	197,3
(FAM-Blend)	8,12	197,3
	Promedio	197,3
2da Capa	Gasto	Consumo/m2
Resanador	7,18	174,4
FAM-Blend Modif. con talco y fibra	7,18	174,4
	Promedio	174,4
3ra Capa	Gasto	Consumo/m2
Pintura vinilica	15,81	384,1107872
	15,81	384,1107872
	Promedio	384,1

La Primera Variante del Sistema Impermeable para Cubierta No Transitable consta de tres capas y el consumo total no supera los 760 g/m^2.

CUBIRTA NO TRANSITABLE (2) Segunda con Resanadora		
AREA (m^2)	L	A
0,04116	24,5	16,8
0,04116	24,5	16,8
1ra Capa		
Producto	Gasto	Consumo/m2
IFH	6,96	169,1
(FAM-Blend)	6,96	169,1
	Promedio	169,1
2da Capa	Gasto	Consumo/m2
Resanador	6,14	149,2
FAM-Blend Modif. con talco y fibra	6,14	149,2
0.1 % de fibra	Promedio	149,2
3ra Capa	Gasto	Consumo/m2
Sellador	7,76	188,5
FAM-Modificada (Diseño)	7,76	188,5
	Promedio	188,5
4ta Capa	Gasto	Consumo/m2
Pintura vinilica	28,97	703,8
	28,97	703,8
	Promedio	703,8

En esta segunda Variante del Sistema Impermeable para Cubierta No Transitable se incorpora una 3ra capa Selladora que incrementa la protección, pero también el consumo total que llega a 1.21 kg/m^2.

CUBIRTA NO TRANSITABLE Tercera (Con 0.1 de fibra)		
AREA (m^2)	L	A
0,04116	24,5	16,8
0,04116	24,5	16,8
1ra Capa		
Producto	Gasto	Consumo/m2
IFPH	6,07	147,5
(FAM-Blend)	6,07	147,5
	Promedio	147,5
2da Capa (Reforzada)	Gasto	Consumo/m2
Resanador	6,3	153,1
FAM-Blend Modif. con talco y fibra	6,3	153,1
1 % fibra tratada	Promedio	153,1
3ra Capa (Reforzada)	Gasto	Consumo/m2
Sellador	6	145,7725948
FAM-Modificada (Diseño)	6	145,7725948
1% fibra tratada	Promedio	145,8
4ta Capa	Gasto	Consumo/m2
Pintura vinilica	28,16	684,159378
	28,16	684,159378
	Promedio	684,2

En esta tercera Variante del Sistema Impermeable para Cubierta No Transitable se incorpora refuerzo de fibra de vidrio a la capa Resanadora y Selladora que incrementa la protección, el consumo total llega a 1.13 kg/m^2.

CUBIRTA NO TRANSITABLE Cuarta (Con Manta)		
AREA (m^2)	L	A
0,16	40	40
0,16	40	40
1ra Capa		
Producto	Gasto	Consumo/m2
IFPH	87,2	545,0
328 (FAM-Blend)	88,15	550,9
	Promedio	548,0
2da Capa	Gasto	Consumo/m2
Resanador	63,68	398,0
FAM-Blend Modif. con talco y fibra	60	375,0
	Promedio	386,5
3ra Capa	Gasto	Consumo/m2
Sellador	81	506,25
FAM-Modificada (Diseño) (427)	80	500
Refuerzo de Manta de Poliester	Promedio	503,1
4ta Capa	Gasto	Consumo/m2
Pintura vinilica	38	237,5
	40	250
	Promedio	243,8

En la cuarta Variante del Sistema Impermeable para Cubierta No Transitable se incorpora refuerzo de manta de poliéster a la capa Selladora que incrementa la protección, el consumo total llega a 1.18 kg/m^2.

CUBIRTA NO TRANSITABLE quinta (con manta)		
AREA (m^2)	L	A
0,04116	24,5	16,8
0,04116	24,5	16,8
1ra Capa		
Producto	Gasto	Consumo/m2
IFPH	4,72	114,7
(FAM-Blend)	4,72	114,7
	Promedio	114,7
2da Capa	Gasto	Consumo/m2
Resanador	6,62	160,8
FAM-Blend Modif. talco y fibra 1 %	6,62	160,8
	Promedio	160,8
3ra Capa	Gasto	Consumo/m2
Sellador	41,85	1016,8
FAM-Modificada (Diseño)	41,85	1016,8
Refuerzo de Manta de Poliester (30 g/m^2)	Promedio	1016,8
4ta Capa	Gasto	Consumo/m2
Pintura vinilica	19,94	484,5
	19,94	484,5
	Promedio	484,5

En la cuarta Variante del Sistema Impermeable para Cubierta No Transitable se incorpora refuerzo de manta de poliéster de mayor gramaje a la capa Selladora que incrementa la protección, el consumo total llega a 1.78 kg/m^2

CUBIERTA COMERCIAL		
AREA (m^2)	L	A
0,03	20	15
0,03	20	15
1ra Capa		
Producto	Gasto	Consumo/m2
SURFASTYL al 50% en agua	24	800
	26	866,7
	Promedio	833,3
2da Capa	Gasto	Consumo/m2
SURFASTYL	16	533,3
Refuerzo de Manta de Poliester	14	466,7
	Promedio	500,0

Para el Sistema Impermeable para Cubierta No Transitable COMERCIAL, que emplea de refuerzo la manta de poliéster el consumo total llega a 1.33 kg/m^2

A continuación se muestran las Tablas que resumen las experiencias realizadas para cada sistema estudiado, los consumos promedios y el costo estimado.

VALORES PROMEDIOS DE CONSUMO (g/m^2) EN LAS DIFERENTES EXPERIENCIAS					
	CUBIERTA TRANSITABLE				
EXP	IFPH	RESANADOR	SELLADOR	PINTURA	SISTEMA
1	41	560	347	384,1	1332
2	130	472	406	703,8	1712
3	90	520	380	550	1540
4	120	540	400	690	1750
MIN	41	472	347	384,1	1332
MAX	130	560	406	703,8	1750
PROMEDIO	95	523	377	582	1583

VALORES PROMEDIOS DE CONSUMO (g/m^2) EN LAS DIFERENTES EXPERIENCIAS					
	CUBIERTA NO TRANSITABLE				
EXP	IFPH	RESANADOR	SELLADOR	PINTURA	SISTEMA
1	197,3	174,4		384,1	756
2	169,1	149,2	188,5	703,8	1211
3	147,5	153,1	145,8	684,2	1131
4	114,7	160,8	1016,8	484,5	1777
MIN	114,7	149,2	145,8	384,1	756
MAX	197,3	174,4	1016,8	703,8	1777
PROMEDIO	157	159	450	564	1218

VALORES PROMEDIOS DE COSTO ($/m^2) EN LAS DIFERENTES EXPERIENCIAS					
CUBIERTA TRANSITABLE			(TERMINACION PINT. ACRILICA)		
EXP	IPFH	RESANADOR	SELLADOR	PINTURA	SISTEMA
1	0,24	2,70	2,39	2,12	7,46
2	0,76	2,28	2,80	3,89	9,73
3	0,50	2,50	2,60	3,00	8,60
4	0,60	2,60	2,70	3,30	9,20
MIN	0,24	2,28	2,39	2,12	7,46
MAX	0,76	2,70	2,80	3,89	9,73
PROMEDIO	0,50	2,49	2,60	3,08	8,75

VALORES PROMEDIOS DE COSTO ($/m^2) EN LAS DIFERENTES EXPERIENCIAS					
	(TERMINACION PINT. ACRILICA)				
EXP	IFPH	RESANADOR	SELLADOR	PINTURA	SISTEMA
1	1,16	0,84	0,00	2,12	4,12
2	0,99	0,72	1,30	3,89	6,90
3	0,87	0,74	1,01	3,78	6,39
4	0,67	0,78	7,02	2,68	11,14
MIN	0,67	0,72	0,00	2,12	4,12
MAX	1,16	0,84	7,02	3,89	11,14
PROMEDIO	0,92	1	3	3,12	7,14

Los Sistemas con terminación de pintura vinílica resultaron ser menos costosas.

ESTUDIO DE MERCADO

Los resultados de este TRABAJO están dirigidos a un Mercado caracterizado por su tendencia al crecimiento, dado por la necesidad de impermeabilización y hermetización de cubiertas, paredes, depósitos, etc..

Las composiciones poliméricas y las tecnologías de aplicación lograrán satisfacer las necesidades crecientes del mantenimiento en la industria azucarera, construcciones de la salud, el turismo, educacionales, viviendas, etc., con la sustitución de materiales de importación.

Los productos similares presentes actualmente en el Mercado, son las composiciones poliméricas de las Firmas HEMPELL, DiaSen, SINTERPLAST, LOTUM y otros

Las COMPOSICIONES POLIMERICAS DESARROLLADAS descansan sobre la base de matrices furano-epoxídicas que poseen alta estabilidad térmica y química, que pueden utilizarse a temperaturas de trabajo desde –30 °C hasta los 150 °C, manteniendo sus propiedades de adherencia y resistencia mecánica a un costo inferior al de los productos de la competencia.

Al Mercado al que se puede acceder con los resultados es en primer lugar al Nacional, pero pueden introducirse en el Mercado Internacional, fundamentalmente en los Países Productores de Azúcar.

La competencia es fuerte por ser Firmas reconocidas por su experiencia y poseen variedad en sus surtidos, por lo que para introducir los resultados en el Mercado hay que superar las fortalezas de la competencia. Para ello fueron dispuestas las tareas y definidos los objetivos de este TRABAJO, para lograr variedad de surtido superior en calidad y cantidad, alcanzando técnicas novedosas de aplicación que han permitido ofrecer a los clientes la solución total a sus necesidades, desde el producto, la tecnología o el servicio requerido.

Se cuenta con más del 75% de integración de productos producidos nacionalmente en las COMPOSICIONES POLIMERICAS DESARROLLADAS, o sea, que puedan adquirirse en plaza,

velando además que el resto de los insumos no pertenezcan a proveedores con gran fuerza, en otras palabras que sean productos generales, que puedan ser suministrados por más de un proveedor.

RESUMEN DE LA SITUACIÓN

- La principal competencia es de importación o de producción cooperada, no es numerosa, ni tienen igual nivel de CALIDAD.
- Los precios en el Mercado son superiores
- Se basan, los de mayor Calidad y Garantía, en SISTEMAS.
- Ofertan el Servicio de Aplicación y toman en cuenta los aspectos físicos de las cubiertas.
- El 80 a 90 % de los CLIENTES que compraron y aplicaron por sus medios han fracasado.
- Alrededor del 80 % de los CLIENTES que contrataron productos y servicios han fracasado.
- Los precios en el Mercado son diversos, pero en la mayoría son superiores
- No están cubiertas todas las PLAZAS.
- El Sector del TURISMO está insatisfecho y es el de mayor DEMANDA ACTUAL Y PERSPECTIVA.
- DEMANDAS ESPECIALES del Sector INDUSTRIAL no son cubiertas por los productos actuales.
- Los niveles de OFERTA y ESTABILIDAD no satisfacen las DEMANDAS.
- Se conocen las causas que provocan la permeabilidad.
- Es correcto estudiar la impermeabilización como un sistema, no como soluciones de productos aislados.
- Contamos con los materiales y la capacidad intelectual para alcanzar el objetivo
- Los resultados alcanzados hasta la fecha son muy alentadores y aplicables a requerimientos especiales de la industria.
- Es factible el uso combinado con otros productos comerciales.

IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE

La fuente de la matriz de las composiciones poliméricas desarrolladas es renovable, por obtenerse el furfural del bagazo de la caña. Las aplicaciones no generan residuos contaminantes y las superficies recubiertas quedan protegidas de la corrosión química y ambiental.

CONCLUSIONES

- A partir del furfural se ha desarrollado una matriz furano epoxídica con la que se han desarrollado recubrimientos especiales para diferentes aplicaciones de protección e impermeabilización.
- Se desarrollaron dos SISTEMAS IMPERMEABILIZANTES, uno para cubiertas TRANSITABLES y otro para cubiertas NO TRANSITABLES.
- El **sistema impermeabilizante** desarrollado para pisos, terrazas y cubiertas transitables y no transitables lleva los siguientes componentes:

1. Acondicionador impermeabilizante IFPH
2. Composición polimérica resanadora de flexibilidad variable RFPH
3. Sellado Rec. Impermeable simple Masilla FAM Modificada
   Rec. Impermeable reforzado Masilla FAM Modificada
4. Capa de protección de las irradiaciones Recubrimiento de pintura comercial para exteriores, de vinil o alquídicas.

- Hay mercado para esta línea de productos dentro y fuera del país.
- Los recubrimientos desarrollados compiten en calidad y precios con los existentes en el mercado.

REFERENCIAS

- Gómez, A. y otros (1987). "Composición Polimérica Antiácida" (Cuba). Patente de Invención No. 21 755.
- Gómez, A. y otros (1989). "Composiciones poliméricas a base de resinas furfural acetonas". (Cuba). Patente de Invención No. 929/89.

- Gómez, A. y otros (1989). Informe resumen de las investigaciones sobre impermeabilización de tanques de hormigón para el almacenamiento de petroderivados; (Cuba). Contrato 61.17/1987, ICIDCA.
- Gómez, A. y otros (1991). Informe final Impermeabilización de tanque de hormigón y obras soterradas. (Cuba). Contrato 61.17/1990, ICIDCA - CTCM -FAR.
- Gómez, A. y otros (1994). Resinas furano-epoxídicas y su procedimiento de obtención. (Cuba). Patente de Invención No. 22 355.
- Gómez, A. y otros (1997). Protección de Depósitos con composiciones poliméricas furano – epoxídicas. (Cuba). LOGRO MINAZ.
- Gómez, A. y otros (1999). Informe Final Proyecto CITMA 001.03.018 "Composiciones poliméricas para el mantenimiento de la industria azucarera". Informe Final Proyecto CITMA 030.012 "Aplicaciones de polímeros en diferentes técnicas de conservación prolongada". (Cuba).
- Gómez, A. y otros (2000). Polímeros para la Construcción. (Cuba). Libro de Resúmenes SLAP 2000, 10-C18, pág. 364.
- Gómez, A. y otros (2002). Estudio de Propiedades Mecánicas en Polímeros Furánicos. Aplicaciones. (Cuba). 17 Conferencia de Química de la Univ. De Oriente, IQ - P23, ISBN: 959-207-083-0.
- Dopico, M. y otros (2001). Propuesta de un sistema de aseguramiento de la calidad para los servicios de aplicación de los productos FURAL. (Cuba). Rev. ICIDCA Vol XXXV (1) pp. 3,4.
- Suárez, J. C.; López, F. (2000). "Uniones Adhesivas Estructurales". (España). CYTED RED TEMATICA VIII.D, UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, E.T.S. INGENIEROS NAVALES

"COMPOSICIONES POLIMERICAS PARA LA PROTECCION DE LOS PALET DE TABLEROS DE PARTICULAS"

"POLYMERIC COMPOSITES FOR PROTECTING PARTICLE BOARD PALETS"

Lic. Andrés Gómez Estévez. Téc. Arelys Rodríguez Padrón Téc. Pablo Sosa Pérez
Téc. María Elena Rodríguez Dorrego Téc. Jorge Luis García González

ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar)
Email: agomez@icidca.edu.cu

RESUMEN
El empleo de recubrimientos especiales puede ser una vía para lograr la CALIDAD requerida en los tableros y es de hecho el objetivo del presente trabajo, a través de mejorar la calidad y tiempo de duración de los PALETS confeccionados con madera y tableros de partículas. Este resultado se ha logrado con el empleo de composiciones poliméricas furano - epoxídicas que han permitido disminuir la dilatación y absorción de agua en el tablero y mejorar las propiedades mecánicas de los mismos, todo con un costo material mínimo por PALET.
Los resultados de las composiciones poliméricas furano-epoxídicas FAM en el campo de los recubrimientos especiales, se basan fundamentalmente en la matriz polimérica FAM, resina furano epoxídica con tecnología de síntesis y producción patentada por el ICIDCA.

Palabras Claves: Recubrimientos poliméricos, tableros, palets

ABSTRACT
The employment of special coating can be a road to achieve the QUALITY required in the boards and it is in fact the objective of the present work, through improving the quality and time of duration of the PALETS made with wood and particle board. This result has been achieved with the employment of furan - epoxy compositions that have allowed to diminish the dilation and absorption of water in the board and to improve the mechanical properties of the same ones, everything with a minimum material cost for PALET.
The results of the furan - epoxy compositions FAM in the field of the special coating, is based fundamentally on the polimeric matrix FAM, furan epoxy resin with synthesis technology and production patented by the ICIDCA.

Key Words: Polymeric coating, board, palet

INTRODUCCION

La necesidad de maniobrar un amplio volumen de mercancías de importación y de exportación como resultado del desarrollo de nuestra economía, apuntan hacia los procesos de cargas paletizadas y por contenedores. El país no cuenta con los recursos maderables suficientes como para afrontar la necesidad de PALETS que se requieren. La industria de madera artificial como la de los tableros de partículas de bagazo puede asumir el déficit de madera, pero estos tableros deben tener un mínimo de CALIDAD, deben cumplir con las exigencias de propiedades de resistencia a la humedad y de propiedades mecánicas a que están sometidos los mismos durante su explotación.
El estudio de recubrimientos especiales que se llevan a cabo en el ICIDCA, Gómez y colab. (1994, 2000, 2002), Dopico y colab. (1998, 2001), unido al desarrollo de la ciencia de los adhesivos, Suárez (2000), es una vía en estudio para lograr la CALIDAD requerida en los tableros, por lo que constituye el objetivo del presente trabajo, con estos recubrimiento se trabaja para mejorar la calidad y tiempo de duración de los PALETS confeccionados con madera y tableros de partículas. Este resultado se ha logrado con el

empleo de composiciones poliméricas furano - epoxídicas que han permitido disminuir la dilatación y absorción de agua en el tablero y mejorar las propiedades mecánicas de los mismos, todo con un costo material mínimo por PALET.
Los resultados de las composiciones poliméricas furano-epoxídicas FAM en el campo de los recubrimientos especiales, se basan fundamentalmente en la matriz polimérica FAM, resina furano epoxídica con tecnología de síntesis y producción patentada por el ICIDCA.

MATERIALES Y METODOS

Los tableros de partícula de bagazo empleados fueron tomados de los PALETS, Se prepararon probetas de 25 X 25 mm y de 25 X 250 mm. Las probetas fueron organizadas en CUATRO (4) GRUPOS que son:

T TESTIGO TABLERO NO RECUBIERTO
A TABLERO RECUBIERTO CON UNA CAPA DE FURAL-Ri 1001
B TABLERO RECUBIERTO CON UNA CAPA DE FAM - BLEND
AB TABLERO RECUB. CON UNA CAPA DE FURAL-Ri 1001 Y OTRA DE FAM - BLEND.

Las probetas recubiertas y desnudas (Testigo) se estudian bajo las Normas de Ensayos establecidas para los tableros de partículas:

43-08 1/99 Determinación de densidad.
43-08 5/99 Resistencia a la tracción perpendicular.
43-08 2/99 Resistencia a la flexión y modulo de elasticidad.
43-08 4/99 Dilatación y absorción por inmersión en agua a 20 ºC

Las composiciones poliméricas estudiadas son de base furano epoxídicas, desarrolladas bajo tecnología ICIDCA, las mismas son:

FURAL- Ri 1001 Recubrimiento impregnante y acondicionador para madera y hormigón.
FAM – blends Resina furano epoxídica

Los ensayos físico-químicos se realizaron según Manual de Técnicas de Ensayos del Dpto. de Polímeros del ICIDCA y los físico-mecánicos según las Normas ISO y ASTM. En la Tabla No.1 se exponen estas propiedades.

Tabla No.1 PROPIEDADES DE LAS COMPOSICIONES POLIMERICAS ESTUDIADAS

Propiedades	FURAL-Ri 1001	FAM - BLEND
Relación de mezclado en peso (resina/end)	5:1	5:1
Relación de mezclado en volum. (resina/end)	4:1	4:1
Temperatura de aplicación (ºC)	15 - 40	15 - 40
Tiempo de fraguado (h)	24	24
Tiempo útil de aplicación (min)	25 – 50	25 – 50
Tiempo de almacenamiento a T. Amb.(años)	2	2
Máxima Temperatura que resiste (ºC)	150	150
Mínima Temperatura que resiste (ºC)	- 20	- 20
Densidad (g/cm^3)	1.11 – 1.13	1.14 - 1.16
Viscosidad (cPs)	100 - 200	200 - 600
Adherencia (MPa)	45 - 50	45 - 50
Rendimiento kg/m^2	0.6 – 0.8	0.7 – 1.0
Valoración en Talleres por su laboriosidad	Excelente	Excelente

De los PALETS se tomaron muestras del tablero empleado en el mismo, preparando probetas de 250 X 25 mm, así como de 25 X 25 mm. Las probetas fueron separadas en los 4 Grupos antes mencionados **T, A, B, AB** en cantidades de 5 a 10 probetas por ensayo, de forma de poder evaluar con confiabilidad estadística sus resultados. La forma de aplicación de la capa de recubrimiento a evaluar fue a brocha y se

tomaron como datos el peso inicial de la probeta, el peso final, el área y la variación de las dimensiones después de recubierta.
Una vez seleccionado el recubrimiento atendiendo a sus resultados físico químicos y mecánicos, se procede a la aplicación del mismo sobre dos PALETS comerciales, que fueron entregados para su evaluación de explotación. Es imprescindible que podamos disponer los siguientes resultados de vuelta, Tiempo de uso, cargas soportadas, humedad y temperatura de los almacenes o locales de estiba, así como cualquier otra que sea de interés, como retroalimentación de este estudio y poder lograr una solución optimizada.

RESULTADOS Y DISCUSION

La siguiente Tabla muestra los resultados de las propiedades ensayadas a estas probetas. La columna **N** se corresponde a los valores reportados por la Norma para este tipo de Tablero.

Tabla No.2 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE LOS TABLEROS ESTUDIADOS

PROPIEDADES	N	T	A	B	AB
Densidad (g/cm²)	650 ± 50	602	594	632	634
Resist. a la Flexión (N/mm²)	13	11	12	**14**	**14**
Modulo a la Flexión (N/mm²)	1600	1115	1038	1086	914
R. Tracción Perpendicular (N/mm²)	0.35	0.3	**0.46**	**0.37**	**0.45**
Dilatación en 24 horas (%)	18	22	18	19	**14**
Absorción en 24 horas (%)	No rep.	82	**67**	**66**	**65**
Consumo recubrimiento (kg/m²)	No rep.		0.5	0.5	1.0
Δ Dimensiones después de recub.	No rep.		0	0	0
Costo adic. Materiales por m² ($)			2.60	1.90	4.50

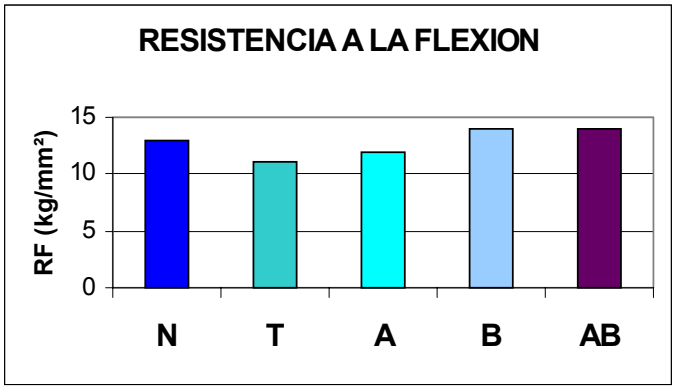
Puede apreciarse en la Tabla que el tablero testigo **T** no llega a cumplir las especificaciones de la Norma **N** no así para los tableros recubiertos cuyos parámetros están dentro de la Norma o la mejoran.

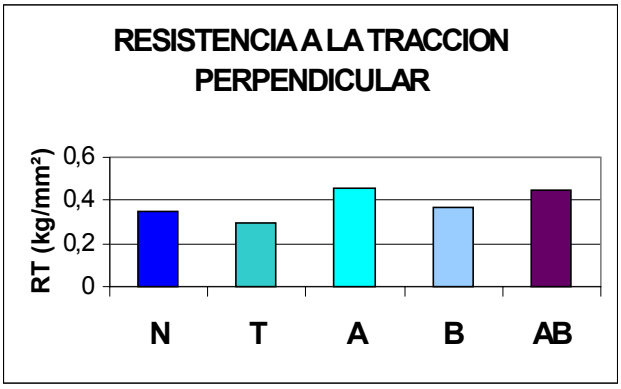
La Tabla No.3 muestra el efecto del recubrimiento sobre las propiedades, aquí se exponen en por ciento (%) en cuanto afecta a cada propiedad considerando el tablero recubierto contra el testigo **T** o contra la norma **N**.

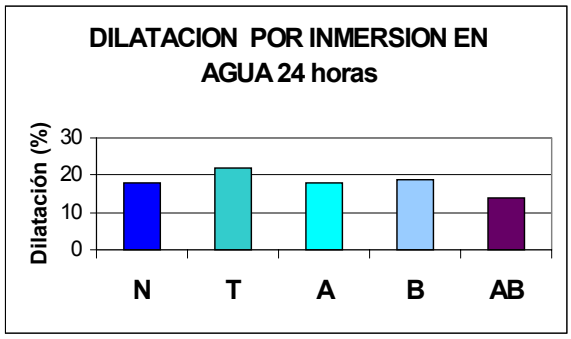
Tabla No.3

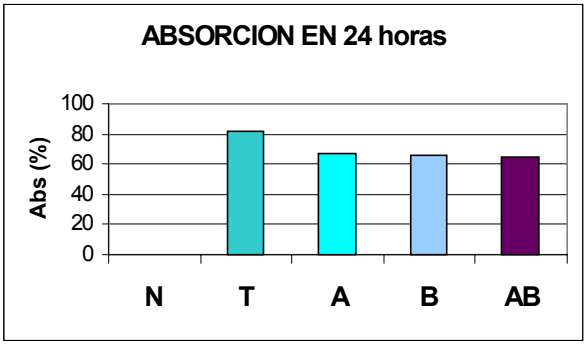
PROPIEDADES	A/T (%)	B/T (%)	AB/T (%)	A/N (%)	B/N (%)	AB/N (%)
Resist. a la Flexión	**+ 9**	**+ 27**	**+ 27**	**- 8**	**+ 8**	**+ 8**
R. Tracc. Perpend.	**+ 53**	**+ 23**	**+ 50**	**+ 31**	**+ 6**	**+ 29**
Dilatación en 24 horas	**- 18**	**- 14**	**- 21**	**----**	**----**	**- 22**
Absorción en 24 horas	**- 18**	**- 18**	**- 21**	**----**	**----**	**----**

Los resultados relacionados con las propiedades más significativas son presentados en las siguientes gráficas.









Desde el punto de vista económico podemos observar de la Tabla No.2 que el tratamiento **AB** es el de mayor valor, pero es el que garantiza mejor las propiedades del tablero, el tratamiento **B** a pesar de ser el de más bajo valor es el que le sigue en propiedades al tratamiento **AB**. Es precisamente este recubrimiento el seleccionado para ser empleado en los PALETS comerciales.

CONCLUSIONES

- La aplicación de composiciones poliméricas del tipo furano-epoxídica, como recubrimiento de los tableros es apropiado, pues permite disminuir la absorción y dilatación del tablero e incrementar modestamente las propiedades mecánicas de los mismos.
- El tratamiento **AB** es el más eficiente pues que logra disminuir en más de un 20 % valores de Dilatación y Absorción de agua, así como incrementar de forma sustancial las propiedades de resistencia a la flexión y de tracción perpendicular. El tratamiento que le sigue en eficiencia es el **B,** que además es el de menor costo.
- El incremento del costo de materiales por PALETS va desde $ 2.29 hasta $ 5.41 en los recubrimientos estudiados.
- El tratamiento seleccionado para aplicar a los PALETS comerciales fue el **B**, recubriéndose PALETS comerciales para su evaluación en explotación.
- Se espera de vuelta toda la información correspondiente con la evaluación en la explotación de los PALETS recubiertos, para lograr optimizar los resultados alcanzados. Entre los datos deben estar: Tiempo de uso, cargas soportadas, humedad y temperatura de los almacenes o locales de estiba, así como cualquier otra que sea de interés.
- Estos resultados pueden ser superados una vez que se tenga la información de explotación y optimizar el empleo de los recubrimientos y de las propiedades físico mecánicas y químico físicas de los PALETS.
- La actividad de recubrimiento con las resinas furano epoxídicas puede ser empleada y evaluada en tableros moldeados, tableros para encofrados, para divisiones, para contenedores, etc.

REFERENCIAS

- Gómez, A., Castillo, J., Padrón, A., Bermello, A., Cabrera, del Valle, M. (1994); Patente Cubana "Resinas furano-epoxídicas y su procedimiento de obtención". Certificado N°. 22 355,6 Dic. ICIDCA).
- Gómez, A. y otros (2000). Polímeros para la Construcción. (Cuba). Libro de Resúmenes SLAP 2000, 10-C18, pág. 364.
- Gómez, A. y otros (2002). Estudio de Propiedades Mecánicas en Polímeros Furánicos. Aplicaciones. (Cuba). 17 Conferencia de Química de la Univ. De Oriente, IQ - P23, ISBN: 959-207-083-0.
- Dopico, M. y otros (2001). Propuesta de un sistema de aseguramiento de la calidad para los servicios de aplicación de los productos FURAL. (Cuba). Rev. ICIDCA Vol XXXV (1) pp. 3,4.
- Suárez, J. C.; López, F. (2000). "Uniones Adhesivas Estructurales". (España). CYTED RED TEMATICA VIII.D, UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, E.T.S. INGENIEROS NAVALES

"EVALUACION DE MATRICES POLIMERICAS FURANOEPOXIDICAS"

"EVALUATION OF FURAN EPOXY POLIMERIC MATRIX"

Jorge Luis García González, Andrés Gómez Estévez, Arelys Rodríguez Padrón
Yanelis Carvajal Escamilla, Migdalia Dopico Paz, María Elena Rodríguez Dorrego
Pablo Sosa Pérez, Francisco Diez Torres.

ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar)
Email: agomez@icidca.edu.cu

RESUMEN
En la actividad de mantenimiento y recuperación de piezas de repuesto, la técnica por resinas o pegamentos es muy versátil, con ella se puede dar solución a disimiles problemas que van desde la regeneración de partes pérdidas, fracturas en piezas tipo cuerpo, recargue, pegado de piezas y revestimientos resistentes al desgaste. El objetivo final de nuestra investigación es llegar a composiciones poliméricas resistentes a los desgastes abrasivos y por fricción. En este trabajo se evaluaron matrices furano-epoxídicas que deben cumplir determinadas exigencias de adhesividad, propiedades mecánicas y propiamente de resistencia al desgaste, para a partir de las matrices seleccionadas lograr las composiciones de alta resistencia. Este estudio ha permitido con un mínimo de recursos y tiempo alcanzar resultados significativos para lograr al final los productos deseados. Se emplearon técnicas de diseño experimental, ensayos normados y una técnica desarrollada para poder determinar a escala de laboratorio la resistencia al desgaste de cada uno de los puntos experimentales.

Palabras claves: Polímeros furano epoxídicos, propiedades físico mecánicas

ABSTRACT
In the maintenance activity and recovery of spare parts, the technique for resins or pastes is very versatile, with her one can give solution to dissimilar problems that go from the regeneration of parts losses, fractures in pieces type body, recharge, hit on pieces and resistant linings to the waste. The final objective of our investigation is to arrive to polymeric compositions resistant to the abrasive waste and for friction. In this work furan-epoxy matrices were evaluated, that should complete certain demands of adhesiveness, mechanical properties and properly of resistance to the waste, it stops starting from the selected wombs to achieve the compositions of high resistance. This study has allowed with a minimum of resources and time to reach significant results to achieve at the end the wanted products. They were used technical of experimental design, standard test and a technique developed to be able to determine to laboratory scale the resistance to the waste of each one of the experimental points.

Key words: Furans epoxy polymers, physical mechanical properties

INTRODUCCION

La destrucción de una superficie por los procesos de desgaste se manifiesta generalmente, por la separación de partículas del material que van desde unas pocas fracciones de milimicras hasta unas decenas. Este fenómeno conocido como desgaste motiva la disminución en las dimensiones y alteraciones de la forma geométrica de la pieza, llevando a la misma a la falla o deficiencias técnicas. El desgaste es un proceso complejo que puede ser analizado como un sistema Sanka, A. D., (1980), Chijos, X (1982); Martínez, F (1993), donde concurren diversos factores, la naturaleza del material y de los cuerpos deslizantes, tamaño, carga, condiciones de trabajo, etc.

El conocer la causa del desgaste permite una adecuada selección de los materiales, así como de la tecnología de recuperación a emplear, asegurando la calidad y el éxito del reacondicionamiento, aspectos de vital

importancia cuando se desea desarrollar una composición polimérica para el mantenimiento y recuperación de piezas Ortiz, O (1993); Gómez, A (1993), Dopico, M. (2002)).

De lo descrito con anterioridad se puede constatar, que para lograr materiales de calidad, en el reacondicionamiento de piezas desgastadas por fricción o abrasión, no es suficiente conocer la naturaleza y posibilidades de los mismos, sino, que es también necesario definir las condiciones de trabajo para su segura explotación.

El presente trabajo trata sobre la evaluación de nuevas matrices poliméricas furánicas, que posean propiedades adecuadas para formular con ellas composiciones poliméricas, que permitan el reacondicionamiento de piezas sometidas a desgastes por fricción y abrasión. Pérez, N. (1993), González, J. L. (1993), Gómez, A. (1992)

Desde el punto de vista químico, una resina no es más que una mezcla de polímeros de bajo peso molecular en estado líquido o en solución, por cuanto definir como resina a los productos que se emplean en la tecnología de reacondicionamiento no es lo más aceptable. Lo que generalmente se denomina resina en esta tecnología no es más que una composición polimérica, la cual está constituida por una matriz, que contiene la parte orgánica y por rellenos que pueden ser cargas, refuerzos, modificadores, endurecedor, etc. Gómez, A. (2003)

Entre las matrices más empleadas se encuentran la epoxídica; la fenólica; poliéster; alquídicas; gomas sintéticas y naturales. Los polímeros furánicos poseen una alta estabilidad térmica y química pero no poseen la adherencia de las epoxídicas.

Las resinas furano-epoxídicas a evaluar se obtienen en un proceso de síntesis que involucra a los monómeros furánicos y epoxídicos dando lugar a las resinas FAM, con cualidades superiores a la de los polímeros obtenidos a partir de estos monómeros por separado, o sea, a las resinas furánicas y las resinas epoxídicas. Gómez, A (1992, 2003)

Esta matriz desde el punto de vista transformativo se clasifica como termoestable y químicamente es un polímero furano-epoxídico.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se utilizaron los materiales y equipos siguientes :

Materiales Utilizados

1) Resina FAM
2) Resina GY – 250 de la CIBA
3) Endurecedor HY – 943 de la CIBA
4) Alcohol Furfurilico
5) Lija del tipo Grain Lije 100 Aluminiun Oxide White

Equipos Empleados

1) Balanza Analítica
2) Balanza Técnica
3) Cronometro
4) Durómetro
5) Micrómetro
6) Termómetro
7) ALWETRON TCT 10 — Equipo de ensayo físico mecánicos universal
8) TIRATEST 2300 — Equipo de ensayo físico mecánicos universal

Se establecieron dos diseños experimentales 2^3, los dos se basan en mezclas de resinas, monómero reactivo y endurecedor, la resina base en el primero es la resina epoxy GY-250, en el segundo la resina base es la furano epoxídica FAM, en los diseños experimentales descritos las variables independientes y rango son los mostrados a continuación:

1er Diseño

Variables Independientes	***N.Superior***	***Rango N.Central***	***N.Inferior***
X1 [Endurecedor HY-943] (%)	+1 (20 %)	0 (15 %)	-1 (10 %)
X2 [Alc. Furfurílico] (%)	+1 (5 %)	0 (2.5 %)	-1 (0 %)
X3 [Resina FAM] (%)	+1 (10 %)	0 (5 %)	-1 (0 %)

2do Diseño

Variables Independientes	***N.Superior***	***Rango N.Central***	***N.Inferior***
X1 [Endurecedor HY-943] (%)	+1 (25 %)	0 (20 %)	-1 (15 %)
X2 [Alc. Furfurílico] (%)	+1 (5 %)	0 (2.5 %)	-1 (0 %)
X3 [Resina GY-250] (%)	+1 (10 %)	0 (5 %)	-1 (0 %)

Las variables dependientes o respuestas estudiadas fueron:

W- Resistencia al desgaste (m/g) RF- Resistencia a la Flexión (MPa) D- Dureza (Hb)

RT- Resistencia a la Tracción (MPa) RC- Resistencia a la Compresión (MPa)
AC- Adherencia al Cizallamiento (MPa) AT- Adherencia a la Tracción (MPa)
DA- Densidad Aparente (g/cm^3) TV- Tiempo de Vida (minutos)
Texo- Temperatura Exotérmica (ºC)

Para estudiar la Resistencia al Desgaste (W), se establece la siguiente metodología que permite su estudio de forma relativa, al nivel de laboratorio.

Metodología del ensayo de resistencia al desgaste .

Confección de las probetas para el ensayo:

Para la realización de este ensayo se seleccionaron especímenes de 2x2x2 cm, los que tienen dimensiones que se ajustan al propósito del ensayo, por tener una superficie de contacto de 4 cm^2 , así como posibilidad de agarre y aplicación de presión sobre la probeta para su deslizamiento sobre la superficie abrasiva a velocidad fija. Las probetas se confeccionaron en moldes de acero. A las probetas antes mencionada se les realizan determinaciones de dimensión y peso iniciales que se corresponden con las condiciones iniciales del ensayo, para posteriormente repetir estas determinaciones a los 5 m de trayectoria recorrida por la probeta sobre la superficie abrasiva, a los 6 m, a los 7, 8, 9 y 10 m respectivamente.

Medio abrasivo utilizado en el ensayo

El medio abrasivo utilizado es una lija del tipo Grain Lije 100 Aluminiun Oxide White. Acondicionando el pliego de esta lija a las dimensiones de 20 x 8 cm, posteriormente se marcan así en el pliego dimensionado tres carriles con 3 cm de ancho por los 20 cm de longitud, estos carriles en su longitud se hacen coincidir con el sentido del eje marcado por el fabricante para ejecutar el lijado, por lo que cada probeta se hará deslizar sobre cada carril en el sentido orientado por el fabricante, cada uno de los tres carriles marcado en el pliego dimensionado se emplea para una sola probeta, o sea para cada uno de las tres replicas que de cada punto experimental se estudiaron.

Descripción del ensayo

En la realización del ensayo se tuvieron siempre en cuenta tres parámetros:

- El sentido de dirección constante.
- Aplicar una presión de 4N $\mp$ 0.5 sobre la probeta.
- Imprimir una velocidad lineal de 0.2 $\mp$ 0.05 m/s

Por cada punto experimental se ensayan tres probetas de las dimensiones antes descritas, a las mismas se les realizan determinaciones de dimensión y peso iniciales que se corresponden con las condiciones iniciales del ensayo, para posteriormente repetir estas determinaciones a los 5 m de trayectoria (L) recorrida por la probeta sobre la superficie abrasiva, a los 6 m, a los 7, 8, 9 y 10 m respectivamente. Con los datos obtenidos se procede a determinar la Intensidad de Desgaste (I), según:

I=(Pn - Po)/Ln donde: Pn - Peso final de la trayectoria "n" en gramos
Po - Peso inicial antes del ensayo, en gramos
Ln - Trayectoria "n" recorrida en metros

La resistencia al desgaste se calcula según:

W= 1/I se expresa en m/g

Posteriormente se procesa la data y se toman los promedios por punto experimental y se gráfica W vs L (Trayectoria), con el análisis de la tendencia hacia trayectorias mayores.

El resto de los ensayos químico físicos se realizan según el manual de Técnicas del Laboratorio de Polímeros del ICIDCA, que se basan en ensayos y determinaciones normadas.
Los ensayos físico mecánicos según las Normas ISO correspondientes.
Las características de estas resinas se muestran en la siguiente Tabla No.1:

Tabla No.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

PROPIEDAD\MATERIAL	FAM-I	GY-250
Viscosidad cPs	2000 – 3000	9000 – 12000
Densidad g/cm^3	1,16 - 1,17	1,15 - 1,16
Peso seco %	70 – 75	70 – 75
Punto de gel (segundos) a	5 – 12	---------
Tiempo de vida (minutos) b	40 – 50	20 - 25

Resist. a la Tracción MPa c	9 – 15	7 - 10
Adherencia MPa c	8 – 11	10 - 15

a a 170 ^{0}C con 12 % de ác. bencensulfónico (ABS)
b a temperatura ambiente con 15% de Polietilenpoliamina
c resina sin carga

Propiedades del Alcohol Furfurílico

Punto de ebullición (ºC)	170
Indice de refracción (20/D)	1.4868
Calor especifico (cal/g) (1)	0.502
Viscosidad (cPs) (2)	4.62

Propiedades del HY-943

Viscosidad cPs	3400 - 4500
Densidad g/cm^3	1.08 – 1.09

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Del primer diseño experimental, en que el mayor componente de las mezclas es la resina GY-250, pueden observarse los valores promedios de los resultados en la Tabla No2

Tabla No.2 Resultados del 1er diseño experimental

Lo primero a destacar de la Tabla anterior es la falta de valores de RC, RF y RT para el Punto 3 del diseño, debido a la fragilidad de la muestra.

En cuanto a los parámetros para seleccionar las matrices candidatas, para formular con estas las composiciones resistentes al desgaste, se toma en consideración las que cumplan los mejores valores o al menos un compromisos entre los más altos de las siguientes variables:

W	Imprescindible para las composiciones resistentes al desgaste abrasivo y por fricción
RC	IDEM
AC y AT	IDEM
D	IDEM, pero de mayor importancia para la resistencia a la abrasión
RF y RT	Principalmente para composiciones resistentes a la fricción
TV y Texo	Deben ser reactivas y no generar altas temperatura en el curado
DA	Este parámetros da índice del grado de polimerización que se alcanza en el curado

Así, la selección de los puntos candidatos del primer diseño son:

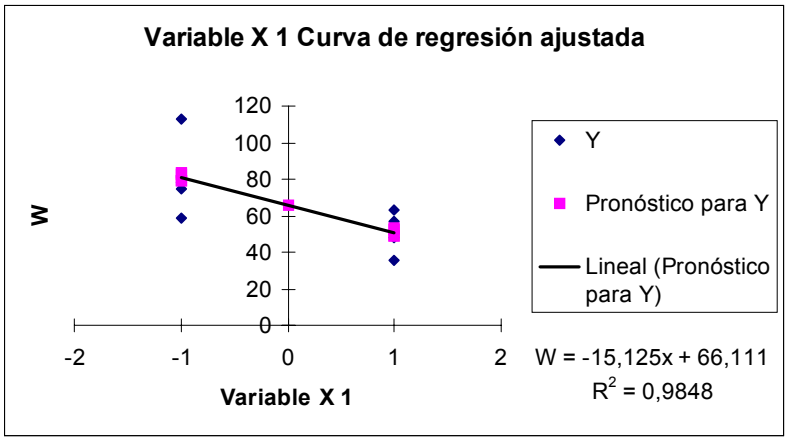
Primer Nivel: 2 (X1= -1; X2= +1; X3= +1)

Segundo Nivel: 6 (X1= -1; X2= +1; X3= -1) y el Central (X1= 0; X2= 0; X3= 0)

Pto.	X1	X2	X3	W	RC	RF	RT	D	AC	AT	DA	TV	Texo
1	1	1	1	36	232	69	43	425	5	1,1	1,31	15	100
2	-1	1	1	113	229	2	5	447	5,9	4	1,27	58	60
3	1	-1	1	57	209	44	28	425	2,9	2	1,28	35	110
4	-1	-1	1	59				184	5,1	2	1,24	90	36
5	1	1	-1	48	242	80	38	329	4	2	1,07	22	150
6	-1	1	-1	75	239	31	17	244	8,8	1,3	1,28	60	57
7	1	-1	-1	63	193	39	18	118	4,1	1,8	1,22	30	160
8	-1	-1	-1	78	103	35	11	212	5,5	1,2	1,29	60	78
C	0	0	0	66	248	52	30	318	4	1,8	1,29	33	132

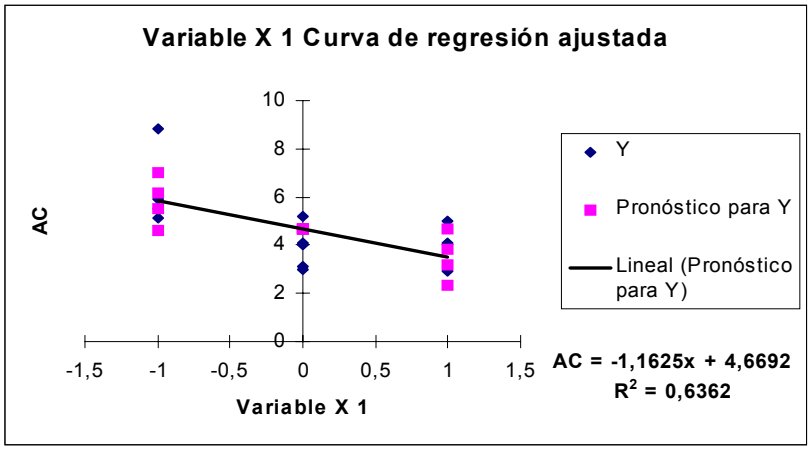
Tercer Nivel: 8 (X1= -1; X2= -1; X3= -1) y el 3 (X1= +1; X2= -1; X3= +1)

Esta selección se realiza sobre los mejores valores como se describió con anterioridad, debido a que el análisis estadístico del diseño no resultó bueno para describir la influencia de las variables independientes

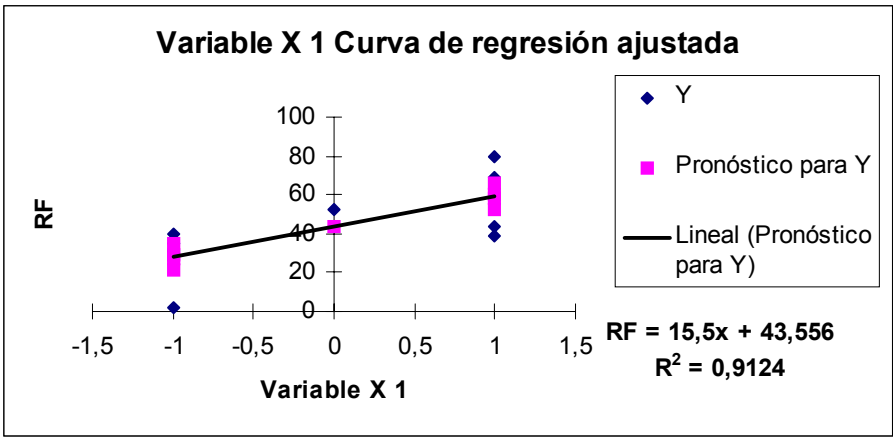


Gráfica No.1

sobre todas las variables respuestas, al menos en el rango seleccionado para las primeras, no obstante la variable X1 ([Endurecedor]) resulta la que más influye sobre W, AC . Las Gráficas No.1, 2 ejemplifican este efecto.

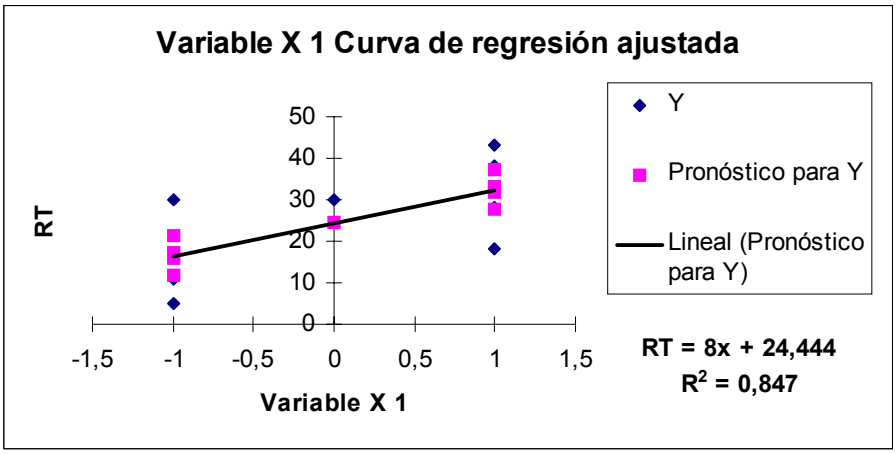


Gráfica No.2



Gráfica No.3

El efecto de X1 sobre RF y RT se muestran en las Gráfica No.3 y 4



Gráfica No.4

Las ecuaciones resultantes para el resto de las variables dependientes restantes, se muestran a continuación:

RC= 205 + 19.4 X1 + 35.9X2 + 5.4 X3 **Coef. Correlación = 0.84**
AC= 5.03 – 1.16 X1 + 0.76 X2 – 0.44 X3 **Coef. Correlación = 0.86**
D= 300 + 26.3 X1 + 63.3 X2 + 72.3 X3 **Coef. Correlación = 0.84**
TV= 44.78 – 20.75 X1 – 7.5 X2 + 3.3 X3 **Coef. Correlación = 0.94**
Texo= 98.11 + 36.13 X1 – 2.13 X2 – 17.38 X3 **Coef. Correlación = 0.92**

De las ecuaciones anteriores puede destacarse que existe un incremento de RC y D al aumentar las concentraciones de Endurecedor (X1), Monómero reactivo (X2) y de resina FAM (X3). La adherencia al cizallamiento (AC) se incrementa con la disminución de X1 y X3, para la adherencia en tracción (AT) el diseño no ajusta y no hay influencia de las variables independientes sobre las respuestas. El tiempo de vida (TV) aumenta con la disminución de X1 y X2, o sea la matriz se hace menos reactiva y la temperatura exotérmica (Texo) decrece con la disminución de X1 y el aumento de X2 y X3.

Los resultados del segundo diseño se muestran en la Tabla No.3

Tabla No.3 Resultados del 2do diseño experimental

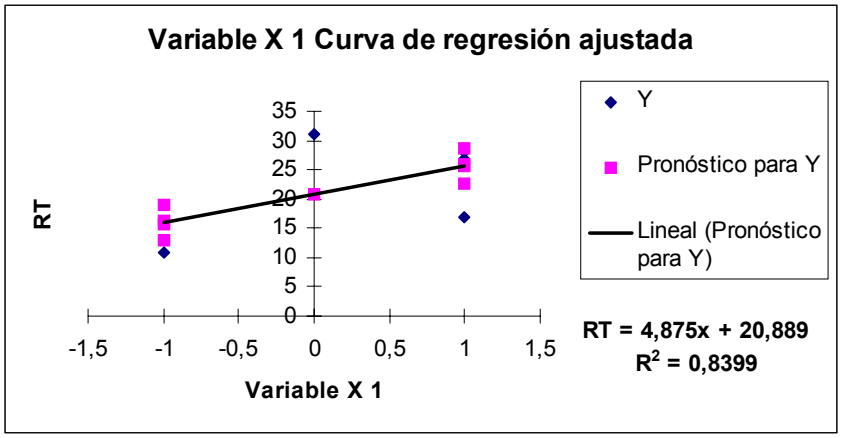
La selección de los puntos candidatos del segundo diseño son:
Primer Nivel: 3 (X1= +1; X2= -1; X3= +1) y el Central (X1= 0; X2= 0; X3= 0)

Pto.	X1	X2	X3	W	RC	RF	RT	D	AC	AT	DA	TV	Texo
1	1	1	1	75	218	61	17	166	4	2	1,3	120	50
2	-1	1	1	46	116	16	16	29	8	3	1,32	115	30
3	1	-1	1	70	276	56	27	92	4	2		70	55
4	-1	-1	1	37	128	46	13	248	5	2	1,25	110	30
5	1	1	-1	49	132	32	28	130	5	1	1,36	83	40
6	-1	1	-1	52	268	9	11	204	5	1		135	50
7	1	-1	-1	29	235	11	26	146	7	2	1,31	85	35
8	-1	-1	-1	53	246	45	19	106	5	2		165	45
C	0	0	0	55	218	47	31	267	5	3	1,17	95	37

Segundo Nivel: 1 (X1= +1; X2= +1; X3= +1) y el 8 (X1= -1; X2= -1; X3= -1)
Tercer Nivel: 6 (X1= -1; X2= +1; X3= -1)

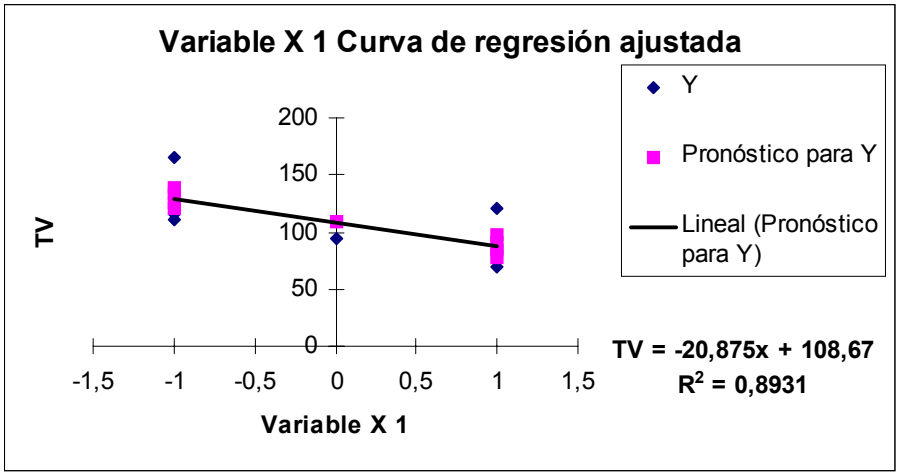
Esta selección al igual que en el primer diseño se realiza sobre los mejores valores, como se describió con anterioridad, debido a que el análisis estadístico del diseño no resultó bueno para describir la influencia de las variables independientes sobre todas las variables respuestas, al menos en el rango seleccionado para las primeras. La variable X1 ([Endurecedor]) resulta la que más influye sobre RT y TV . Las Gráficas No.5 y 6 ejemplifican este efecto.

Un incremento del Endurecedor (X1), eleva la Resistencia a la Tracción (RT) de la matriz, como lo



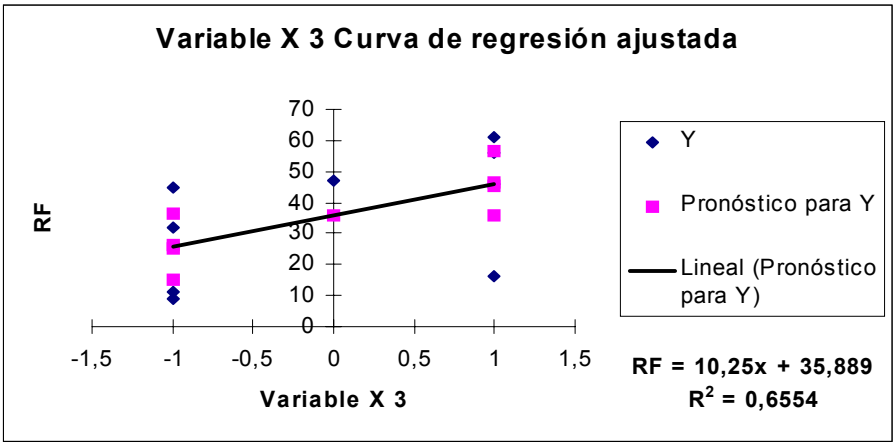
Gráfica No.5

muestra la ecuación ajustada que aparece en la Gráfica.
Para las variables respuestas W, RC, D y AC el diseño no resulto adecuado, no hay influencia de las variables X1, X2 y X3

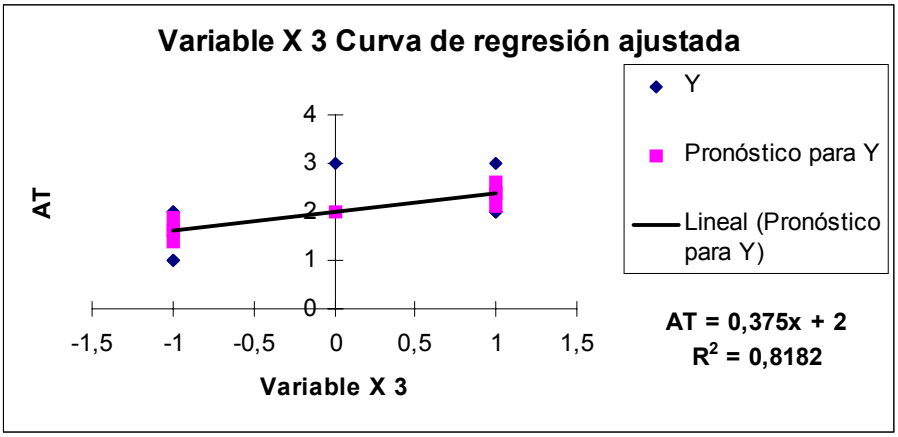


Gráfica No.6

La variable X3 ([resina FAM]) resulta la que más influye sobre RF y AT. Las Gráficas No.7 y 8 ejemplifican este efecto.



Gráfica No.7



Gráfica No.8

De cada diseño experimental se han seleccionado 5 puntos experimentales, estas corresponden con la exigencias de propiedades físico mecánicas y físico químicas requeridas para la formulación de composiciones poliméricas resistentes al desgaste, de hecho las 10 matrices superan las propiedades de las matrices con que se desarrollaron las composiciones poliméricas antiabrasivas y antifriccionantes FURAL y que poseen propiedades semejantes a las comerciales de su tipo.

CONCLUSIONES

- Se estudiaron a través de dos diseños experimentales 2^3, mezclas de resinas, las que debían cumplir exigencias físico mecánicas y químico física, que les permitiera ser seleccionada para su posterior formulación como composiciones poliméricas resistentes al desgaste.
- Un método para evaluar la resistencia al desgaste (W) al nivel del laboratorio fue implementado.
- Para la selección de las matrices candidatas y formular con estas las composiciones resistentes al desgaste, se tomó en consideración las que cumplan los mejores valores o al menos un compromisos entre los más altos de las siguientes variables:

W	Imprescindible para las composiciones resistentes al desgaste abrasivo y por fricción
RC	IDEM
AC y AT	IDEM
D	IDEM, pero de mayor importancia para la resistencia a la abrasión
RF y RT	Principalmente para composiciones resistentes a la fricción
TV y Texo	Deben ser reactivas y no generar altas temperatura en el curado
DA	Este parámetros da índice del grado de polimerización que se alcanza en el curado

- Se seleccionaron 10 matrices, 5 de cada diseño experimental evaluado, con las que se continuará trabajando en la formulación con rellenos, modificadores y refuerzos para lograr las composiciones resistentes al desgaste.

REFERENCIAS:

Sanka, A.D.; 1980 Fricción y desgaste; Ed.: Academic Press, Londres.

Chijos, X.; 1982; Análisis sistemático en la tribotécnica; Ed.: MIR, Moscú.

Gómez, A., 1992, Resinas furano epoxídicas y su procedimiento de obtención, Certificado de Autor de Invención No. 22 355

Martínez, F.; 1993; Capitulo "Desgaste", Manual de recuperación de piezas; Ed.: Científico Técnica, C. Habana.

Ortiz, O.; 1993; Capitulo "Ingeniería de materiales de la recuperación de piezas, Manual de recuperación de piezas; Ed.: C. Técnica, C. Habana.

Gómez, A.; 1993, Cementos metálicos; Conferencia en el III Seminario Internacional Sobre Azúcar y Derivados, C. Habana.

Pérez, N.; 1993, Valoración de la resistencia a la abrasión de la resina cubana; Tesis de Diploma Universitario, ISPJAE, C. Habana.

González J.L.; 1993, Estudio de resinas cubanas para el reacondicionamiento en piezas sometidas al desgaste de fricción; Tesis de Diploma Universitario, ISPJAE, C. Habana

Relación de Normas ISO, DIN y ASTM, relacionadas con los ensayos físico-mecánicos.

Dopico, M., Gómez, A., 2002, Estudio de polímeros furánicos para aplicaciones resistentes al desgaste, 17ma Conferencia de Química, Univ. Oriente

Gómez, A., 2003, Composiciones de base polimérica furano epoxídicas, desarrollo y aplicaciones, II Conferencia Internacional de Química Universidad Central.

LINTER DE CELULOSA COMO SOPORTE DE HERBICIDA DE ACCIÓN CONTROLADA
(CELLULOSE LINTER AS SUPPORT OF CONTROLLED RELEASE HERBICIDE)

Carmen Viltres Costa, María N. Lores Nápoles, Ariané Gutiérrez Castresana, Deborah Galarraga Ramos

Dpto. Química Fina, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. e-mail: cviltres@icidca.edu.cu

Resumen

La aplicación de productos químicos en la agricultura por medios convencionales, es muchas veces dañina y además causa grandes problemas ambientales. Una de las vías para solucionar o minimizar estos problemas es la formulación de sistemas de liberación controlada, la que ofrece grandes ventajas económicas. Esta técnica tiene un gran atractivo desde el punto de vista ecológico, si se compara con los métodos tradicionales en los que se aplican sobredosis para garantizar la efectividad del herbicida.

En este trabajo se estudia la inserción del cloruro del ácido 2,4-diclorofenoxiacético en linter de celulosa empleando un baño de ultrasonido como un método de síntesis no convencional y se compara con el método tradicional de preparación del polímero sustituido.

Para estudiar varios de los factores que afectan la velocidad de liberación del bioactivo, se realizaron experimentos de liberación a diferentes pH con los compuestos obtenidos de la reacción con diferentes grados de sustitución. El estudio de la hidrólisis en fase heterogénea de los aductos sintetizados demostró que la liberación del compuesto activo depende del carácter hidrolítico de los polímeros y el pH del medio.

Palabras Claves: herbicida de acción controlada, ácido 2,4-D, linter de celulosa

Abstract

The application of chemical products in agriculture for conventional methods, is harmful and also cause big environmental problems. Formulation of controlled release is one of the ways to solve or to minimize these problems, it offers big economic advantages. This technique has a great attractiveness from the ecological point of view, if it is compared with the traditional methods in those that overdose is applied to guarantee the effectiveness of the herbicide.

The insert of the chloride of the dichlorophenoxyacetic acid in cellulose linter using an ultrasound bathroom to activate the reaction was studied in this work, in comparison with the traditional method of preparation of the substituted polymer.

In order to study several of the factors that affect the speed of liberation of the bioactive, liberation experiments to different pH with the obtained compounds of the reaction with different substitution grades were carried out. The study of the hydrolysis in heterogeneous phase of the synthesized compounds demonstrated that the liberation of the active compound depends on the hydrolitic character of the polymers and the pH of the media.

Keywords: controlled release herbicide, 2,4-D acid, cellulose linter

Introducción

La aplicación de productos químicos en la agricultura por medios convencionales, es muchas veces dañina y además causa grandes problemas ambientales. Una de las vías para solucionar o minimizar estos problemas es la formulación sistemas de liberación controlada, la que ofrece grandes ventajas ecológicas y económicas.

La tecnología de liberación controlada permite la salida de un agente activo, unido física o químicamente, a un polímero a una velocidad específica durante un tiempo predeterminado. Su principal ventaja sobre los sistemas convencionales es que requiere una menor cantidad de principio activo para un período de efectividad dado, lográndose así un impacto mucho menor sobre los sistemas que no se desean combatir, por lo que tiene un gran atractivo desde el punto de vista ecológico.

En los últimos años se han estudiado los sistemas de liberación controlada que utilizan como soportes matrices poliméricas, debido a su relativo bajo costo y a sus propiedades bio-degradables (Mc Cormick, Anderson, and Hutchison, 1982; Akelah, 1996; Kenawy, 1998). En específico, el cloruro del ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), se ha unido a distintos polímeros, pero el empleo de métodos no convencionales de síntesis como el propuesto en este trabajo posibilita disminuir el tiempo de la reacción.

En este trabajo se estudia la preparación del polímero linter de celulosa modificado con el cloruro del ácido 2,4-diclorofenoxiacético empleando un baño de ultrasonido como método de síntesis no convencional y se co compara con el método tradicional de síntesis del polímero sustituido. El estudio de la hidrólisis en fase heterogénea de los aductos sintetizados demostró que la liberación del compuesto activo depende del carácter hidrolítico de los polímeros y el pH del medio.

Materiales y Métodos

El linter de celulosa usado procede de Cuba 9 y fue empleado sin previa modificación. El cloruro del ácido 2,4-D se obtuvo por el método convencional: el ácido 2,4-D (0,008 mol) y el cloruro de tionilo (0,124 mol) se reflujaron durante 10 horas usando benceno como solvente. El exceso de benceno y cloruro de tionilo se destila al final y el producto es empleado sin más purificación.

Reacción entre el linter de celulosa y el cloruro del ácido 2,4-D

- Método convencional: Se disolvieron a 70°C y con agitación magnética 1 g de linter de celulosa en 50 mL de DMSO y 10 mL de formaldehído empleando un reactor de doble camiseta termostatado durante 24 horas para lograr la disolución total. Manteniendo la misma temperatura se añadieron agitando cantidades equimolares de la base correspondiente (piridina) y el cloruro del ácido 2,4-D y se mantiene la reacción durante 8 horas. El producto se precipitó en agua destilada y se reprecipita de tetrahidrofurano secándose con pentóxido de fósforo a vacío.

- Método con ultrasonido: Un balón con 1 g de linter, 10 mL DMSO y 2 mL de formaldehído se colocó en un baño de ultrasonido a 70ºC durante 12 horas. Se añaden entonces 0,6 mL de piridina y 1,96 g de cloruro del ácido 2,4-D y se mantiene en el baño durante 6 horas. El producto se precipita en agua destilada y se reprecipita de tetrahidrofurano secándose con pentóxido de fósforo a vacío.

Caracterización de los aductos

El grado de sustitución (GS) (moles de 2,4-D por unidades monoméricas) se mide mediante la técnica hidrólisis total/determinación ultravioleta (Arranz, Bejarano y Sánchez-Chávez, 1994).

Experimentos de liberación

Los experimentos de liberación se realizaron según una técnica descrita con anterioridad (Arranz, Bejarano y Sánchez-Chávez, 1994) a pH 4,7 y 9 con las muestras del 2,4-D insertado en el linter de celulosa. Se tomaron 0,1 g de muestra y se introdujeron en una cesta permeable a la solución en que se estudia la liberación. Este recipiente se colocó en un tubo de ensayos tapado con 25 mL de solución. Los tubos se colocaron en un termostato a 30°C. En diferentes intervalos de tiempo se tomó 1 ml de solución, la que fue reemplazada por el mismo volumen de disolvente fresco. La salida del bioactivo se midió por espectroscopía UV a 281 nm.

Resultados y Discusión

Se obtuvieron compuestos con grado de sustitución (GS) 0.17, 0.34 y 0.52 por los dos métodos de síntesis empleados.

Con vistas a estudiar varios de los factores que afectan la velocidad de liberación del bioactivo, se realizaron experimentos de liberación a diferentes pH y con los compuestos de diferentes grados de sustitución. La figura 1 muestra los resultados obtenidos para la hidrólisis heterogénea a 30°C del compuesto con GS 0,34 a dos valores de pH. Como se observa, la velocidad de hidrólisis está fuertemente afectada por el pH del medio. En condiciones ácidas (pH 4.7) los aductos tienen velocidades de hidrólisis bajas, la que aumenta considerablemente al realizarse la liberación en medio básico. Estos resultados se corresponden con los obtenidos para otros agroquímicos unidos covalentemente mediante enlaces éster a soportes poliméricos (Rehab and others, 1991).

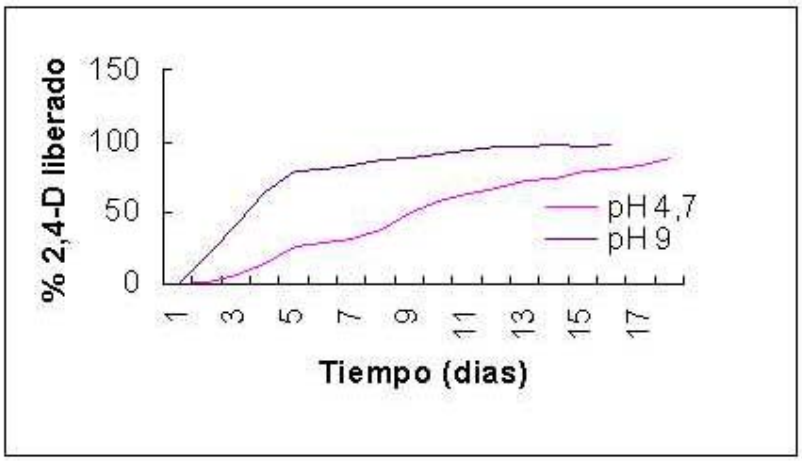


Figura 1. Influencia del pH en la velocidad de liberación del bioactivo

La figura 2 muestra la liberación de tres compuestos con GS diferentes a 30°C y pH 9.0. En este caso, la salida del bioactivo se logra más rápidamente para los aductos que poseen menor GS. Estos resultados indican que la hidrofilidad del polímero determina el comportamiento de la hidrólisis. Al disminuir la cantidad de grupos de 2,4-D presentes en la molécula, el polímero se hace más hidrofílico, lo que facilita la entrada de especies hidrolíticas a los sitios activos, aumentando la velocidad de hidrólisis.

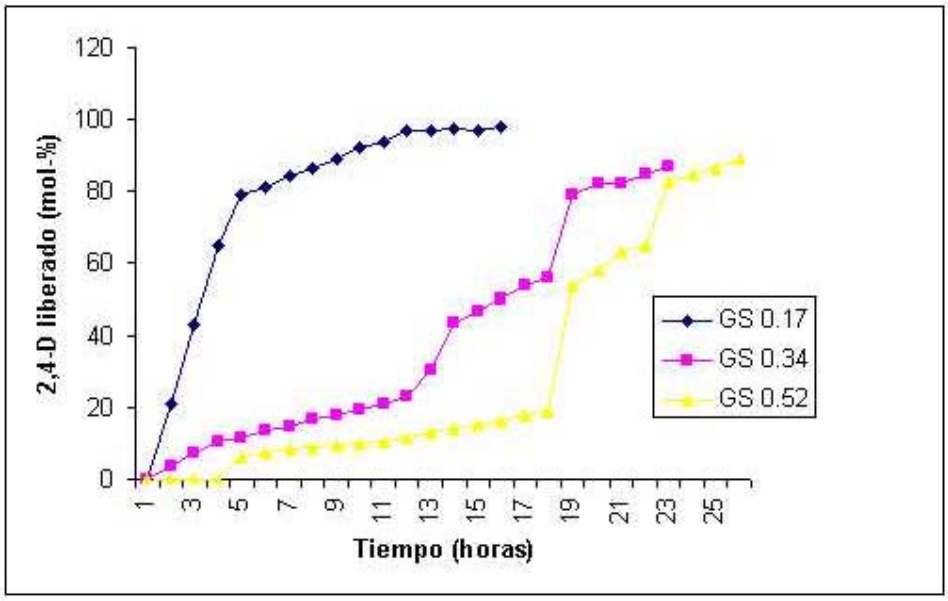


Figura 2. Influencia del grado de sustitución del polímero en la velocidad de liberación del bioactivo.

Los resultados obtenidos constituyen una base para estudios posteriores del empleo de los sistemas de liberación controlada en la agricultura. El aspecto más importante a tener en cuenta en el diseño de estos sistemas es su período de efectividad. Considerando que el sistema debe primero liberar la suficiente cantidad de herbicida para mantener el nivel mínimo de efectividad, y posteriormente mantenerlo con hidrólisis adicionales, los aductos sintetizados tienen muy buenas posibilidades como sistemas de liberación controlada.

Conclusiones

1. Se prepararon sistemas poliméricos que producen la salida controlada del ácido 2,4-D usando una sustancia biodegradable. Se empleó para ello un método barato y eficiente que implica la unión directa del cloruro del ácido 2,4-D al linter de celulosa. Como catalizador para esta reacción se empleó piridina y se estudió la obtención de los polímeros en un baño de ultrasonido.

2. La velocidad de liberación del 2,4-D depende del pH del medio, así como del balance de hidrofilidad/hidrofobicidad en el aducto.

Bibliografía

- Mc Cormick, C. L., Anderson, K.W. and Hutchinson, B. H. (1982). ***Macromol Chem Phys*** *C* Vol. 22, pp .57-87

- Akelah, A. (1996). ***Materials Sci Engineering*** *C4*, pp. 83-98

- Kenawy, E. R. (1998). ***J Macromol Sci Rev Macromol Chem Phys C38,*** pp. 365-390

- Arranz, F., Bejarano, E. M. y Sánchez-Chávez, M. (1994). ***Macromol Chem Phys*** Vol. 195, pp. 3789-3794
- Rehab, A. and others. (1991). ***J Controlled***

TRANSESTERIFICACIÓN DE ÉSTERES DEL ÁCIDO LÁCTICO EN FASE SECA, EMPLEANDO SOPORTES MINERALES

(LACTIC ACID ESTERS TRANSESTERIFICATION IN DRY MEDIA WITH MINERAL SUPPORTS)

Arlenys Ponce Verdecia, Laura Lamí Izquierdo, Carmen Viltres Costa, Mercedes Díaz Luzbet

Dpto. Química Fina, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. E-mail: arlenys@icidca.edu.cu

Resumen
La obtención de ésteres de ácido láctico es una de las opciones más interesantes en el aprovechamiento del ácido láctico, debido a que son disolventes biodegradables, no tóxicos y con elevados puntos de ebullición y además actúan como precursores en la síntesis de polímeros lácticos, de amplio mercado. Debido al consumo creciente y a las regulaciones medioambientales, el mercado de ésteres de ácido láctico tiene en la actualidad grandes posibilidades de expansión. En este trabajo se estudia la obtención de ésteres del ácido láctico mediante la reacción de transesterificación empleando técnicas de síntesis en fase sólida con sílica gel y zeolita como soportes de la reacción y horno de microondas y un baño de ultrasonido para activar el sistema. Los ésteres obtenidos se caracterizaron por espectroscopía RMN-C^{13} y HPLC.

Palabras Claves: ésteres del ácido láctico, síntesis en fase sólida, transesterificación

Abstract
Lactic acid esters production is one of the most interesting options in the use of the lactic acid, because they are biodegradable, not toxic and high boiling points solvents; and they also act as precursors in the synthesis of lactic polymers, of wide market. Due to the growing consumption and to the environmental regulations, the market of lactic acid esters has big expansion possibilities at the present time. The synthesis of esters of the lactic acid was studied through the transesterification reaction using solid phase techniques with silica gel and zeolite like supports of the reaction and microwave oven and an ultrasound bathroom to activate the system. The obtained esters were characterized by infrared spectroscopy and HPLC.

Keywords: lactic acid esters, solid phase synthesis, transesterification

Introducción

El ácido láctico (ácido 2-hidroxipropanoico), CH_3-CHOHCOOH, es el hidroxiácido más sencillo que existe conteniendo un átomo de carbono asimétrico. Es una sustancia inodora, de sabor amargo, consistencia de sirope e higroscópico, soluble en agua, éter y glicerina e insoluble en cloroformo. Es un ácido débil y poco volátil. Tanto en sus dos formas ópticamente activas: L(+) y D(-) como la forma racémica es un líquido incoloro soluble en agua o sólido de punto de fusión bajo en estado puro. (Kirk y Othmer, 1995). Se encuentra muy diseminado en la naturaleza. Es, por ejemplo, el componente principal de la leche agria (donde fue descubierto en 1780, y de donde proviene su nombre) y un componente normal en la sangre y los músculos de los animales. Se usa principalmente para la acidificación y mejoramiento del sabor de los jugos de frutas y refrescos acidulados, en la elaboración de cervezas de bajo contenido calórico, en el proceso de panificación y vinificación y como preservante en algunas

conservas. En procesos industriales se usa en el curtido de pieles, para la fabricación de fibras textiles, en el tratamiento de superficies y en la industria farmacéutica (Moo-Young, 1985).

Los ésteres del ácido láctico se utilizan como disolventes debido a sus elevados puntos de ebullición, su biodegradabilidad y no toxicidad. Se emplean como monómeros en la fabricación de poliésteres de gran aplicación en la industria farmacéutica y alimentaria (Datta y Tsai, 1997).

Estas reacciones poseen las siguientes ventajas (Bogdal, 1998):
-Ausencia de reacciones colaterales.
- Aumento de las velocidades de reacción por el incremento de la eficacia del área de reacción.
- Disminución de la energía de activación debido al sinergismo que provoca el acercamiento entre las especies reaccionantes.
- Mayor interés económico debido a la sustitución de disolventes por sólidos minerales menos costosos.
- Disminución de la contaminación por la no generación de residuales.
- Facilidad de preparación de las reacciones, por simple mezcla o impregnación de los reactivos con el soporte.

Una serie de materiales inorgánicos cumplen con gran parte de estos requisitos entre ellos se encuentran las sílices, alúminas, silico-alúminas, arcillas y zeolitas naturales y sintéticas (Bogdal, 1998)

El empleo de soportes sólidos como medio de procesos rutinarios en reacciones orgánicas se ha visto incrementado en los últimos años, sobre todo para su utilización en el desarrollo de técnicas de síntesis por microondas (M.O.) con fines preparativos.

La radiación de M.O. es una fuente de energía que se utiliza en varios campos de la química, en especial en la síntesis, debido a la eficacia y ventajas de esta nueva técnica en comparación con los métodos térmicos convencionales. En particular, en determinadas reacciones orgánicas se ha encontrado un incremento notable del rendimiento, unido a una disminución muy significativa de los tiempos de reacción (Gutierrez, 1989). La principal dificultad de su utilización en síntesis es la presencia de disolventes que provocan a menudo sobrepresiones en los recipientes de reacción, con el consiguiente riesgo. Es por ello que, recientemente, se ha diversificado su empleo a reacciones en medio seco, en las que el uso de disolventes no es preciso.

La aplicación de ondas ultrasónicas en síntesis orgánica ha despertado gran interés en muchos autores en los últimos años (Einhorn y Luche, 1989). Estas han encontrado empleo especialmente en sistemas heterogéneos sólido-líquido. Se conoce que la propagación de ondas ultrasónicas intensas en un líquido producen fenómenos de cavitación del medio (Luche y Einhorn, 1992). La serie de acontecimientos extremadamente complejos que tienen lugar, pueden ser sumarizados de una manera simple pero suficientemente, como es el debilitamiento de las fuerzas intermoleculares por la desorganización que se produce por pequeñas burbujas de líquido o de partículas de sólido las que garantizan la cohesión de las especies reaccionantes (Yosihiro, 1991).

El principal objetivo de este trabajo es la obtención de ésteres del ácido láctico mediante la reacción de transesterificación, estudiando el empleo de dos soportes sólidos: sílica gel y zeolita y dos fuentes de energía: radiación de microondas y ondas ultrasónicas. Los ésteres obtenidos se caracterizaron por espectroscopía RMN-C^{13} y HPLC.

Materiales y Métodos

Reactivos:
Acido láctico
Etanol
Isobutanol
Isopropanol

Acetona calidad técnica, purificada por destilación.
Sílica gel de G-60 mesh
Zeolita natural cubana

Equipos:
Horno microondas SANYO modelo EM 704T de 800 W.
Estufa de vacío Bioblock Scientific.
Rotoevaporador Buchi 461.
Balanza analítica Sartorius.
Baño ultrasónico Elma Transsonic T 460/H.

Caracterización:
Cromatografía de Capa Delgada. Se utilizaron placas de aluminio de 20 x 20 cm con soporte de Sílica gel G 60 mesh, como fase móvil benceno-etanol 9:1
HPLC
Espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear C^{13}

Técnicas de síntesis:
Se realizó la síntesis del éster etílico del ácido láctico de forma convencional reflujando durante 12 horas en un balón provisto de un equipo de Dean and Stark y condensador 1 mol de ácido láctico y 6 moles de etanol en benceno seco y añadiendo ácido sulfúrico como catalizador. Una vez concluida la reacción se destila el exceso de alcohol y el benceno. Se añade entonces agua a la reacción separando la fase acuosa. A esta fracción se le realizan extracciones con éter y los extractos etéreos se mezclan con la fase orgánica. Se lava con agua y con una solución de bicarbonato al 2% hasta pH neutro. Se seca entonces con $MgSO_4$. Se destila el éter y después el producto a presión reducida a una temperatura de 88-90ºC.

La técnica operatoria desarrollada para la esterificación en fase seca se describe a continuación en forma general:
Se mezcla lo más homogéneamente posible el ácido láctico, el alcohol y el soporte. También se efectúa esta operación con ayuda de un disolvente común al ácido y al alcohol, que posteriormente se recupera por evaporación (acetona).
La mezcla anterior se somete a un tratamiento térmico:

- ✓ Calentamiento convencional: durante varias horas a temperaturas superiores a 60ºC, optimizándose el proceso a 150ºC al calentar durante períodos de 8 horas.
- ✓ Calentamiento mediante radiación con microondas a 5, 10, 15 y 20 minutos a 660 W de potencia.
- ✓ Activación en un baño de ultrasonido a 70ºC durante 2, 4 y 6 horas.

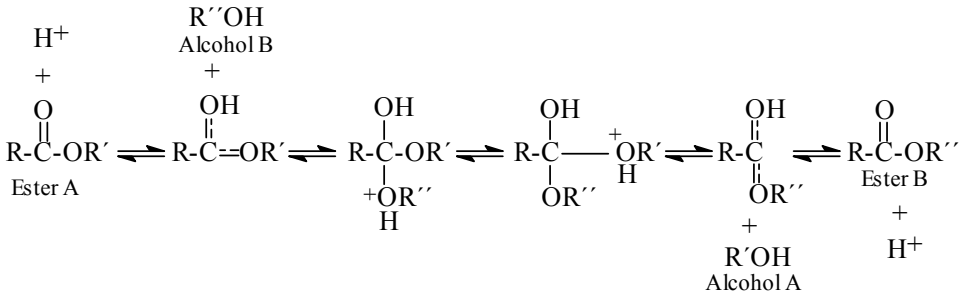
Se trabajó con los alcoholes etílico, isopropílico e isobutílico variando la relación molar y se impregnaron los reaccionantes en los dos soportes empleados: zeolita y sílica gel. Se realizaron experiencias con relación molar ácido-alcohol 1:3 y 1:6, variando también el tiempo de reacción.

Una vez obtenidos los ésteres correspondientes se procedió a realizar la reacción de transesterificación de los mismos con los tres alcoholes de estudio en el baño de ultrasonido a 70ºC a una relación molar de 1:6 durante 6 horas.

Resultados y Discusión
En la esterificación de un ácido, el alcohol actúa como agente nucleofílico; en la hidrólisis de un éster, el alcohol es desplazado por un agente nucleofílico. Conociendo esto, no es sorprendente encontrar que un alcohol es capaz de desplazar otro alcohol de un éster. Esta reacción se llama transesterificación.

$$RCCOR' + R'OH \xrightleftharpoons{H^+ \text{ or } OR''^-} RCOOR'' + R'OH$$

La reacción de transesterificación es catalizada por ácidos (H_2SO_4 o HCl seco) o bases (generalmente un ión alcóxido). El mecanismo de la transesterificación catalizada por ácidos es:



El empleo de soportes sólidos evita la presencia en la reacción de catalizadores ácidos o básicos, sin existir diferencias significativas entre el uso de sílica gel y zeolita; aunque no se puede descartar un efecto catalizador al emplear este tipo de minerales.

En la síntesis del éster etílico por la vía convencional se obtuvo un rendimiento del 59 %. La reacción en microondas arrojó excelentes rendimientos con la relación molar 1:3 y a los 10 minutos de reacción. Los ésteres obtenidos por ultrasonido presentaron un rendimiento mayor del 93% a las 4 horas de reacción. En la transesterificación de los ésteres obtenidos por ultrasonido se obtuvieron rendimientos del 88 al 91%. Un resumen de los rendimientos obtenidos con esta activación se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Rendimientos obtenidos.

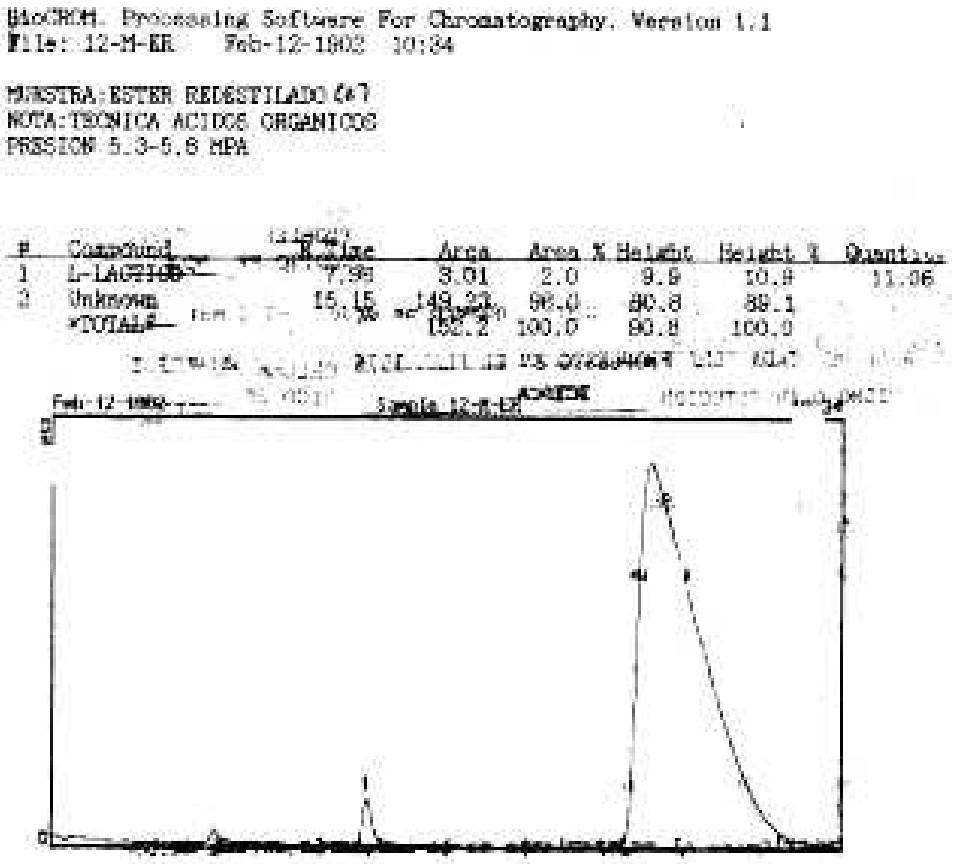
Alcohol	Relación Molar Acido-alcohol	% Rend. MW (10min)	% Rend ultrasonido (4 horas)	% Rend. Transesterificación (relac. 1:6, 6 horas)
Etanol	1:1	66	57	91
	1:3	94	95	
Isopropanol	1:1	59	55	89
	1:3	94	93	
Isobutanol	1:1	67	56	88
	1:3	95	94	

Los productos de la reacciones de esterificación y transesterificación se extrajeron para su análisis utilizando acetona, la que al evaporarse a sequedad permite obtener el producto crudo, con un elevado por ciento de pureza (95-98%).

Se utilizó cromatografía de placa delgada para seguir el avance de las reacciones y los productos obtenidos se caracterizaron por HPLC y por espectroscopía de resonancia magnética nuclear de ^{13}C.

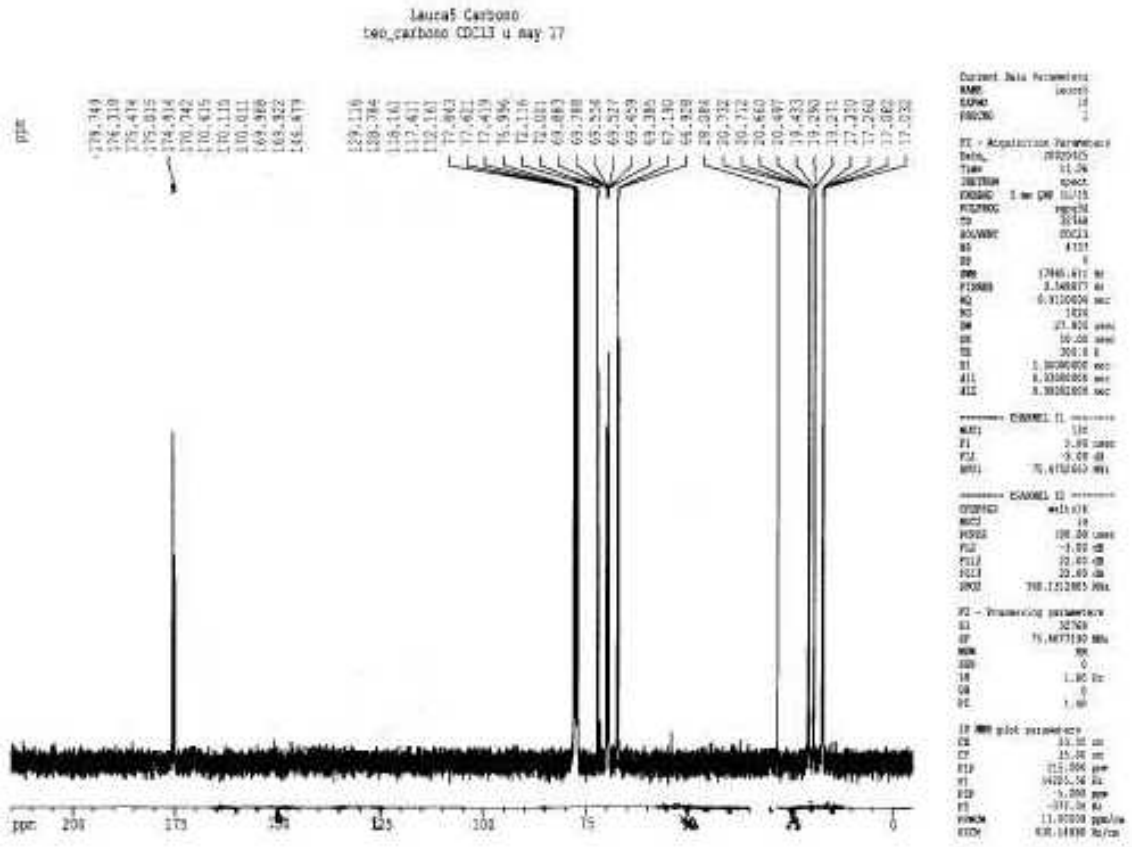
En la figura 1 se muestra el cromatograma obtenido del éster isopropílico del ácido láctico obtenido por la transesterificación del éster isobutílico del ácido láctico, donde se observa el producto con una pureza del 98%.

Figura 1. Cromatograma del ester isopropílico del ácido láctico obtenido por transesterificación.



En la figura 2 se muestra el espectro RMN C^{13} en cloroformo deuterado del éster isopropílico del ácido láctico obtenido por la transesterificación. Las señales correspondientes a los grupos metilos aparecen alrededor de los 20 ppm, los carbonos unidos a los metilos se observan entre los 64 y 75 ppm, apareciendo a mayor desplazamiento el carbinol; y el carbono del grupo éster se desblinda hacia los 174 ppm.

Figura 2. Espectro RMN C^{13} del éster isopropílico del ácido láctico obtenido por transesterificación



Conclusiones

- Se obtuvo el éster etílico del ácido láctico mediante el método convencional de esterificación con una adecuada pureza y rendimiento.
- Se obtuvieron los ésteres etílico, isopropílico e isobutílico del ácido láctico empleando un horno de microondas y un baño de ultrasonido para activar la reacción en fase seca, con excelente pureza y rendimiento.
- No existen diferencias significativas en los resultados obtenidos con los dos soportes minerales empleados: sílica gel y zeolita.
- Se obtuvieron los ésteres isopropílico, etílico e isobutílico en un baño de ultrasonido a 70ºC mediante la reacción de transesterificación con excelente rendimiento y pureza.

Referencias

- Kirk, R.E. y Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 4ª Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York (1995).
- Moo-Young, M., Comprehensive biotechnology: the principles, applications, and regulations of biotechnology in industry, agriculture and medicine, Pergamon, New York (1985).

- Datta, R. Y Tsai, S., ACS Symp. Ser., 666, 225-235 (1997)
- Bogdal D., Pielichowski J., Boron A.; Synthetic Communications 28(16), 3029-3039 (1998).
- Bogdal D., Pielichowski J., Jaskot K.; Org. Prep. Proc. Int. 30, 427-432 (1998).
- Gutiérrez E., et al.; Tetrahedron Lett. 30, 945 (1989).
- Einhorn C., Luche J. L.; Synthesis 787 (1989).
- Luche J. L., Einhorn C.; Universitie J. Fourier, Chemie Recherche, Grenoble, France (1992).
- Yoskihiro Kondoh, Akio Yamada and Satoshi Takano.; Journal of Chromatography. Elsevier Science Publishers B.V. Vol. 541, 431-441 (1991).

COLECCIÓN DE CULTIVOS DEL ICIDCA. UNA HERRAMIENTA AL SERVICIO DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

ICIDCA´S CULTURE COLLECTION: A TOOL AT THE SERVICE OF SUGAR INDUSTRY.

Aidín Martínez Sánchez; Marta de la C. León Rodríguez; Lourdes Bueno Rosell; Ricardo Gallardo Iglesias; Roxana García Gutiérrez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
aidin@icidca.edu.cu

RESUMEN

La Colección de Cultivos del ICIDCA, la cual atesora cepas de interés industrial, investigativo y docente, no exenta de dificultades económicas ha ampliado su espectro de acción en aras de lograr con calidad mayor la utilización de sus servicios.
En el presente trabajo se muestran las actividades y servicios relacionados con el mantenimiento de las cepas; suministro a la industria y a proyectos de investigación o investigaciones aplicadas; guardería y recolección de nuevas cepas, organización de cursos y entrenamientos de post-grado. Se describe además, la existencia del Catálogo de la Colección, el que permite la divulgación de esta información, así como la interacción con los usuarios.
Se reseña la conservación para cada cultivo, mediante varios métodos: cuñas de medio agarizado, liofilización, agua destilada estéril y bajo aceite mineral. De igual modo se citan las técnicas taxonómicas empleadas, tanto convencionales como de Biología Molecular que incluyen: electroforesis de proteínas y en campo pulsante; análisis de polimorfismos para fragmentos de ADN mitocondrial y amplificación por PCR y secuenciación del ADN genómico, considerados entre los métodos con mayor capacidad diferencial, fiabilidad y reproducibilidad.
Este trabajo se fundamenta en la consolidación en el ICIDCA y MINAZ de una actividad formalmente representada en la Agrupación Nacional de Colecciones de Cultivo adscripta a la ATAC, que garantiza el funcionamiento tanto de las investigaciones de la industria de los derivados de la caña, como de otras industrias fermentativas del país, sin olvidar el valor de preservar desde el punto de vista genético el potencial biológico que atesoramos, el cual forma parte del patrimonio y la cultura nacional.

Palabras claves: Colección, cultivos, mantenimiento, cepas

SUMMARY

ICIDCA´s Culture Collection stores strains with industrial, research and educational interest and despite many economic difficulties, has enlarged its spectrum in order to achieve high quality services.
Activities and services related with culture maintenance are shown in this work, such as support for industry, research projects or applied investigations; nursery and gathering of new strains, courses organization and post-graduate trainings. All this information is spread by a Collection Catalog which facilitates interaction with clients.
Conservation for each culture is pointed out by several methods (agar slants, liophylization, sterile distilled water and under mineral oil). In a same way were mentioned taxonomy techniques used, so much conventional as of Molecular Biology including: protein electrophoresis, pulsed field gel electrophoresis, analysis of restriction DNAmit fragment length polymorphisms and DNArib PCR

amplification and sequencing, considered among the methods of more differential capacity, reliability and reproducibility.

This work is based on ICIDCA and MINAZ consolidation of an activity formally represented in the Culture Collection National Grouping belonging to the ATAC, which guarantees the so much operation of sugar cane byproducts industry research, as well as other Cuban fermentative industries, without forgetting the value to preserve, genetically viewed, the biological potential that we store and forms part of our national patrimony and culture.

Key words: collection, culture, maintenance, strains

INTRODUCCIÓN

Las colecciones de cultivos en el mundo son organizaciones especialmente reconocidas, cuya función principal es la de preservar de forma idónea los cultivos de diferentes grupos microbianos, células superiores o diferentes materiales biológicos los cuales son distribuidos a petición o interés del usuario **(Bueno y Martínez, 2003; León y Gallardo, 2001; Uruburu, 1994; Kirsop, 1990).**

Los microorganismos en las colecciones de cultivo deben estar clasificados e identificados adecuadamente por lo que se emplean diferentes técnicas, desde las convencionales, hasta las más avanzadas, como las de Biología Molecular, y están dirigidas al buen funcionamiento de las mismas.

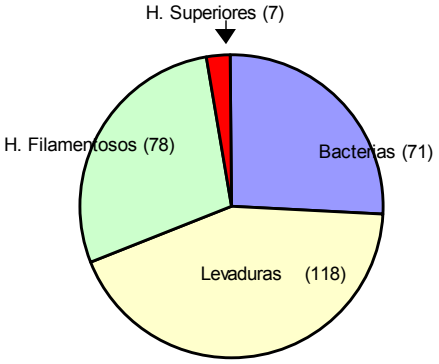
En 1965 surge la Colección de Cultivos adscripta al Dpto. de Microbiología en el ICIDCA, dada la necesidad de conservar los microorganismos aislados de diferentes materiales de la industria, para su empleo en los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico que se llevan a cabo en el centro **(Bueno; Martínez; Gallardo, 2002; Bueno; Martínez, 2001)**; la cual pertenece al Grupo Nacional de Colecciones de Cultivos Microbianos, creada en 1995 y representada en la sección de Cultivos Microbianos de ATAC.

El programa de Biodiversificación de la Industria Azucarera, hace que cada día se desarrolle el trabajo dentro de la colección, al emplear microorganismos conservados, genéticamente estables y taxonómicamente bien definidos para la obtención de diferentes productos como levadura Torula, alcohol y bioproductos con diferentes fines (alimento animal, fitosanitarios, biofertilizantes entre otros).

El objetivo principal de esta colección es la preservación de los cultivos y el suministro de especímenes, fundamentalmente aquellos de interés para la industria azucarera, la docencia y la taxonomía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La colección está integrada por 273 especímenes de microorganismos (fig. 1), distribuidos en 7l cepas de bacterias, l18 cepas de levaduras, 78 cepas de hongos inferiores y 7 cepas de hongos superiores. Muchas de estas cepas son utilizadas con buenos resultados en las investigaciones aplicadas a la Biotecnología Agrícola: producción de biofertilizantes, bioplaguicidas, fitohormonas y cultivos en fase sólida con variados propósitos, producciones de dextrana, xantano, de hongos comestibles, alcohol, levadura Torula y proteína de consumo humano entre otras.



Recolección e identificación de microorganismos

Entre los trabajos de la colección se encuentra la recolección e identificación de cepas de diferentes materiales de la agroindustria azucarera, como bagazo, miel, cachaza, paja de caña entre otros, lo que hace que el 62 % de las cepas sean autóctonas. Esto permite disponer de un fuerte potencial de material biológico para ser empleado por otras instituciones además de las industrias fermentativas del MINAZ.

La identificación de las microorganismos, se ha llevado a cabo desde los inicios de la colección en 1965, empleando las técnicas de taxonomía clásica y numérica **(Valdés, 1990)** y actualmente se han aplicado técnicas de Biología Molecular en la identificación de cepas de bacterias de los géneros ***Pseudomonas y Lactobacillus,*** levaduras de diferentes géneros y hongos pertenecientes a los géneros ***Aspergillus*** (fig 2) y ***Penicillium***

Fig. 1 Microorganismos que integran la Colección de Cultivos ICDCA

La taxonomía de los cultivos, es de gran importancia en las colecciones por lo que se emplean diferentes técnicas de avanzada, muchas de ellas en trabajos de colaboración con centros internacionales (Colección Española de Cultivos Tipo CECT; Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Laboratorio de Microbiología y Genética, de la Universidad de Cádiz, España, el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) de Francia, la Universidad de Alcalá de Henares España. Se ha realizado la clasificación de bacterias, levaduras y hongos filamentosos por técnicas de Biología Molecular tales como: electroforesis enzimática en geles de poliacrilamida, electroforesis en campo pulsante (PFGE), determinación de polimorfismos en ADN mitocondrial (RFLP), amplificación por PCR y secuenciación del ADN ribosomal (tabla 1) y micro técnicas para la identificación de bacterias (Sistema API), sin abandonar la taxonomía convencional, que además de orientadora constituye la base de las técnicas mas novedosas.

.

Tabla I. Tamaño de fragmentos PCR por amplificación con ITS1/ITS4 e identificación por comparación de secuencias

Cepas	Identificación por secuenciación	Tamaño aproximado fragmento PCR (primers ITS1-ITS4)
NO9	En estudio	400 pb
NO4	Candida tropicalis	500-600 pb
NO1	Candida tropicalis	500 pb
NO5	ns	550-600 pb
NO7	ns	600 pb
MI	Kluyveromyces marxianus	700-800 pb
373	Kluyveromyces marxianus	750 pb
377	Kluyveromyces marxianus	750-800 pb
KR1	ns	750-800 pb
373-AI	ns	750 pb
NO8	ns	800 pb
37-III	Saccharomyces cerevisiae	850 pb
CM	Saccharomyces cerevisiae	800 pb
381	Saccharomyces cerevisiae	800 pb
NO2	Saccharomyces cerevisiae	700-900 pb
XI	Saccharomyces cerevisiae	800 pb
SA	ns	900 pb
NO10	ns	900 pb
ISO	Ns	800 pb
NO3	En estudio	800 pb

ns: No secuenciadas

La tabla I muestra los resultados de 20 cepas de levaduras, identificadas por secuenciación de la región del DNAr ITS1-5.8S-ITS2, 2 cepas ***Candida tropicalis***, 5 ***Saccharomyces cerevisiae***, y 3 ***Kluyveromyces marxianus*** .

Fig.2 **ADN total de** *Aspergillus niger*

La fig. 2 muestra los resultados de la amplificación y digestión del DNA total (600 pares de base) de una cepa de ***Aspergillus niger*** lo que permitió establecer diferencias entre los géneros ***A. niger*** y ***A. carbonarius***, además de tener en cuenta las características macroscópicas, microscópica.

Mantenimiento y conservación

La necesidad de mantener la Colección ICIDCA y disponer de cultivos de calidad impuso la investigación y aplicación de diferentes métodos de conservación: congelación a –70 º C en perlas de vidrio (fig 3.), liofilización, agua destilada estéril (tabla 2.), cuñas de agar bajo aceite mineral, sílica gel y en tierra estéril. En todos los casos se comprobó la efectividad de los mismos. Con ello se ha logrado mantener sistemáticamente más de un método de conservación para cada uno de los cultivos, hecho que nos distingue de otras colecciones nacionales, las que aunque conservan por algunos de los métodos señalados, no siempre emplean más de uno **(Martínez, Bueno; Gallardo, 2001; León y Gallardo,**

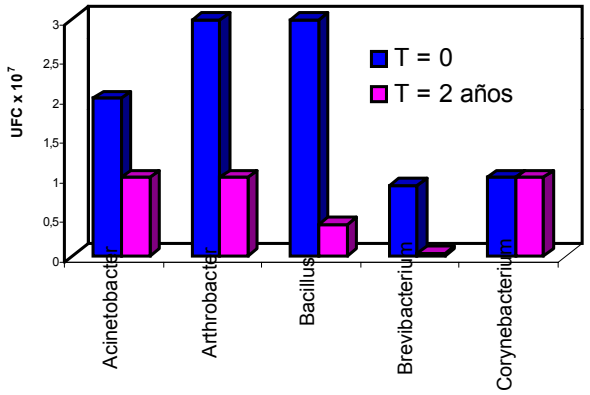


Fig. 3 Viabilidad de los diferentes géneros de bacterias conservados en perlas de vidrio a -70ºC.

2001; Bueno y Almeida, 2000; Bueno y Gallardo, 1998; Martínez y col. 1995).

En la fig. 2 se muestran los resultados de la viabilidad de los diferentes géneros de bacterias estudiadas. Se observa que la viabilidad no se comportó por igual para cada tipo de microorganismo como era de esperar, debido a las características propias de cada uno, en el medio de cultivo. Se evidenció una gran diferencia en ***Bacillus y Brevibacterium***, los demás géneros se comportaron de manera similar entre sí.

Las variaciones que mostraron algunos géneros pudieran estar influenciados por cambios de temperatura que inevitablemente se producen cuando se extraen los cultivos de temperaturas tan bajas como -70ºC y se llevan a temperatura ambiente para efectuar las siembras.

De los resultados obtenidos, se puede inferir que esta técnica de conservación a -70ºC puede ser utilizada en la preservación de las bacterias de nuestra colección por un tiempo superior a dos años.

Tabla II Conservación de levaduras del género *Candida* en agua destilada estéril

Cepa	Tiempo de Conservación (UFC/mL)					
	Cero (ufc/mL)	Viab. (%)	6 meses (ufc/mL)	Viab. (%)	2 años (ufc/mL)	Viab. (%)
L/3 75-1	1.9×10^6	100	1.2×10^6	63	0.3×10^6	15
L/3 75-5	4.2×10^6	100	4.0×10^6	95	0.1×10^6	2
L/3 75-6	4.4×10^6	100	3.9×10^6	88	0.4×10^6	9
L/3 75-7	2.0×10^6	100	0.4×10^6	20	0.02×10^6	1
L/3 75-11	3.3×10^6	100	2.7×10^6	81	0.06×10^6	1.8
L/3 75-12	4.0×10^6	100	2.6×10^6	65	0.03×10^6	0.8
L/3 75-14	4.7×10^6	100	1.2×10^6	25	0.3×10^6	6
L/3 75-16	3.0×10^6	100	1.4×10^6	46	0.3×10^6	10

En la tabla II se muestran los % de viabilidad después de dos años de conservados los cultivos de ***Candida utilis*** (8 cepas), se pudo constatar que el mayor porciento le correspondió a la cepa L3-75-1 (15 %) de supervivencia, siguiendo en orden decreciente la L/3-75-16, el valor mas bajo se observó en la L/3-75-12 con 0.8 %.

Los porcentajes de viabilidad alcanzados con el método ensayado van desde 0.8 % hasta un 15 %, los cuales son visiblemente aceptables si se tiene en consideración que un método es efectivo cuando se alcanza una viabilidad de 0.1%.

Es de señalar que las colecciones internacionales utilizan más de un método de conservación de microorganismos, con el fin de evitar el deterioro o extinción de los mismos y preservar los cultivos microbianos de interés en óptimas condiciones, manteneniendo sus características genotípicas y fenotípicas. (**ATCC, 2001; Bond, 1995; Aguilar, 1991)**.

Guardería y suministro de cultivos

El servicio de guardería y suministro de cepas microbianas Constituyen una de las actividades más importantes que desarrolla la Colección, por cuanto permite la protección de material biológico de interés para personas y/o entidades, así como el suministro de especímenes para la Industria Azucarera, la docencia, la investigación y con fines taxonómicos, garantizando además su control bajo condiciones establecidas para estos fines

En la misma se conservan levaduras de empleadas en la producción de las diferentes destilerías y plantas de Torula, por lo que constituye la mayor colección de levaduras de interés industrial del país y se distingue como Colección de Cultivos de Referencia del Ministerio de la Industria Azucarera.

Se conservan y suministran todas las cepas empleadas en los diferentes proyectos de investigación de la Subdirección de Biotecnología del ICIDCA. Algunos de estas cepas se utilizan ya con buenos resultados en investigaciones aplicadas a la Biotecnología, Agrícola: producción de biofertilizantes, bioplaguicidas, fitohormonas, cultivos en fase sólida para biocontrol y alimento animal y en plantas productoras de hongos comestibles; dextrana, xantano (**Michelena y col. 2003; Serrano y col. 2002; Gutiérrez y Villa, 2002)** e industrias fermentativas (producción de alcohol, levadura Torula y proteína de consumo humano entre otras). Varias de estas cepas forman parte de patentes obtenidas en procedimientos biotecnológicos desarrollados.

Otras instituciones nacionales, llevan a cabo investigaciones con cepas que permanecen conservadas en nuestra colección, tal es el caso del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, que para comprobar la existencia en su genoma del gen pacl que codifica ribonucleasa para degradar RNA de doble cadena, y

del Departamento de Fisiología del ICBP Victoria de Girón para la obtención de enzima Beta Galactosidasa a partir de cultivos de levadura, ***Kluyveromyces,*** con el propósito de emplear dicha enzima en la fabricación de productos deslactosados para niños con diarreas persistentes o intolerancia a la leche, con buenos resultados.

CONCLUSIONES

La Colección de Cultivos del ICIDCA, está compuesta por 273 cepas de microorganismos identificados y clasificados por diferentes técnicas taxonómicas, desde las convencionales hasta las de Biología Molecular. El 62 % de estas cepas son autóctonas. Aisladas de diferentes materiales. Permiten el apoyo científico a la industria y a los diferentes proyectos de investigación. Cuenta con el Catálogo de Cultivos, que facilita la interrelación con los usuarios, a la vez que se convierte en una guía al servicio de la agroindustria. Colecciona el mayor número de cepas de levaduras industriales del país, por lo que es reconocida como Colección de Referencia del MINAZ, además de brindar un grupo de servicios, deviene celadora de una parte de nuestro patrimonio nacional, contribuyendo de esta forma al desarrollo sostenible.

REFERENCIAS

Aguilar, A. 1991. "Scientific challenges for microbial culture collection". W. J. Microbiol. Biotechnol. 7 (3): 15-18.

ATCC. 2001. **"**Preservation and recovery of filamentous fungi". Tech. Bulletin. www. atcc.org.

Bon, J. C. 1995. "Cryopreservation of yeast". Culture methods in molecular biology. Ed. por Day y McLellan. Capítulo 5. 38: 39-42.

Bueno, L. y Almeida, G. 2000. "Evaluación morfológica y fisiológica de cultivos del género ***Botryodiplodia theobromae*** conservadas en agua destilada". Laborat-acta 12 (1): 21-24.

Bueno, L. y Gallardo, R. 1998. "Preservación de hongos filamentosos en agua destilada estéril". Rev. Iberoam. Micol. 162-164.

Bueno, L. y Martínez, A. 2001. "La Colección de Cultivos ICIDCA al servicio de usted". Rev. ICIDCA 35 (2-3): 7.

Bueno, L. y Martínez, A. 2003. "Catálogo de cepas microbianas". Editorial ICIDCA. La Habana (en imprenta): pp.1-93.

Bueno, L.; Martínez; A.; Gallardo. R. 2002. "La colección de cultivos en función de la agroindustria azucarera". Memorias VII Congreso Internacional Sobre Azúcar y Derivados. Diversificación/2002. Tomo I, pp. 49-52.

Gutiérrez, I. Villa, P. 2002. "Aplicación de bioproductos para incrementar los rendimientos en el cultivo del hongo ***Pleurotus"***. Memorias VII Congreso Internacional Sobre Azúcar y Derivados. Tomo I, pp. 5-8.

Kirsop. B. 1990. "100 years of culture collection". Proceedings del Simposio Kral para celebrar el centenario del establecimiento del primer servicio registrado de colección de cultivos. (WFCC). Septiembre/19

León, M. y Gallardo R. 2001. "Comprobación de la viabilidad de cultivos fúngicos conservados en tierra de jardín y liofilizados". Rev. ICIDCA.35: 57-59.

Martínez, A.; Bueno, L.; Gallardo, R. 2001. "Conservación de bacterias de interés industrial en perlas de vidrio a –70 ºC". Rev. ICIDCA 35 (1): 30 –33.

Martínez, A.; Valdés, I.; Gallardo, R.; Legrá, S. 1995. "Mantenimiento y conservación de cepas productoras de xantano". Rev. ICIDCA 29 (2): 45-52.

Michelena. G; Martínez, A. y col. 2003. "Scale up of dextransucrase production by ***Leuconostoc mesenteroides*** in fed batch fermentation. Brazilian Arch. Biol. Technol. 46 (3).

Serrano, P.; Brizuela, M.A. y col. 2002. "Selección de levaduras y bacterias lácticas para biopreparado de bacterias lácticas". Memorias (CD) del XVIII Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias.

Uruburu, F. 1994. "The Spanish Culture Collection of Microorganism". Microbiología SEN 10, 311-314.
Valdés, I.; Iglesias, I.; Pérez, E. 1990. "Aplicación de la taxonomía numérica en la verificación especifica de varias cepas de levaduras". Rev. ICIDCA 24 (2-3): 14-19.

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MÁS SIGNIFICATIVOS EN EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN DE POLIGALACTURONASA (PMG) OBTENIDA POR FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO DE CÁSCARA CÍTRICA.

SIGNIFICATIVE PARAMETERS IN LIXIVIATION OF A POLIGALACTURONASE OBTAINED BY SOLID STATE FERMENTATION OF DRIED CITRUS PEEL.

Autores: Daniel E. Rodríguez* Fernández, L. Aguilar, G. Delgado, G. Bueno, M. León y J. A. Rodríguez León.

Centro: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) Vía Blanca #804, Apartado Postal 4026, Ciudad de la Habana, CUBA.

*e-mail: derf@icidca.edu.cu

RESUMEN

La implementación de la fermentación en estado sólido(FES) para la obtención de enzimas comerciales está determinada en gran medida por el desarrollo de las técnicas de extracción sólido-líquido, como primer paso de un proceso de recobrado. En el presente trabajo se estudia, con ayuda de un diseño experimental fraccionado 2^{5-2} con réplicas en el punto central, el efecto de las variables: relación sólido/líquido (hidromódulo), pH, temperatura, agitación y presencia de Tween 80 sobre los rendimientos de la extracción de la pectinasa (PMG) de *A. niger* W2, obtenida como parte de un pool enzimático, por FES a partir de cáscara cítrica. Según los resultados del diseño se recomienda utilizar un hidromódulo de valor inferior a 1/10 en base húmeda, trabajar a temperaturas iguales o menores a 30ºC y con agitación igual o superior a 500 rpm para extraer la mayor de enzima. Tanto el pH (3-7), como la adición de Tween 80 (hasta 1% v/v) no influyeron en los resultados de la extracción de esta Poligalacturonasa.

Palabras claves: lixiviación, pectinasas, fermentación en estado sólido.

ABSTRACT

The application of solid state fermentation for the production of commercial enzymes is greatly determined by the solid/liquid extraction techniques, as a first step in the downstream process. In the present work it is studied by means of a Fractional Experimental Design 2^{5-2}, with replications at the central point, the effect of several variables as: solid/liquid relation (hydromodule), pH, temperature, agitation and Tween 80. The yield of the extraction of a polygalacturonase obtained by solid state fermentation of dried citrus peel by *A. niger* was measured as the plane response variable. From the results here obtained it is advisable to employ a solid/liquid relation not bigger than 1/10 in wet basis, to work at temperatures equal or less than 30ºC and with an agitation equal or bigger than 500 rpm in order to extract the most quantity of the enzyme. Neither the pH (3-7), nor Tween 80 addition (at a level of 1% v/v) influenced in the extraction of this polygalacturonase.

Key words: lixiviation, pectinase, solid state fermentation.

INTRODUCCION

La producción de enzimas microbianas ha adquirido una singular importancia en el campo de las biotecnologías, siendo una línea de interés para el mercado, con la aparición de productos destinados a esferas diferentes de la vida cotidiana y de la producción, entre las que se destacan la medicina, la alimentación animal y la obtención de bienes de consumo.

En lo que respecta a la producción de las enzimas a nivel industrial, es importante considerar que los costos de recuperación pueden alcanzar hasta el 80 % del costo total del proceso, por lo que las investigaciones encaminadas a minimizar dichos gastos resultan indispensables. En este sentido, el empleo de la fermentación en estado sólido (FES) constituye una alternativa interesante al brindar la posibilidad de obtener dichos metabolitos en concentraciones superiores a las fermentaciones sumergidas, lo que favorece la ejecución y economía de las operaciones de recobrado. De hecho se plantea, que la implementación de tecnologías de FES para la obtención de enzimas comerciales, depende en gran medida del desarrollo eficiente de las técnicas de extracción sólido-líquido, por lo que esto ha sido objeto de estudio de algunos autores (ramadas 1995, Ikasari 1996, Castilho 1999, Ghildhyal 1991).

Entre las enzimas industriales que han sido producidas por esta vía a partir de diferentes cepas fúngicas y con el empleo de diversos residuos agrícolas, se incluyen las pectinasas que cuentan con múltiples aplicaciones en la producción de jugos, pieles, alimento animal y cométicos. Con respecto a la extracción de pectinasas obtenidas por FES a partir de *Aspergillius niger*, en la última década se destacan los trabajos de Castilho et al. (1999, 2000), quienes han estudiado la influencia de diferentes factores sobre la efectividad de la etapa extractiva para este tipo de enzima.

En trabajo anterior relacionado con la producción y caracterización de la enzima polimetilgalacturonasa (PMG) de *A. níger* W2 se demostraron sus características interesantes en cuanto a actividad y estabilidad en un intervalo amplio de temperatura y pH (5). Teniendo en cuenta los antecedentes anteriores, en el presente trabajo se estudió la influencia de los factores relación sólido/solvente (que en el presente trabjo se definirá como hidromódulo), pH, temperatura, agitación y presencia de surfactante, que pueden resultar determinantes para el desarrollo de la operación de extracción sólido-líquido Castilho et al. (1999, 2000,) y con vistas a optimizar a partir de los factores mencionados, el recobrado de la enzima pectinasa (PMG) de *A. niger* W2, obtenida por un proceso de FES a partir de cáscara cítrica.

METODOLOGÍA

Microorganismo y condiciones de cultivo:

Para el desarrollo del trabajo fue empleada la cepa *Aspergillus niger* W2, mutante de esporulación escasa y tardía (Dpto. Microbiología, ICIDCA), mantenida en medio agar-malta a 30ºC por 7 días. El microorganismo se cultivó en medio compuesto por cáscara cítrica en calidad de fuente de carbono y urea como fuente de nitrógeno. El proceso de FES se llevó a cabo en un fermentador de estado sólido con una carga de sustrato de 800g g del sustrato húmedo, aireación de 1 VKgm, a temperatura ambiente y relación de inoculación de 1:10 (p v^{-1}) por 72 h (7).

Extracción sólido-líquido:

El proceso se llevó a cabo en un reactor de vidrio enchaquetado Heidolph RZR 2021 (Alemania), de 200 mL de volumen de trabajo, con un agitador de paleta. Para la obtención de los extractos enzimáticos, a muestras de diferentes pesos del material fermentado se añadió 150 mL de agua destilada para asegurar los hidromódulos que se estudiaron. Luego de ajustar pH, las mezclas se agitaron durante 30 minutos a una temperatura determinada por el plan factorial y se centrifugaron a 4 000 rpm durante 15 minutos en una centrífuga SIGMA (B. Braun Biotech International) siendo colectados los sobrenadantes para la realización de las determinaciones analíticas.

Análisis realizados:

Materia seca

La determinación de materia seca del material fermentado se realizó por gravimetría, con ayuda de una balanza con lámpara IR (Sartorius).

Actividad enzimática

Para estimar la actividad pectinasa (PMG), la mezcla de 0.1 mL del extracto crudo y 0.9 mL de una solución al 1.0% de pectina (SIGMA) en 0.1M buffer citrato pH 4.8, fue mantenida a 50ºC por 15 min. Los azúcares reductores liberados se midieron como ácido galacturónico, por el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico (Miller 1959). La unidad de actividad PMG se definió como la cantidad de enzima que libera 1 μMol/min de ácido, en las condiciones de ensayo dadas.

Diseño estadístico

El estudio de extracción de planificó empleando un diseño fraccionado 2^{5-2} con réplicas en el punto central, tomando como variables los parámetros hidromódulo, temperatura, pH, agitación y Tween 80, en los siguientes intervalos (Tabla 1). Los datos se procesaron por el Programa *Design Expert Versión 5.07* .

Tabla I. Niveles y valores de las variables independientes empleados para evaluar su influencia en la extracción de PMG a partir de sustrato fermentado por FES con *A. níger* W2

Variable	Nivel bajo	Nivel alto
Hidromódulo (**A**)	1/38 (base seca)	1/115 (base seca)
Temperatura (**B**)	30ºC	50ºC
pH (**C**)	3	7
Agitación (**D**)	100 rpm	500 rpm
Tween 80 (**E**)	0 % (v/v)	1,5 % (v/v)

Generadores del Plan: D = AB; E = AC; I = ABD = ACE = BCDE

Tabla II. Matriz de diseño del plan fraccionado 2^{5-3}.

Corrida	A	B	C	D=A*B	E=A*C	Pectinasa
1	-1	-1	-1	1	1	-
2	1	-1	-1	-1	-1	-
3	-1	1	-1	-1	1	-
4	1	1	-1	1	-1	-
5	-1	-1	1	1	-1	-
6	1	-1	1	-1	1	-
7	-1	1	1	-1	-1	-
8	1	1	1	1	1	-
PC1	0	0	0	0	0	-
PC2	0	0	0	0	0	-
PC3	0	0	0	0	0	-

A continuación se muestran las confusiones entre los distintos factores independientes y sus interacciones.

[Intercept] = Intercept + ABD + ACE
[A] = A + BD + CE
[B] = B + AD + CDE
[C] = C + AE + BDE
[D] = D + AB + BCE

[E] = E + AC + BCD
[BC] = BC + DE + ABE + ACD
[BE] = BE + CD + ABC + ADE

Teniendo en cuenta que la falta de ajuste del modelo lineal fue significativa se planteó optimizar la actividad de la enzima en función de la influencia de las variables que resultaron significativas en el plan factorial fraccionado 2^{5-2} desarrollado: el hidromódulo, la temperatura y la agitación, considerando la región estudiada. En la siguiente tabla se muestran los niveles de trabajo de cada variable analizada en esta oportunidad.

Tabla III. Niveles y valores de las variables independientes empleados en el diseño de la superficie de respuesta extracción de PMG .

Variable	Nivel alto	Nivel medio	Nivel bajo	$-\alpha$	α
Hidromódulo b.s (g/mL)	1/115	1/77	1/38	1/12	1/142
Temperatura (ºC)	50	40	30	23	57
Agitación (rpm)	450	300	150	50	550

Es necesario aclarar que en los casos del hidromódulo y de la temperatura se mantuvieron los niveles alto, medio y bajo en valores iguales al plan fraccionado, pero en el caso de la agitación no pudo mantenerse pues al calcular la el valor de la agitación en el punto estrella inferior ($-\alpha$), este era negativo (-50 rpm), por lo que se decidió mantener el valor del nivel medio y aumentar el valor de la agitación en el nivel bajo hasta 150 rpm y disminuir el valor en el nivel alto hasta 450 rpm.

La matriz de realización de los experimentos se muesta en la tabla que esta a continuación.

Tabla IV. Matriz de diseño del plan compuesto central.

Corrida	A	B	C	Pectinasa
1	-1	-1	-1	-
2	1	-1	-1	-
3	-1	1	-1	-
4	1	1	-1	-
5	-1	-1	1	-
6	1	-1	1	-
7	-1	1	1	-
8	1	1	1	-
AX1	-1,68	0	0	-
AX2	1,68	0	0	-
AX3	0	-1,68	0	-
AX4	0	1,68	0	-
AX5	0	0	-1,68	-
AX6	0	0	1,68	-
PC1	0	0	0	-
PC2	0	0	0	-
PC3	0	0	0	-
PC4	0	0	0	-
PC5	0	0	0	-
PC6	0	0	0	-

TABULACION DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 5 aparecen los resultados obtenidos de actividad PMG (UI/g base seca) para cada una de las variantes del diseño y a continuación en la Tabla 3 se muestra según el tratamiento estadístico de los datos, la significación de las variables en el proceso de extracción de la enzima, a partir de cáscara cítrica fermentada por la cepa *A.níger* W2.

Análisis de los coeficientes

Coeficiente β_0: 177,61U/g /(b.s)

Este coeficiente representa el efecto de bloque, valor promedio de actividad de la enzima polimetilgalacturonasa de todas las corridas del diseño.

Coeficiente β_1: 56,76 (significativo)

Este coeficiente representa al hidromódulo y está confundido con la interacción de la temperatura y la agitación y con la interacción del pH y el Tween. Basándonos en el análisis del coeficiente β_3 y β_5 se puede asumir que la interacción pH y surfactante puede ser despreciada. Por su parte el signo positivo nos indica la tendencia hacia los valores de nivel alto de esta variable, lo que se vio en el análisis anterior. Además desde el punto de vista físico del fenómeno de transferencia de masa que estamos analizando este factor o sea el hidromódulo, está estrechamente vinculado con la fuerza directora de la extracción, pues mientras mayor sea el volumen de solvente, se podrá extraer mas enzimas al no alcanzarse tan rápido la concentración de equilibrio entre el líquido y el sólido.

Coeficiente β_2: -9,14 (significativo)

Este coeficiente representa la temperatura que está confundida con la interacción del hidromódulo y la agitación. El signo negativo sugiere que se debe trabajar a niveles bajos de este factor, porque al analizar la tabla de discriminación de factores se observa que los coeficientes con los que están relacionados el hidromódulo y la temperatura tienen signos positivos, por lo tanto la interacción entre ellos también debería tener signo positivo. En este sentido si tenemos en cuenta el comportamiento de la

enzima, la cual mostró mayor actividad entre 30-40ºC podemos plantear que estos resultados no fueron afectados por la termoinactivación de la enzima, aspecto que resulta importante considerar (Castilho 1999; Castilho 2000).

Tabla V. Valores de la actividad de pectinasa obtenidos en el desarrollo del plan factorial 2^{5-3}.

Exp.	Hidromódulo (A) (g sol. / ml) b.s.	Temperatura (B) (ºC)	PH (C)	Agitación (D) (rpm)	Tween 80 (E) (% v/v)	Pectinasa (U ext./ g sol)
1	1/38	30	3	500	1	**124,5**
2	1/115	30	3	100	0	**194,2**
3	1/38	50	3	100	1	**113,7**
4	1/115	50	3	500	0	**250,4**
5	1/38	30	7	500	0	**127,4**
6	1/115	30	7	100	1	**258,0**
7	1/38	50	7	100	0	**74,8**
8	1/115	50	7	500	1	**192,0**
PC1	1/77	40	5	300	0,75	**201,5**
PC2	1/77	40	5	300	0,75	**207,2**
PC3	1/77	40	5	300	0,75	**210,1**

PC 1-3: puntos centrales del diseño

Tabla VI. Discriminación de los factores y las interacciones en el plan factorial fraccionado del tipo 2^{5-3}.

Factor	Coeficiente de regresión	p
Termino independiente (β_0)	177,61*	-
A, BD, CE (β_1)	56,76*	0,000750
B, AD (β_2)	-9,14*	0,027756
C, AE (β_3)	-3,82	0,133423
D, AB (β_4)	6,70*	0,049898
E, AC (β_5)	5,18	0,079540
BC, DE	-20,49*	0,0057
BE, CD	-10,04*	0,0232
Falta de ajuste*	-	0,007642

*** Factores e interacciones significativas.**

Sin embargo, es necesario señalar que la temperatura actúa sobre la velocidad de extracción, la cual a su vez esta también influenciada por la difusividad del sistema mediante la relación (ver la teoría de lixiviación en la revisión bibliográfica):
Es por lo anterior, que desde el punto de vista de la transferencia de masa los valores inferiores de temperatura no deben favorecer la velocidad de extracción en el sistema.
Todo lo anterior nos indica que las características biológicas del sistema son más sensibles al efecto de la temperatura durante el proceso de extracción.

Coeficiente β_3: -3,82 (no significativo)
Este coeficiente representa el pH, resultando no significativo, al igual que la interacción del hidromódulo con el Tween que está confundida con el pH. El signo negativo sin embargo, nos indica que sería conveniente trabajar a valores bajos del pH.

Coeficiente β_4: 6,70 (significativo)
Este coeficiente representa a la agitación la cual es significativa y está confundida con la interacción del hidromódulo y la temperatura. Su signo positivo indica que, un incremento en la agitación al romper los gradientes de concentración que pueden existir en el seno del líquido son una resistencia a la extracción de la enzima del medio sólido.
Este resultado se corresponde con resultados reportados en la literatura científica (Castilho et al., op cit.), los que observaron mejores rendimientos en sistemas agitados de extracción, siempre y cuando se evite la formación de espuma en la fase líquida.

Coeficiente β_5: 5,18 (no significativo)
Este coeficiente representa la adición de Tween 80, resultando no significativa y está confundida con la interacción del hidromódulo y pH. En este sentido este factor nos da un índice de una eventual adhesión de la enzima al soporte sólido; por lo cuál es factible asumir que dicha adhesión de la enzima al sustrato no es tan marcada.

Coeficiente β_{233}: -20,49 (significativo)
Es interesante observar que este coeficiente es el segundo de mayor valor y representa al efecto de la confusión de dos interacciones: temperatura y pH, y agitación y adición de Tween 80. Como en ambas interacciones hay una variable significativa y otra no significativa, se asume que la significación de la interacción estará marcada por la interacción donde se encuentra la variable de mayor significación en este caso la interacción que tiene una influencia importante en el proceso es la interacción entre la temperatura y el pH.

Coeficiente $\beta 123$: -10,04 (significativo)
Este coeficiente representa a las interacciones entre el pH y la agitación, y la interacción entre la temperatura y el Tween 80. Al suceder lo mismo que en el facto anterior, se asume que la interacción entre la temperatura y el Tween son las realmente significativas en este coeficiente.

De esta primera fase del estudio de la extracción de la enzima PMG de la matriz sólida podemos concluir que el factor de mayor influencia en el proceso extractivo es el hidromódulo por ser el coeficiente correspondiente el de mayor valor. Sin lugar a dudas este factor como se planteó anteriormente es uno de los factores más importante como fuerza directora del proceso de transferencia de masa.

Otro aspecto interesante a tener en cuenta es la influencia significativa de la temperatura, debido a que no solo como factor es significativo, sino que todas las interacciones donde esta presente, parecen ser significativas.

En el caso de la agitación, el coeficiente correspondiente resulta significativo pero está confundido con la interacción del hidromódulo y la temperatura, que según los coeficientes respectivos son los factores de mayor influencia

En cuanto al pH y la adición de Tween así como las interacciones confundidas con ellos en este diseño fraccionado, estos no tienen una influencia significativa en el proceso.

Por otra parte analizando que la falta de ajuste del modelo del modelo lineal obtenido resulta significativa, podemos deducir que nos encontramos cercanos a una zona donde hay un valor máximo o mínimo en la actividad enzimática en el caldo de extracción, por lo que se debe complementar el plan factorial analizado hasta el momento con un diseño de optimización del tipo compuesto central considerando los factores significativos.

Optimización de los factores aplicando el plan de diseño compuesto central.
Tomando en cuenta los factores que resultaron significativos se llevó a cabo la optimización de la etapa de lixiviación con un diseño de superficie de respuesta Compuesto Central considerando como variables al hidromódulo, la temperatura y la agitación. En la Tabla 6 se muestran los valores obtenidos en cada corrida. En esta Tabla se observa que el mayor valor en la actividad se obtiene en la corrida Ax2 donde el hidromódulo esta en su punto estrella positivo, lo cual corrobora que hacia los valores altos del hidromódulo se favorece la transferencia de masa.

En el caso de la temperatura se aprecia que su influencia en la actividad de la enzima extraída es fundamental, pues el valor más bajo de todo los valores de la pectinasa se obtiene en el punto extremo axial donde la temperatura es máxima. Lo cual nos hace pensar que las características bioquímicas de la enzima determinan la extracción con respecto a la temperatura.

Tabla VII. Valores de la actividad enzimática de la PMG en la superficie del Diseño Compuesto Central

Corrida	Hidromódulo (g sol. / ml) b.s.	Temperatura (ºC)	Agitación (rpm)	Pectinasa (U/g b.s.)
1	1/38	30	150	**92,5**
2	1/115	30	150	**214,5**
3	1/38	50	150	**57,1**
4	1/115	50	150	**139,4**
5	1/38	30	450	**98,3**
6	1/115	30	450	**254,4**
7	1/38	50	450	**86,2**
8	1/115	50	450	**45,1**
AX1	1/12	40	300	**39,2**
AX2	1/142	40	300	**288,5**
AX3	1/77	23	300	**161,8**
AX4	1/77	56	300	**3,4**
AX5	1/77	40	50	**161,3**
AX6	1/77	40	550	**186,9**
PC1	1/77	40	300	**181,1**
PC2	1/77	40	300	**180,0**
PC3	1/77	40	300	**152,2**
PC4	1/77	40	300	**138,3**
PC5	1/77	40	300	**151,1**

En el caso de la agitación no se nota a primera vista una influencia evidente en los valores de la actividad enzimática, pues los valores son marcadamente diferentes en los casos de agitación al mismo nivel.

En la Tabla 7 se reporta la discriminación de los factores significativos a un nivel de confianza de 95%.

Una vez discriminado los factores significativos se obtiene el modelo para el diseño compuesto central.

$$Y = 161{,}12 + 54{,}07X_1 - 43{,}81X_2 - 30{,}85X_2^{\,2} - 29.62X_1X_2$$

$R^2 = 0{,}9025$.

En la Tabla 7 se puede observar que solo el hidromódulo y la temperatura son factores con una incidencia significativa en el proceso de extracción de la enzima PMG, en cambio la agitación no resulta significativa en el rango estudiado en nuestro sistema de estudio, pero el signo positivo de este factor nos indica que el sistema de extracción debe ser agitado. Una optimización de la velocidad de agitación debería considerar niveles superiores de la misma al empleado en el plan actual. No es actualmente

nuestro objetivo ir a niveles superiores de este factor pues debe tenerse en cuenta que estamos considerando realizar la extracción de la enzima en el fermentador.

Tabla VIII. Discriminación de los factores que influyen en la actividad enzimática de la PMG en la superficie respuesta del plan Compuesto Central .

Factor	Coeficiente de regresión	p
Termino independiente (β_0)*	161,11	0,000046
Hidromódulo (β_1)*	54,07	0,000469
Hidromódulo (C) (β_1^2)	-2,12	0,701860
Temperatura (β_2)*	-43,81	0,001056
Temperatura (C) (β_2^2)*	-30,85	0,003940
Agitación(β_3)	1,74	0,753470
Agitación (C)(β_3^2)	1,49	0,786578
Interacción (Hid. y Temp.)*	-29,62	0,011763
Interacción (Hid. y Agit.)	-11,15	0,173610
Interacción (Temp. y Agit.)	-13,88	0,108729
Falta de ajuste	-	0,085

*Factores e interacciones significativos.

Comparando estos resultados con los obtenidos en el plan factorial fraccionado 2^{5-2} en el cual el coeficiente correspondiente a la temperatura confundido con la interacción del hidromódulo y el pH, podemos concluir que es la interacción entre estos dos últimos factores los responsables por el valor de dicho coeficiente por lo que se puede inferir que la formación de gradientes en el seno del líquido no afectan la difusión de la enzima en el solvente. Como se dijo con anterioridad el modelo indica que el sistema debe de estar agitado, pero como la agitación no tiene una influencia significativa en el rango estudiado se decidió trabajar el resto de los experimentos con un valor de agitación de 300 rpm, que corresponden con el valor en el punto medio. Este valor de agitación se tomó además considerando reportes de la literatura especializada (Ghildyal et. al., 1991) donde se demuestra que un proceso de lixiviación a partir de una fermentación sólida con agitación es más rápido en el tiempo que sin agitación. Por ello independientemente de los resultados obtenidos es lógico plantearse el estudio de la cinética del proceso con en las condiciones definitivas que se seleccione para la extracción.

También debe destacarse que solo la temperatura tiene un término cuadrático, por lo que resulta optimizable en el intervalo analizado, mientras que el hidromódulo solo tiene la tendencia hacia valores mayores en su aplicación.

Con respecto a la última observación sobre el hidromódulo, es necesario señalar que aunque resulta lógico desde el punto de vista de la transferencia de masa aumentarlo, pero nunca se logrará encontrar un punto donde el hidromódulo cambie la tendencia, es imposible desde el punto de vista físico. Esto es un inconveniente en cuanto a la ventaja de la fermentación sólida con respecto a la fermentación sumergida pues, como se dijo con anterioridad una de las grandes ventajas de las fermentaciones en estado sólido es que se pueden obtener productos más concentrados al inicio del proceso de recobrado (Ghildhyal et al, 1991) lo cual hace que las mismas sean más ventajosas desde el punto de vista económico por generar menos volumen de líquido y residuales a tratar. En el caso que se está estudiando trabajar en el hidromódulo 1:12 base seca, significaría tener una concentración de enzimas de 15 U/mL, mientras que al trabajar en la condición del hidromódulo 1:142 la concentración de enzimas será 1,5 U/mL, o sea diez veces más diluida, además al consultar la literatura especializada se encontró que los valores más alto en concentración de enzimas de la familia pectinasa fue de 7,3 U/mL (Texeira et al. 1997) y 26 U/mL (Viniegra et. al. 2003), en este último caso con un proceso de purificación previo. Al tener la enzima tan diluida trabajando en el hidromódulo 1:142, que desde el punto de vista económico sería más caro el proceso de purificación por la cantidad de efluente que se genera, se decidió continuar los estudios cinéticos en el hidromódulo 1:12 aunque el diseño nos indique lo contrario. Por todo lo anteriormente

explicado el valor óptimo del hidromódulo se obtendría en el balance final de todo el proceso, al optimizar el proceso desde el punto de vista económico.

CONCLUSIONES

1. El hidromódulo y la agitación, así como las interacciones confundidas con ellas, resultaron significativos con tendencia hacia el nivel alto del plan estadístico analizado.
2. La temperatura resulta ser significativa con tendencia hacia el nivel bajo, siendo además la única variable que en todas las interacciones de segundo orden en donde está presente, estas son también significativas.
3. Al realizar el diseño compuesto central se optimizó la extracción de la enzima en función de la temperatura, pues la agitación no resulto ser significativa y el hidromódulo no está restringido desde el punto de vista físico.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Ramadas, M., Holst, O., Mattiasson, B.** "*Extraction and purification of amyloglucosidase produced by solid state fermentation with A.niger*" **(1995). Biotechnology Techniques, vol. 9, pp. 901-906 (1995).**
2. **Ikasari, L. y Mitchell, D.A.** *"Leaching and characterization of Rhizopus oligosporum acid protease from solid-state fermentation"* **Enzyme and Microbial Technology, vol. 19, pp.171-175 (1996).**
3. **Castilho, L.R., Alves, T.L.M., Medronho, R.A.** *"Recovery of pectolytic enzymes produced by solid state culture of Aspergillus niger"* **Process Biochemistry, vol. 34, pp. 181-186 (1999).**
4. **Castilho, L.R., Medronho, R.A Alves, T.L.M.** *"Production and extraction of pectinases obtained by solid state fermentation of agroindustrial residues with Aspergillus niger"* **Bioresource Technology, vol. 71, pp. 45-50 (2000).**
5. **Aguilar, L; Bueno, G.; Delgado , G.; León, M.; Rodríguez-León, J.L.** *"Propiedades de enzima pectinasa obtenida por fermentación en estado sólido con potencialidades de uso en alimentación animal"* **Revista ICIDCA (en edición) (2003).**
6. **Treybal, R.E.** *"Lixiviación" in Operaciones con Transferencia de masa* **.Editorial Pueblo y Educación, pp.721-774 (1978).**
7. **Rodríguez-León, Bueno, G.; Delgado , G.; León, M.; Rodríguez-León, J.L Aguilar, L. Informe interno ICIDCA** *" Proyecto Producción de Fitasa y otras Enzimas de Interés para su empleo en la Alimentación Animal* **(2000).**
8. **Miller, G.L** *"Use of dinitrosalicilic acid reagent for determination of reducing sugars"* **.Analyt., vol. 31, pp. 426-428 (1959).**
9. **Ghildhyal, N. P., M. Ramkrishna, B. K. Lonsane y N. G. Karanth (1991).** *Efficient and simple extractionof mouldy bran in a pulsed column extractor for recovery of amyloglucosidase in concentred form.* ***Process Biochem*. 26 235-241.**
10. **Montgomery, D. C (1991).** *Diseño y Análisis de Experimentos*. ***Ed. Grupo Editorial Iberoamérica* . México.**
11. **Texeira, M.F.S.; J:L:L:F: Lima y N. Durán (1997):** *Produçao de enzimas pectinolíticas por linhagen de Aspergillus*. **ENZITEC 97. 3er. Seminario Brasileiro de Tecnología Enzimática. Rio de Janeiro. Octubre.**
12. **Viniegra-González, G., E. Favela-Torres, C. Noé Aguilar, S. J. Romero-Gómez, G. Díaz-Godínez, y C. Augur, (2003).** *Advantages of fungal enzyme production in solid state over liquid fermentation systems*. ***Biochem. Eng. J.* 13 157-167**.

PRODUCCIÓN POR FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO Y PROPIEDADES DE PECTINASA DE ASPERGILLUS NÍGER W2

Bueno, G., Delgado, G., Aguilar, L., León, M., Sánchez, D., Rodríguez, D. E., Rodríguez-León, J.A, Ibáñez, M. y Tortoló, K.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
Vía Blanca 804, P.O Box 2034, CP 11000.
e-mail: gloriabg@icidca.edu.cu

RESUMEN

El hongo *Aspergillus niger* W2 fue usado para la producción de pectinasa extracelular sobre cáscara cítrica. La máxima actividad (130.8 U/g) fue obtenida alrededor de las 221 horas de cultivo. El efecto de diferentes componentes en el medio para la producción de pectinasa fue investigado. Los resultados mostraron la influencia de la humedad, miel de caña y fosfato sobre la sintesis de la enzima. Se observo la influencia negativa de la miel de caña y positiva del fosfato. La mejor actividad fue obtenida con el 60 % de humedad inicial. Las propiedades del preparado enzimático crudo de *Aspergillus niger* W2, cultivado sobre cáscara cítrica fueron investigadas. La pectinasa tuvo un pH óptimo de 3.0. El óptimo de temperatura para la pectinasa se observó a 55 ºC
La enzima retuvo el 80 % de su actividad cuando se incubo a 60ºC por 1 hora. En presencia de 2mM de los aniones y cationes evaluados se observó un efecto activador significativo para los aniones acetato (43 %) y citrato (26 %) y los cationes Na^{+1} y Li^{+1} con 30 %. Pérdidas de la actividad del (28 % y 18% fueron detectadas en presencia de SO_4^{-2} y PO_4^{-3} , respectivamente.

Palabras claves: poligalacturonasa, *Aspèrgillus niger*, fermentación en estado sólido

ABSTRACT

The fungus *Aspergillus niger* W2 was used for production of extracellular pectinase on citrus peel . Maximum enzyme activity (130.81 U g^{-1} dry wt) was obtained on the 221 h of cultivation. The effects of differents components in medium for pectinase production was investigated. The results showed the influence of the humidity , cane molasses and phosphate over the synthesis of the enzyme. Negative influence the of cane molasses and positive of phosphate was observed. The better activities were obtained with 60 % of initial humidity. The properties of a crude enzyme preparation from *Aspergillus niger* W2 cultivated on citrus peel were investigated. The pectinase had an optimum pH of 3.0.Optimum temperature of the pectinase was 55ºC. The enzyme retained 80 % of its activity on incubation at 60ºC for 1 h. In presence of 2 mM of some anions and cations evaluated , was observed significative activator effect by acetate (43%) y citrate (26%) and cationes Na^{+1} y Li^{+1} with 30 %. Inihibition of 28 % and 18% on the activity pectinase was observed by SO_4^{-2} and PO_4^{-3} ,respectively.

Key words: polygalacturonase, Aspergillus niger, solid state fermentation

INTRODUCCION

En la actualidad el empleo de enzimas como aditivos en la alimentación animal y en particular en el sector de los piensos ha alcanzado un desarrollo acelerado como resultado de los efectos positivos que las mismas propician . Mejora en la eficiencia y utilización del alimento evitando desordenes digestivos específicos, uso flexible de materias primas, decrecimiento de la contaminación del medio ambiente y disminución de los costos del alimento avalan algunas de sus ventajas. La eliminación de los factores antinutricionales presentes en determinados ingredientes de la dieta como es el caso de la pectina se ha convertido en una práctica generalizada.

Las enzimas pectinolíticas o pectinasas son enzimas involucradas en la hidrólisis de la pectina entre las que se distinguen tres tipos de enzimas denominadas poligalacturonasas (EC3.2.1.15), pectinesterasas, (EC3.1.1.15) y pectinliasas (EC4.2.2.10). Las tres contribuyen a la degradación y modificación de la pectina, un polímero de ácido galacturónico con diferentes relaciones de metilación y entrecruzaamiento presente en la pared celullar de las plantas superiores que actúa como agente hidratante y aglutinante de la celulosa (Thakur et al, 1997).

Las pectinasas son sintetizadas por un gran número de microorganismos que incluyen bacterias y hongos con variadas propiedades químico-físicas y enzimáticas (Alkorta et al, 1998). Generalmente, son producidas por hongos, siendo en particular el *Aspergillus niger* el mas utilizado en la producción industrial por su estatus GRAS. La producción industrial de pectinas constituye el 10 % de la producción global de enzimas (Stutzenberger, 1992). En años recientes, se ha incrementado el interés en particular por la producción de enzimas microbiales por fermentación en estado sólido, un proceso promisorio por su alta productividad y empleo directo de residuos agroindustriales como fuente de carbono.

En el presente trabajo se estudia la influencia de la miel de caña, el fosfato de potasio y la humedad sobre la síntesis de pectinasas (poligalacturonasa) obtenida por fermentación en estado sólido de cáscara cítrica por *Aspergillus níger* W2 , así cómo algunas de sus propiedades bioquímicas.

MATERIALES Y METODOS

Microorganismo: Se empleó una cepa mutada de *Aspergillus niger* W2 de esporulación escasa y tardía obtenida del Departamento de Microbiología del ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar). La cepa fue mantenida en cuñas de agar-malta a 30ºC durante 7 días y almacenada a 4ºC.
Medio y condiciones de cultivo: Compuesto por cáscara cítrica conteniendo 2.7 % de urea (base seca) que proporciona el nitrógeno necesario para la fermentación de los azúcares simples (18 % b.s, ART) y polisacáridos presentes en el material lignocelulósico (Rodríguez-León et al., 1986), varias concentraciones de fosfato como KH_2PO_4 (0-0.05 % b s), miel de caña (0-42 % b s) y humedad inicial (40-60 %). de acuerdo a un diseño factorial a dos niveles. La calidad del ajuste del modelo lineal fue expresada por el coeficiente de determinación r^2 (Mongomery, 1997). La fermentación fue llevada a cabo en columnas de vidrio tipo Raimbault (1980) conteniendo de 20-30 g de sustrato húmedo, aeración de 1 VKgm , a temperatura ambiente. La relación de inoculación fue de 1:10 (p v^{-1}). Las muestras del medio fermentado fueron mezcladas hasta su homogenización. Todos los experimentos fueron realizados por duplicado
Determinación de actividad enzimatica: La actividad poligalacturonasa fue estimada tomando 0.1 ml del extracto crudo enzimático (1:20 muestra fermentada /agua, 150 rpm. min^{-1} , 30 min a 30ºC) y 0.9 ml de una solución al 0.5 % de pectina en 0.1M buffer citrato pH 4.0 e incubada a 50ºC durante 15 min. La liberación de reductores se midió como ácido galacturónico pòr el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico de acuerdo con Miller (1959). Una unidad de actividad pectinasa se definió como la cantidad de enzima que libera 1 μMol de ácido galacturónico por minuto bajo las condiciones de ensayo.

Determinación de biomasa: La proteína real estimada fue tomada como valor equivalente del contenido de biomasa (Pandey et al., 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig 1 se muestra la cinética de producción de pectinasa sobre cáscara cítrica al 60 % de humedad y su relación con el crecimiento microbiano. Al comienzo del crecimiento microbiano se aprecia un bajo nivel de la enzima pero a medida que el crecimiento continúa, la síntesis de la enzima se incrementa hasta un valor máximo de 130.80 U g^{-1} b.s a las 221 h de cultivo.

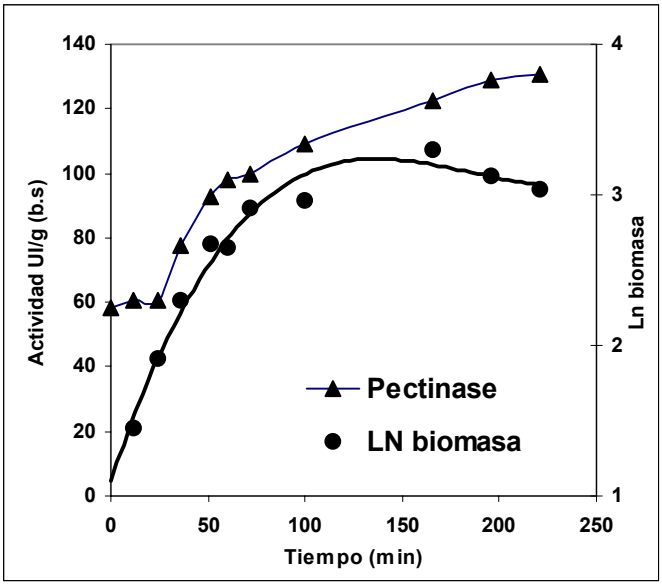


Fig 1. Producción de pectinasa de *Aspergillus níger* W2 sobre cáscara cítrica por fermentación en estado sólido. -▲- actividad poligalacturonasa (U g^{-1} b.s); - ● - biomasa

El patrón cinético seguido por la pectinasa sobre cáscara cítrica fue parcialmente asociado no coincidiendo con los resultados obtenidos por Roussos et al. (1991, 1993) .

Influencia de los componentes del medio en la producción

Los experimentos se realizaron aplicando un diseño factorial 2^2 , considerando en un primer experimento los factores, concentración de azúcares reductores (miel de caña,) y fosfato, a 60% de humedad y 72 h de fermentación (Fig. 1). Para las diferentes variantes del diseño, el rango de valores encontrados fue de 180.8-317.5 UI g^{-1} (b.s). La actividad del control (sin miel de caña ni fosfato, a 60 % de humedad) fue de 180.81 UI g^{-1} (b.s).

En el segundo experimento, los factores evaluados fueron azúcares reductores (miel de caña,) y humedad inicial . Después de 72 h de fermentación el rango de actividad enzimática fue de 55.4-192.9 UI g^{-1} (b.s). La actividad del control (sin miel de caña, a 60% de humedad) fue de 180.8 UI g^{-1} (b.s).

Tabla I. Ecuaciones de ajuste estimadas para la actividad Pectinasa

Ecuación del modelo	Coeficiente de determinación (r^2)
$UI/g_{bs} = 231.62 + 42.3\ \mathbf{F}$	0.96
$UI/g_{bs} = 149.4 - 21.4\ \mathbf{A} + 36.7\ \mathbf{H} + 20.6\ \mathbf{AH}$	0.86

Los factores azúcares reductores (A), concentración de fosfato (F) y humedad (H) así cómo sus interacciones fueron significativas. Un análisis de los modelos (Tabla I) nos indica que la síntesis de pectinasa es favorecida en la primera experiencia por la adición de 0.05% de fosfato y la ausencia de la miel de caña. Los resultados mostraron un incremento del rendimiento del 47 % con respecto al control.

La concentración de azúcares reductores aportada por la cáscara cítrica resultó ser adecuada para la síntesis de la enzima. En cuanto al contenido de humedad, la síntesis de pectinasa se favoreció a un alto nivel (60 %) de humedad inicial. La importancia del agua en el sistema es debida en primer lugar al hecho de que la gran mayoría de las células viables se caracterizan por un contenido de humedad de 70-80 % y en segundo lugar por estar relacionado íntimamente con la característica del material biológico (Pandey et al,2001). En los procesos de fermentación en estado sólido la capacidad de saturación de la matriz sólida puede variar entre 30 y 85 % (Raimbault, 1998). En el caso de la cáscara cítrica el agua libre es observada cuando el contenido de humedad excede el 60 % a diferencia de muchos materiales lignocelulósicos, donde puede llegar hasta un 80 % (Moo-Young et al., 1983). Adicionalmente, se corrobora el efecto negativo de la adición de azúcares reductores al medio de fermentación.

Propiedades enzimáticas

El perfil de pH del crudo enzimático de *A. níger* W2 se presentan en las Fig.2. Pérdidas de actividad poligalacturonasa del 46 % se obtienen a valores extremos de pH . A pH 2.5 se retiene un 80 % de la actividad y un óptimo a pH 3.0, resultando relativamente bajo en comparación con los reportados para otras pectinasas de *A. niger* (Fogarty, 1986). La máxima actividad pectinasa se alcanzó a 55ºC. En cuanto a su termoestabilidad, la enzima retuvo el 96 % y 80 % de su actividad inicial después de 60 min a 50 ºC y 60 ºC , respectivamente (Fig.3).

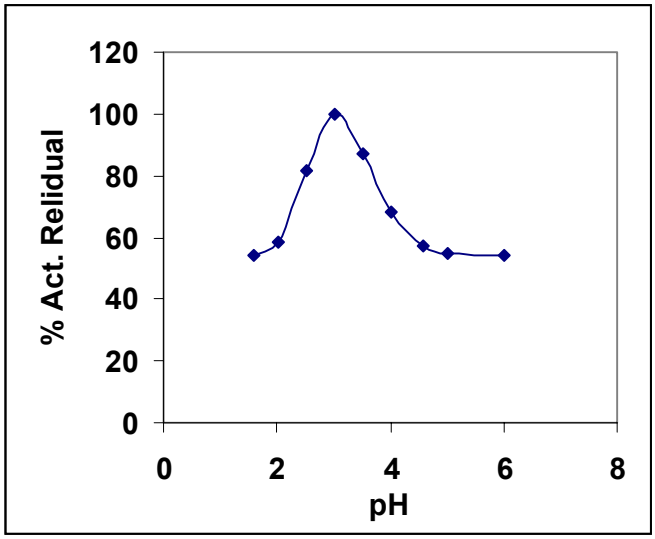


Fig 2. Efecto del pH en la actividad poligalacturonasa..
La reacción fue realizada a 50ºC por 15min, empleando los buffers 0.1M glicina/HCl (pH 1.6-3.0) y 0.1M citrato (pH 4.0-6.8)

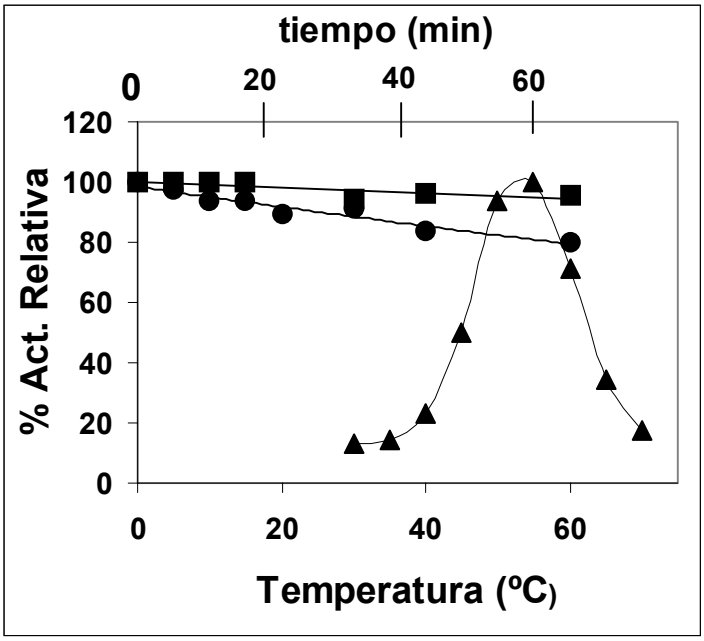


Fig 3. Efecto de la temperatura en la actividad poligalacturonasa (-▲-) y estabilidad a 50ºC (-■-) y 60ºC (-●-)

El análisis del efecto de los moduladores iónicos en la actividad poligalacturonasa (Fig.4) mostró un efecto activador para todos los cationes evaluados con incrementos significativos del 30 % para Na^{+1} y Li^{+1} seguido de Mg^{+2} (22 %), Ba^{+2} (16 %), Cd^{+2} (14 %), Cu^{+2} (11 %) y Ca^{+2} (7 %) Pérdidas de la actividad del 28 % y 18 % se produjeron en presencia de los aniones PO_4^{-3} y SO_4^{-2}, respectivamente en las concentraciones ensayadas. El resto de los aniones mostró un efecto activador, en el siguiente orden: acetato (43%). citrato (26%), Cl^{-1} (13%), CO_3^{-1} (8%) y NO_3^{-1} (7%)

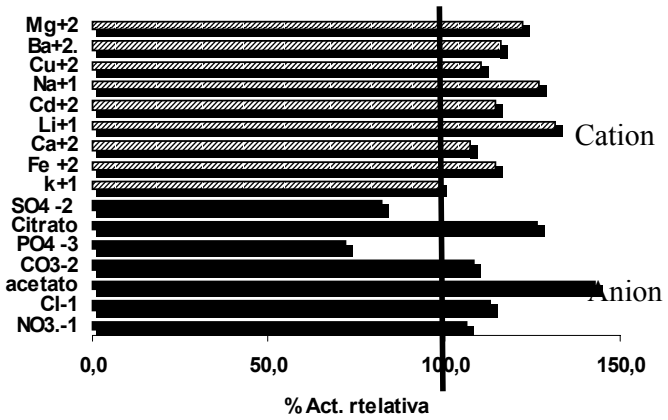


Fig 4. Efecto de moduladores iónicos (catioónicos y aniónicos) sobre la actividad poligalacturonasa

CONCLUSIONES

El desarrollo de la fermentación sólida de cáscara cítrica por la cepa *Aspergillus niger* W2 rindió niveles de pectinasa (poligalacturonasa) de alrededor de 130.8 U/g, luego de 221 horas de cultivo. Los estudios desarrollados acerca de la influencia de condiciones de cultivo sobre la biosíntesis de la enzima demostraron que la concentración de azúcares reductores aportada por la cáscara cítrica resultó ser adecuada para la síntesis de la enzima, mientras que el incremento de fosfato, así como de humedad (60 %) favoreció su producción, lográndose obtener resultados de actividad superiores, hasta en un 47 % . Tanto por sus propiedades de actividad, como de estabilidad ante la temperatura, pH y presencia de moduladores, la enzima posee interés potencial para ser empleada como aditivo alimentario.

REFERENCIAS

Fogarty, B.M. (1986) Microbial Enzymes and Biotechnology. Appl. Science Publishers LTD. London and New York, 11-152.

Thakur BR, Singh RK, Handa AK (1997) *Crit Rev Food Sci* Nutr., 37: 47-73

Alkorta I, Garbisu C, Llama MJ, Serra JL (1998) *Process Biochem* , 33,: 21-28.

Stutzenberger, F. (1992) Pectinase Production in Encyclopedia of Microbiology (Lederberg J. ed.-in-chief)Academy Press, New York. 3: 327-337

Rodriguez-León, J.A.; Bechstedt, W.; Echevarría, J.; Sierra, N.; Delgado, G.; Daniel, A.; Martínez, O. (1986), *Acta Biotechnologica*, 6, 3, 253-258.

Mongomery, D.C. (1997), Diseño y Análisis de Experimentos, Grupo Editorial Iberoamerica, Cap 7, 175, México, DF.

Raimbault, M. (1980), Fermentation en milleu solide: Croissance des champignons filamenteux sur substrat amylace. These de Doct. Travaux et Documents de I'ORSTOM. Ne. 127. Paris.

Miller, G.L. (1959), *Anal. Chem*., 31, 426-428.

Pandey A.C., Soccol, R., Rodríguez--León, J.A., Nigam, P. (2001) Solid state fermentation in Biotechnology. Fundamentals and Applications. Ed. Asiatech. New Delhi.

Roussos, S.; Raimbault, M.; Prébois, J.P.; Lonsane, B.K. (1993), *Appl. Biochem. and Biotechnol*. 42, 37-52.

Roussos, S.; Raimbault, M.; Viniegra-Gonzalez, G.; Saucedo-Castañeda, G.; Lonsane, B.K. (1991), *Micología Neotropical Aplicada* 4 : 83-98.

Moo-Young, M., Moriera, A.R. and Tengerdy, R.P. (1983). Principles of solid state fermentation. In The filamentous fungi, Vol. 4, Fungal Biotechnology. Smith J.E, Berry D.R & Kristiansen B. Eds., Edward Arnold Publishers, London, pp. 117-144.

DETECCIÓN DE CANDIDA TROPICALIS EN DIVERSAS LOCACIONES DE LA EMPRESA AZUCARERA "A. GUITERAS" MEDIANTE ANÁLISIS DE SECUENCIAS NUCLEOTÍDICAS DE REGIONES ITS.

DETECTION OF CANDIDA TROPICALIS FROM DIVERSE LOCATIONS IN THE SUGAR ENTERPRISE "A. GUITERAS" BY USING NUCLEOTIDE SEQUENCE ANALYSIS OF ITS REGIONS.

Roxana García, Aidín Martínez, Norka Fundora, Irma Valdés, Ricardo Gallardo, Miguel A. Otero, Gustavo Saura y Laurence Casalot.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
AP 4026, La Habana, Cuba. E-mail: rgarcia@icidca.edu.cu

RESUMEN

Se identificó a la especie *Candida tropicalis* como el agente causal de una severa infección detectada en el proceso de producción de levadura forrajera en la Unidad Básica de Derivados de la Empresa Azucarera "Antonio Guiteras" de la provincia de Las Tunas. Posteriormente a un detallado diagnóstico en las materias primas y diferentes secciones de la empresa, se identificaron 5 aislamientos pertenecientes a esta especie mediante taxonomía convencional y comparación de secuencias nucleotídicas del DNArib 5.8S y regiones adyacentes no codificadoras *ITS1* e *ITS2*.

La detección de esta levadura contaminante permitió la adopción de medidas higiénico-sanitarias y de carácter tecnológico restableciéndose la producción a la vez que se adoptó una metodología para la vigilancia profiláctica de futuras contaminaciones.

ABSTRACT

Was identified the specie *Candida tropicalis* as the causal agent of a severe infection detected in the fodder yeast production process in the By-Product Basic Unit of the Sugar Enterprise "Antonio Guiteras" of Las Tunas province. After a detailed diagnosis task on raw material and different sections of the enterprise, were identified 5 isolations belonging to this specie by conventional taxonomy and comparison of nucleotide sequences from DNArib 5.8S and non codifying adjoining regions *ITS1* and *ITS2*.

The detection of this contaminant yeast lead to the adoption of sanitary and technological measures to bring the production at its normal operation conditions as well as the adoption of a methodology for the prophylactic surveillance for future contaminations.

Palabras clave: Candida tropicalis, Candida utilis, levadura forrajera, DNArib 5.8S, región ITS1-ITS2

Key words: Candida tropicalis, Candida utilis, fodder yeast, DNArib 5.8S, ITS1-ITS2 region

INTRODUCCIÓN

El género Candida representa un grupo heterogéneo de especies que mayoritariamente no comparten propiedades fisiológicas y morfológicas con alto grado de similitud (Barns y cols. 1991, Spencer y Spencer 1997), lo que está sustentado con estudios sobre conservación de nucleótidos que van desde una completa coincidencia hasta la virtual ausencia de homología (Lott y cols. 1998).

La identificación de cepas pertenecientes a este genero mediante amplificación por PCR y secuenciación de la región genómica que codifica para el RNA ribosomal se ha convertido en un método muy versátil debido a su relativa facilidad de manipulación y alta reproducibilidad (Gee y cols. 2002). Esta técnica ha sido empleada con éxito además en estudios filogenéticos para este grupo microbiano.

En el presente estudio, se describe la identificación mediante amplificación por PCR y secuenciación de las regiones adyacentes ITS1 e ITS2 y el gen RNA*rib*5.8S, de *Candida tropicalis* como el agente causal de una severa infección reportada en la fábrica de levadura forrajera anexa a la Empresa Azucarera "Antonio Guiteras" de Las Tunas. Esta fabrica operaba en esos momentos con mezclas de vinazas de destilería y miel final como fuente de carbono y energía.

Se describe el diagnostico detallado con el propósito de conocer la extensión del problema, la localización del foco de infección, así como el aislamiento e identificación del microorganismo contaminante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de muestras:

Se analizaron muestras procedentes de diferentes puntos de la Unidad Básica (fábrica de levadura y destilería) así como de los tanques de almacenamiento de miel en toda la unidad, fermentadores y prefermentador de la fábrica de levadura, al igual que otras locaciones ubicadas en la destilería y el ingenio. Se evaluaron como control mieles procedentes de la E.A. aledaña "Jesús Menéndez" y el agua de proceso.

Aislamiento del microorganismo contaminante:

Se realizó mediante diluciones seriadas de muestras procedentes del fermentador de la fábrica de levadura, así como de otros ambientes con posterior siembra en placas de malta-agar hasta obtener colonias aisladas. Las colonias formadas por células y estructuras microscópicas típicas detectadas en los fermentadores, fueron recultivadas en cuñas de malta-agar nuevamente para su análisis taxonómico.

Métodos taxonómicos clásicos:

La morfología de células vegetativas crecidas en el medio malta-agar y caldo extracto de malta, las características culturales en malta-agar y algunas propiedades fisiológicas como asimilación de azúcares, compuestos nitrogenados y la utilización de compuestos carbonados (Lodder 1971) fueron los criterios asumidos para una clasificación convencional del aislamiento A' procedente del fermentador de la planta.

Amplficación por PCR y secuenciación de DNA:

A partir del DNA extraído de cultivos puros de los aislamientos A', NO_1, NO_4, NO_5 y NO_7, mediante el *Wizard® Genomic DNA Purification Kit Omega*, se realizó la reacción de amplificación empleando los *primers* directo ITS1 y reverso ITS4 en termociclador *Perkin Elmer Gene Amp PCR System 2004*. Alícuotas del producto amplificado se purificaron mediante electrofóresis en 0.8% de agarosa (*i-Mupid®*). La *Taq* polimerasa y los *buffers* fueron suministrados por *Promega, Co.*

La secuenciación automatizada se realizó a partir de células de *E. coli* L109 *Promega*, transformadas con el vector *pGem®-T-easy Promega* conteniendo el amplicón ITS1-ITS4 de los aislamientos A', NO_1 y NO_4. La secuencia del DNA amplificado fue obtenida mediante la técnica de Sanger (*Genome Express, Grenoble, Francia*).

Identificación por análisis de secuencias:

Las secuencias fueron alineadas y comparadas en la base de datos *NCBI* empleando el software *BLAST®*, que permite la identificación según las proporciones de identidad y número de bases nucleotídicas comparadas de la región ITS1-DNArib 5.8S-ITS2.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características morfológico-culturales del microorganismo contaminante:

Se observaron estructuras y agrupaciones celulares no características de *Candida utilis* (cepa de producción) en muestras colectadas de fermentadores, tanques de almacenamiento de miel y prefermentador de la destilería, así como en otras secciones del ingenio como es la descarga de las centrífugas de azúcar de tercera (semilla) y su entorno ambiental. Las células mostraron una gran variedad morfológica, con forma globosa, ovoidal, cilíndrica, curva y pseudomicelial.

Se observó una proporción abundante de pseudomicelios consistentes en células cilíndricas alargadas o pseudohifas, con largas ondulaciones agrupadas en formaciones ramificadas irregulares ostentando blastosporas. Estas estructuras de reproducción tenían formas globosas y ovoides en cadenas simples o ramificadas, con una diferenciación incierta entre ellas en la mayoría de las observaciones. En algunas se apreció micelio verdadero (ver Figura 1).

Las características de las colonias sembradas a partir de muestras colectadas variaron en cuanto a color y textura suave o membranosa finamente granulada, parcialmente reticuladas o agrietadas. Los cultivos más viejos endurecieron y se tornaron de difícil extracción del agar y con proyecciones filamentosas.

Estas características coincidieron con las apreciadas en los cultivos aislados A', NO_1, y NO_5 , según puede apreciarse en la Figura 2.

El estudio de las mieles de la E.A. "J. Menéndez" y del agua de proceso no mostraron la presencia de la morfología celular y estructural descrita.

Identificación del microorganismo contaminante:

La clasificación taxonómica según la metodología descrita por Lodder (1971), ubicó a la cepa contaminante A' aislada del fermentador de la fábrica de levadura dentro del género *Candida*, especie *tropicalis*.

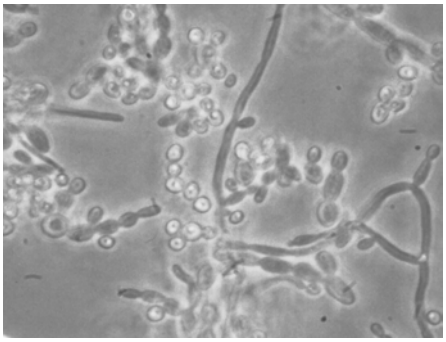


Figura. 1. Observación microscópica directa de muestra proveniente de fermentador Fca. Torula "A. Guiteras".

A pesar de que la especie de producción *Candida utilis* presenta una ubicación taxonómica diferente (Lott y cols. 1998), *Candida tropicalis* puede mostrar una apariencia celular muy próxima dependiendo de su estadio fisiológico y ciclo vital. Este hecho puede enmascarar la identificación y entorpecer un diagnóstico preciso y rápido, afectando de esta forma la propagación de *C. utilis* desde el punto de vista cinético. Esta situación puede conducir a una paulatina pero inexorable sustitución del cultivo, como fue observado en las instalaciones tanto de la industria como en escala de laboratorio.

Figura 2. Morfología celular de aislamientos identificados como *Candida tropicalis* mediante secuenciación del amplicón ITS1-ITS4. A: NO_5; B: NO_1; C: A'.

Paralelamente se lograron identificar por secuenciación de la región del DNArib ITS1-5.8S-ITS2 como *Candida tropicalis* los aislamientos A', NO_4 y NO_2 procedentes de diferentes ecosistemas dentro de la Unidad Básica con porcientos de identidad superiores al 98% al ser comparados un número de pares de bases representativo en su secuencia, con otros pertenecientes a la base de datos *NCIB*.

Aunque los aislamientos NO_5 y NO_7 no llegaron a ser identificados por secuenciación, sí mostraron patrones de bandas similares respecto al tamaño aproximado de los productos PCR ITS1/ITS4 junto con la morfología celular y cultural cercanos filogenéticamente a la especie *Candida tropicalis*. (Figura 3). La Figura 4 muestra los productos PCR sobre colonias transformadas de *Escherichia coli* con amplicón ITS1/ITS4 de la cepa A'.

La Tabla I presenta las dimensiones de los fragmentos PCR por amplificación con ITS1/ITS4 y la identificación por comparación de secuencias de las diferentes muestras obtenidas en puntos diversos de la Empresa Azucarera "A. Guiteras".

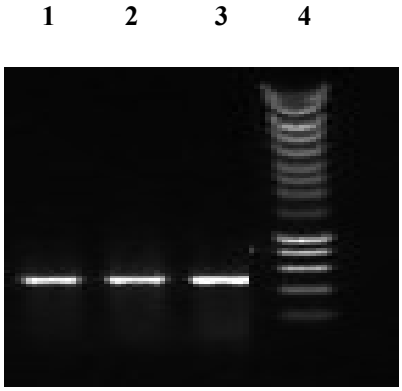


Figura 3. Productos PCR generados por los *primers* ITS1/ITS4. 1: NO_4, 2: NO_5, 3: NO_7, 4: MM.

Tabla I. Tamaño de fragmentos PCR por amplificación con ITS1/ITS4 e identificación por comparación de secuencias.

Aislamiento	Procedencia	Identificación por secuenciación	Tamaño aproximado fragmento PCR/*primers* ITS1-ITS4
NO_4	Jugo primario	*C. tropicalis*	500-600 pb
A'	Fermentador	*C. tropicalis*	450-550 pb
NO_1	Jugo mezclado	*C. tropicalis*	500 pb
NO_5	Jugo primario	NS	550-600 pb
NO_7	Jugo primario	NS	600 pb

NS: no secuenciada; pb: pares de bases

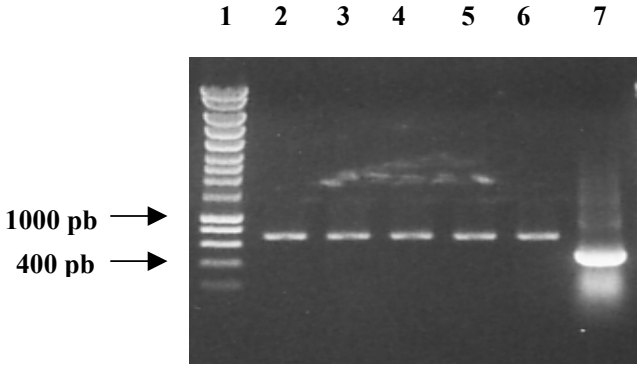


Figura 4. Verificación de clonajes positivos de *E.coli*. 1: MM, 2-6: productos PCR sobre colonias transformadas con amplicón ITS/ITS4 cepa A´, 7: amplicón ITS1/ITS4 concentrado cepa A'.

CONCLUSIONES

La especie *Candida tropicalis* detectada como contaminante en la E.A. "A. Guiteras", comparte el mismo grupo de homologías de las especies *Candida albicans* y *Candida parasilopsis* reportadas como las especies pertenecientes al género Candida de mayor interés clínico. Son levaduras provistas de estructuras celulares muy resistentes a tratamientos físico-químicos con modificaciones para la colonización de tejidos animales (Pfaller y Wenzel 1992) lo que las convierte en agentes de infecciones oportunistas por excelencia.

La identificación del agente biológico causante de la contaminación permitió la inmediata adopción de medidas higiénicas así como el establecimiento de una metodología de vigilancia profiláctica, de igual forma la detección de la miel como la fuente de contaminación permitió también el empleo de medios de fermentación alternativos con vinazas y nutriente de levadura.

REFERENCIAS

Barns, S., Lane, D., Sogin, M., Bibeau, C., Weisburg, W. (1991), *J Bacteriol* 173**,** 2250-2255.

Gee, S., Joly, S., Soll, D., Meis, J., Verweij, P., Polacheck, I., Sullivan, D., Coleman, D. (2002), *J Clin Microbiol* 40, 556-574.

Lodder, J (1971), The Yeast. A Taxonomic Study (Lodder, J. ed.). North Holland Publishing Co., Amsterdam, pp. 1059-1063.

Lott, T., Burns, B., Zancope-Olivera, R., Elie, C., Reiss, E. (1998), *Curr Microbiol* 36, 63-69.

Pfaller, M., Wenzel, R. (1992), *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 11, 287-291.

Spencer, J., Spencer, D. (1997), Taxonomy: The name of the yeasts (Spencer, J., Spencer, D. eds). Springer-Verlag, Berlín, pp. 643-662.

AGRADECIMIENTOS:

La realización de este trabajo fue posible gracias a un Proyecto de Colaboración financiado por el Institut pour la Recherche et Development (IRD) de Marsella, Francia.

EFECTO DEL TRATAMIENTO CON RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO EN CALDOS DE FERMENTACIÓN CONTENIENDO ÁCIDO JÁSMÓNICO.

Ortega G.M.; Oliveros M.; Armenteros S.; Redondo D.; Michelena G.; Castillo G.;Santo Tomas J.; Altuna B.; Legrá S.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Vía Blanca No. 804 y Carretera Central. Ciudad Habana.
E-mail: griselortega@icidca.edu.cu

Resumen

El ácido jasmónico (AJ) y sus derivados son los representantes de los reguladores del crecimiento vegetal exógenos denominados jasmonatos y puede obtenerse como metabolito secundario del hongo *Botryodiplodia theobromae* en fermentación sumergida.

En el presente trabajo se estudió el efecto del tratamiento con resinas de intercambio iónico en caldos de fermentación conteniendo ácido jasmónico, con la finalidad de obtener un producto puro con alto valor agregado.

Se utilizaron las resinas: Amberlita IRA- 400 (Cl), Amberlita IRA 401 (Cl) e IRA -45 (OH). En los tratamientos se muestra un incremento en los porcientos de retención de ácido jasmónico al variar la cantidad de cada resina. Al utilizar resina Amberlita IRA-45 (OH) se obtienen los mejores resultados de retención del metabolito, con un valor de 100%. Se seleccionó la cantidad de 200 mg de resina Amberlita IRA-45 (OH) como factible para permitir una total separación del ácido jasmónico a partir del caldo de cultivo. Los procesos de retención del ácido jasmónico fueron descritos por isotermas ajustadas estadísticamente al modelo de Freundlich, siendo los tratamientos con resinas Amberlita IRA-401(Cl) e IRA-45 (OH) considerados como procesos de retención favorables. Las concentraciones de ácido jasmónico retenido sobre las resinas Amberlita IRA-401 (Cl) e IRA 45 (OH) en el equilibrio fueron: 0.0083 y 0.045 (mg AJ / mg resina) respectivamente, obteniéndose con ésta última una mayor relación de AJ retenido por mg de resina empleada, siendo esta resina la más adecuada para la separación y purificación del metabolito del caldo de cultivo.

Palabras claves: ácido jasmónico, intercambio iónico, separación, purificación.

EFFECT OF TREATMENT WITH IONIC EXCHANGE RESINS IN CULTURE BROTHS CONTAINING JASMONIC ACID.

Abstract

Jasmonic acid and its related compounds are a new type of exogens plant hormone-like growth regulator and can be obtained as secondary metabolites of *theobromae* fungi in sumerged fermentation.
In this paper, the effect of treatment with ionic exchange resins in fermentation cultures containing jasmonic acid was studied, to obtain a purified product with higher added value. The Amberlite IRA- 400 (Cl), Amberlite IRA- 401 (Cl) and IRA- 45 (OH) resin were used.

In these treatments an increasing retention percentage of jasmonic acid with the variation of resin amounts, was detected. The use of Amberlite IRA- 45 (OH) permits to obtain the best results on metabolite retention, achieving a 100 % value. Two hundred mgs of Amberlite IRA- 45 (OH) was chosen to obtain the whole separation of jasmonic acid from culture broth.
The retention process of jasmonic acid was described according as an fitted isotherm following Freundlich model, and Amberlite IRA- 401 (Cl) and IRA- 45 (OH) resins treatments are considered as favourable retention processes.
Jasmonic acid equilibrium concentration in Amberlite IRA- 401 (Cl) and IRA- 45 (OH) resins were 0.0083 and 0.045 (JA mg retention / mg resin) respectively and Amberlite IRA- 45 (OH) permits to obtain a higher retention- ratio of JA / mg resin. This resin is the best for metabolite isolation and purification.

Key words: jasmonic acid, ionic exchange, isolation, purification

Introducción

Los regularores del crecimiento vegetal (RCV) juegan un papel muy importante en el crecimiento de las plantas y en la agricultura, debido a que estas sustancias pueden producir efectos beneficiosos al hombre (Larqué- Saavedra y Reyes, 1988).

La producción de RCV por vía microbiana es una de las alternativas compatibles con los principios de la agricultura sostenible, debido a su menor impacto en el medio ambiente y a que son menos agresivos en comparación con los plaguicidas y fertilizantes minerales convencionales (Eng, 1996)

El ácido jasmónico (AJ) y sus derivados son los representantes de los reguladores del crecimiento vegetal exógenos denominados jasmonatos. Dicho compuesto puede obtenerse como metabolito secundario del hongo *Botryodiplodia theobromae* en fermentación sumergida.

El ácido jasmónico inicialmente fue identificado como promotor de la senescencia de las hojas y como inhibidor de plantas superiores (Sembdner y Gross, 1986). Otros efectos importantes son: la estimulación de la formación de tubérculos en papa y ñame (Koda, 1992), incrementos de los rendimientos agrícolas en fresa, soya y caña de azúcar (González, 2002; Michelena, 2001; Dathe y col, 1990), estimulación de la maduración de los frutos en tomate y manzanas (Sembdner y Parthier, 1993).

El ácido jasmónico juega una función reguladora clave en los mecanismos de respuesta de defensa de las plantas a la herida causada por el ataque de insectos y plagas, demostrándose que las plantas responden ante infecciones patógenas o al propio ataque de los insectos, por un incremento en los niveles de A. Jasmónico (Kaur Gidda, y col, 2003; O Donoel, P, 2003; Cipollini and Sipe, 2001; Ziegler y col, 2001; Roetschi y col, 2001; Kitakara y col, 1991).

Se conoce además que la alteración de los genes en las plantas por ataques de patógenos o por heridas mecánicas provoca la síntesis de sustancias de defensa como el inhibidor de proteasa y la tripsina en las zonas dañadas (Ciponilli and Bergelson, 2000). La aplicación del ácido jasmónico en el cultivo del arroz inhibe la germinación de esporas de ***Pyricularia oryzae*** hongo que provoca la enfermedad del tizón del arroz (Hamberg, 1992). Los jasmonatos participan además en la regulación de rutas metabólicas implicadas en respuestas ante el stress abiótico y biótico en las plantas (Pozo, 1997) .

Los reportes de la literatura muestran que a partir de tejidos vegetales es posible separar y purificar ácido jasmónico mediante extracción con solventes. Así como también pueden ser usados métodos cromatográficos, empleando columnas de carbón, silica-gel, silicagel-octadesil-silil e intercambio iónico (Ueda y Kato, 1980; Ueda y col, 1994).

Los tratamientos con resinas de intercambio iónico han sido utilizados para la purificación de caldos de fermentación con fines alimenticios y farmacéuticos según se reporta en la literatura (Delmer , 1998; Parajo y col, 1996). Diferentes autores emplean procesos de intercambio iónico, para recuperar ácidos con altas recuperaciones, dependiendo de las condiciones de operación del producto a separar en cuestión (Michelena y col, 2001; Bueno y col, 1997).

Uno de los métodos de separación y purificación de metabolitos secundarios (fitohormonas) a partir de caldos de cultivo lo constituye la aplicación de resinas de intercambio iónico. Son muy utilizadas las resinas de intercambio aniónico: Amberlita IRA 400 y 401 en forma cloruro; Amberlita IRA 45- (OH) ; Dowex; así como diferentes geles como los DEAE- Sephadex A- 25 (Nápoles y Villa, 1999; Ortega y Castillo, 1998)

En las resinas de intercambio iónico el ácido se une por el intercambiador por medio de grupos funcionales, así es adsorbido cuantitativamente y posteriormente desorbido usando diferentes agentes de elusión (Mikes, 1961). Los eluatos resultantes pueden estar sujetos a posteriores tratamientos como son concentración y / o cristalización que posibilitan la recuperación de los productos adecuadamente .

Los mecanismos de las reacciones de intercambio iónico y las técnicas utilizadas en este proceso son muy similares a las de la adsorción, por lo que puede considerarse el intercambio iónico simplemente como un caso específico de la adsorción, por lo que los fundamentos teóricos del fenómeno adsorción pueden ser aplicados durante el estudio y predicción del proceso de intercambio de iones de interés (Mikes, 1961). Al juzgar la eficiencia de un intercambio en una solución, hay que tener en cuenta la posible influencia de las propiedades específicas de cada matriz (Kirk y col, 1961)

En el presente trabajo se realiza un estudio del efecto del tratamiento con resinas de intercambio iónico en caldos de *Botryodiplodia theobromae* conteniendo ácido jásmónico, con la finalidad de obtener un producto puro con alto valor agregado.

Materiales y Métodos

Muestras.

Caldos obtenidos por fermentación líquida del hongo *Botryodiplodia theobromae* (cepa 2334) después de separar la biomasa por filtración a vacío .

Métodos Analíticos.

Determinación de la materia seca..

La materia seca se determinó gravimétricamente, en estufa a vacío, a 105 ^{o} C , durante 24 horas, hasta peso constante (Beart M., 1992).

Determinación del valor del pH.

El pH se determinó en un potenciómetro pH-meter 26 , previa calibración del equipo con soluciones buffers de sodio y potasio con valores de pH 4 y 7.

Determinación de la concentración de ácido jasmónico.

La cuantificación del ácido jasmónico se realizó mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en un equipo System Gold de Beckman. Se utilizó una bomba K 1001 KNAUER acoplada a un

detector Ultravioleta KNAUER, un inyector RHEODYNE (modelo 7125) con un lazo de 20 µL y como patrón : (±)-Acido Jasmónico SIGMA.

La fase móvil compuesta de metanol- agua (60:40) con ácido acético al 0.1 % (v/v). Se empleó un flujo de 0.85 ml/min y una columna Hypersil ODS (25cm x 4.6mm x 5µm d.i.). La detección se fijó a una longitud de onda de 210 nm. El tiempo de corrida fue de 15 min.

Se realiza una dilución requerida de los extractos rotoevaporados en la fase móvil, de manera que la respuesta del detector se encuentre dentro del rango correspondiente a la curva de calibración. Posteriormente se filtra por filtros de jeringuilla ISO DISC de 0.45 µm para realizar la inyección al cromatógrafo.

La cuantificación del AJ presente se basó en la comparación de las áreas de los picos con los correspondientes a las áreas de los picos de los patrones según el método del estándar externo, usando el software CRHOM- GATE, KNAUER para la adquisición y procesamiento de los datos.

Procedimiento.

Tratamientos del caldo de *Botryodiplodia theobromae* conteniendo ácido jasmónico con resinas de intercambio iónico. Determinación de la isoterma del proceso.

Muestras de caldo fermentado libre de células a pH 3.0; (10 mL), fueron tratadas con diferentes resinas de intercambio iónico (Amberlita IRA-400 (Cl); Amberlita IRA 401 (Cl) y Amberlita IR-45 (OH), utilizando diferentes cantidades (50; 100; 150; 200 y 250 mg) base seca en cada caso y fueron mantenidas en agitación a 100 rpm, durante 24 horas para asegurar su estado de equilibrio. Posteriormente se procedió a la filtración a vacío y en los sobrenadantes obtenidos se determinó volumen y pH. Los mismos se rotoevaporaron a sequedad a 50 ^{o} C y se determinó la concentración de ácido jasmónico.

Resultados y Discusión

En las tablas I, II y III se pueden apreciar los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos de caldos de fermentación con las resinas de intercambio iónico del tipo Amberlita IRA -400 e IRA- 401 ambas en forma Cl y Amberlita IRA-45 (OH), variando las cantidades de resina.

Tabla I: Tratamiento de caldo fermentado conteniendo AJ con resina Amberlita IRA-400 (Cl)

Cantidad (mg)	pH	AJ no retenido (mg/ mL)	AJ no retenido (mg)	AJ retenido (mg)	q (mgAJ retenido/mg resina)
0	3.0	0.1494	1.494	0.000	0.000
50	3.0	0.1356	1.3288	0.1652	0.0033
100	3.0	0.1298	1.2720	0.222	0.0022
150	3.0	0.1211	1.1867	0.3073	0.0020
200	3.0	0.1081	1.0593	0.4347	0.0021
250	3.0	0.0985	0.9653	0.5287	0.0021

Tabla II: Tratamiento de caldo fermentado conteniendo AJ con resina Amberlita IRA- 401(Cl)

Cantidad (mg)	**pH**	**AJ no retenido (mg/ mL)**	**AJ no retenido (mg)**	**AJ retenido (mg)**	**q (mgAJ retenido/mg resina)**
0	**3.2**	**0.1494**	**1.494**	**0.000**	**0.000**
50	**3.5**	**0.1168**	**1.1446**	**0.3494**	**0.0069**
100	**4.0**	**0.0838**	**0.8212**	**0.6728**	**0.0067**
150	**4.3**	**0.0643**	**0.6301**	**0.8639**	**0.0058**
200	**4.5**	**0.0535**	**0.5243**	**0.9697**	**0.0048**
250	**4.8**	**0.0413**	**0.3964**	**1.0976**	**0.0043**

Tabla III: Tratamiento del caldo fermentado conteniendo AJ con resina Amberlita IRA-45 (OH)

Cantidad (mg)	**pH**	**AJ no retenido (mg/ mL)**	**AJ no retenido (mg)**	**AJ retenido (mg)**	**q (mgAJ retenido/mg resina)**
0	**3.0**	**0.1494**	**1.494**	**0.000**	**0.000**
50	**3.6**	**0.0511**	**0.5007**	**0.9933**	**0.0198**
100	**4.1**	**0.0222**	**0.2175**	**1.2764**	**0.0127**
150	**4.7**	**0.0188**	**0.180**	**1.314**	**0.0087**
200	**5.1**	**0.000**	**0.000**	**1.494**	**0.0075**
250	**5.9**	**0.000**	**0.000**	**1.494**	**0.0059**

De acuerdo a los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos del caldo de cultivo con las resinas de intercambio iónico, se puede señalar que al utilizar las resinas Amberlita IRA-401 (Cl) y Amberlita IRA-45 (OH), en el pH se detecta variación, observándose un paulatino aumento en dichos valores al incrementarse la cantidad de resina, manifestándose un mayor cambio cuando se usó Amberlita IRA-45 (OH), todo lo cual está relacionado con una mayor retención (adsorción) de los compuestos acídicos, que se encuentran presentes en el caldo fermentado, sobre el material en cuestión. Cuando se utiliza Amberlita IRA-400 (Cl), el pH se mantiene constante.

De igual forma , la cantidad de ácido jasmónico retenido sobre éstas resinas aumenta al incrementarse la cantidad de resina respectivamente, detectándose sólo con la resina Amberlita IRA-45 (OH) que se llega a alcanzar el valor inicial de AJ determinado en el caldo. Así también se observa una disminución en la relación q (mg AJ retenido /mg resina) en estos tratamientos.

El comportamiento respecto a la retención de AJ sobre las diferentes resinas al variar las cantidades de éstas, se muestra en la figura 1.

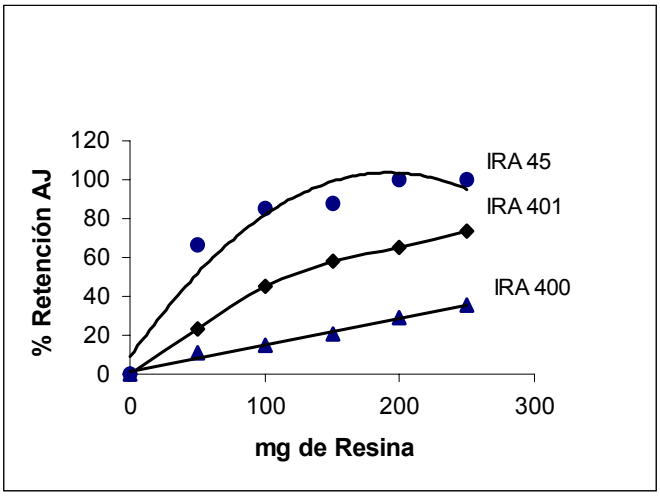


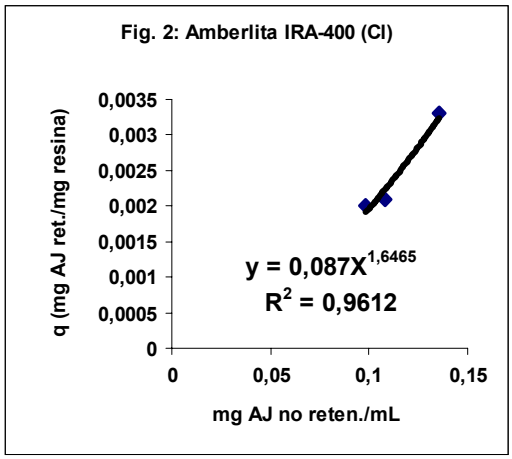
Figura1: Tratamiento del caldo con diferentes resinas de Intercambio iónico del tipo Amberlita.

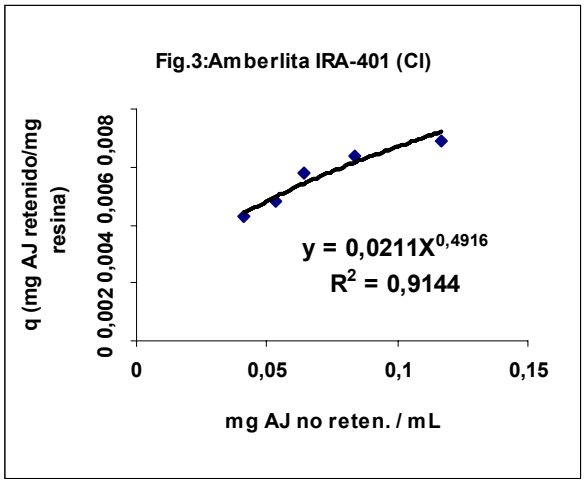
En los tres tratamientos se muestra un incremento en los porcientos de retención al variar la cantidad de resina aniónica. El mayor incremento se detectó con la Amberlita IRA- 45 (OH), seguido en orden de la Amberlita IRA- 401 (Cl). Con respecto a la Amberlita IRA- 400 (Cl), se manifiesta un ligero cambio en dicho parámetro, pero los valores no sobrepasan en ningún caso el 50 %.

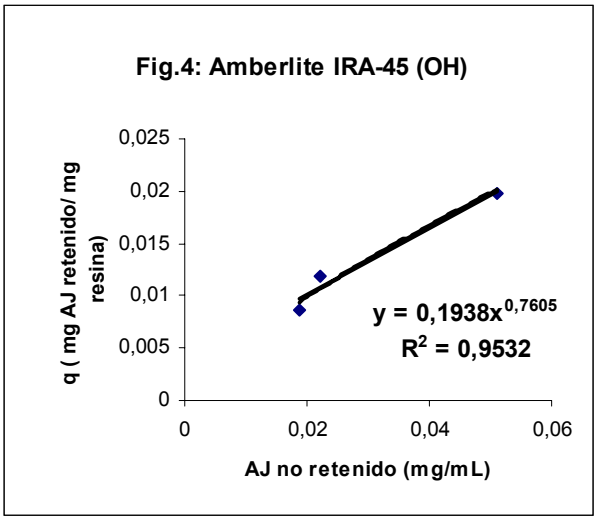
Del análisis de los resultados, se infiere que los mejores índices de retención de AJ se obtienen al emplear Amberlita IRA-45 (OH), con la cual se alcanza un 100% de retención usando 200 mg de material, por lo que se puede definir la misma como una cantidad factible para permitir una total separación del ácido jasmónico a partir del caldo de cultivo; el cual puede ser después recuperado mediante su elusión con un eluente adecuado. Dicho eluente puede seleccionarse realizando un estudio de elusión y así el ácido jasmónico quedaría libre de impurezas.

La distribución de equilibrio de un ión, entre un sólido de intercambio y una solución, se puede describir gráficamente trazando las isotermas de forma análoga a una adsorción.

Sobre la base de los resultados obtenidos, se procedió a construir las isotermas correspondientes a la retención de AJ, representándose la curva de equilibrio para cada resina, la cual relaciona la cantidad de AJ retenido por mg de resina , con la concentración de equilibrio de este soluto en solución (mg AJ / mL), cuyos resultados se muestran en las figuras 2 , 3 y 4.







Figuras 2,3 y 4: Isotermas de AJ sobre diferentes resinas de intercambio

Como resultado del tratamiento en bacht del caldo de cultivo con diferentes cantidades de intercambiadores aniónicos, se obtuvieron las correspondientes isotermas, las cuales fueron expresadas de acuerdo a la ecuación : $q = K\ x^{n}$ y ajustadas estadísticamente en los tres casos, al modelo empírico de Freundlich (Belter y col, 1988, Treybal, 1980).

De acuerdo los comportamientos isotérmicos obtenidos al tratar el caldo fermentado con resina Amberlita IRA-401(Cl) e IRA-45 (OH), se puede señalar que estos procesos de intercambio son favorables (n= 0.49 y n= 0.76 respectivamente), ya que los exponentes presentan un valor menor que 1; y los coeficientes de regresión (R^2) presentan valores de 0.91 y 0.95 respectivamente. Los altos valores de correlación obtenidos, muestran una bondad de ajuste a cada modelo respectivamente, de lo cual se infiere que en las condiciones de trabajo, los mismos son modelos válidos y describen dichos procesos de retención de ácido. jasmónico.

El proceso de intercambio empleando resina Amberlita IRA 400 (Cl), presentó un exponente n = 1.67. Como dicho valor es mayor que la unidad, dicho proceso se considera desfavorable, lo cual además queda evidenciado con la baja retención obtenida con este tratamiento, siendo esta resina inefectiva.

Las concentraciones de ácido jasmónico retenido sobre las resinas Amberlita IRA-401 (Cl) e IRA 45 (OH), (q máxima), en el equilibrio fueron 0.0083 y 0.045 (mg AJ / mg resina) respectivamente.

Se evidencian los mejores resultados con la Amberlita IR 45- (OH), con la cual se obtiene una mayor relación de AJ retenido por mg de resina empleada.

Teniendo en cuenta los modelos obtenidos se pueden realizar cálculos matemáticos que permiten desarrollar procesos a mayor escala con dicha resina.

Conclusiones

- Se detectó un incremento en el pH al variar la cantidad de resinas Amberlita IRA-401 (Cl) y Amberlita IRA-45 (OH).
- En los tres tratamientos se incrementan los porcientos de retención de ácido jasmónico al variar la cantidad de resina.
- Los mejores índices de retención de AJ se obtienen al emplear resina Amberlita IRA-45 (OH), alcanzándose un 100% de retención.
- Se selecciona la cantidad de 200 mg de resina Amberlita IRA-45 (OH) como factible para permitir una total separación del ácido jasmónico a partir del caldo de cultivo .
- Las isotermas obtenidas fueron ajustadas estadísticamente al modelo empírico de Freundlich.
- Los tratamientos del caldo con resinas Amberlita IRA-401(Cl) e IRA-45 (OH) se consideran procesos de adsorción favorables.
- Se obtuvieron modelos válidos que describen los procesos de retención de ácido jasmónico.
- Las concentraciones de ácido jasmónico retenido sobre las resinas Amberlita IRA-401 (Cl) e IRA 45 (OH) en el equilibrio fueron 0.0083 y 0.045 (mg AJ / mg resina) respectivamente, obteniéndose con ésta última una mayor relación de AJ retenido por mg de resina empleada, siendo este material más adecuado para la separación y purificación del metabolito.

Recomendaciones

Llevar a cabo un estudio de elusión del ácido jasmónico retenido sobre resina Amberlita IRA-45 (OH), con diferentes agentes eluentes.

Referencias

Beart M. (1992) .Manual de Técnicas Analíticas. ICIDCA.

Belther, P. A.; Cussler, E. L.; Wei-Shou Hu. (1988). Downstream Processing for Boitechnology. Bioseparations, Extracction. Adsorption. New York. E. U. 99- 180.

Bueno, G; Redondo, D.; Delgado, G.; Zayas, O.; López, M. S.; Pérez, k.; Garriga, Y.; Aguilar, L. (1997). *Revista ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar.* Vol. XXXI, No. 3 : 27-31.

Cipollini, DF. and Sipe, M.L. (2001) *Chemoecology,* Vol 11, Iss 3,: 137-143.

Ciponilli, D. F; Bergelson, J. (2000). *Journal of Chemical Ecology* 26, 1411-1422.

Dathe, W.; Miersch, O.; Sembner, G.; Kochmann, W.; Kunchnel,F.; Reinhardt, P. (1990). Patentschrift DD 276025 Al, Akademie der Wissenschaften, Deutshe Demokratiche Repubilk. Mitzel zur Ertragssteigerung bei Erdbeeren.

Delmer, R. L. (1998). Producción de xilitol por vía microbiológica. Tesis de Maestría. Instituto de Farmacia y alimentos. IFAL- UH.

Eng, F. (1996). Producción de Acido Jasmónico con *Botryodiplodia theobromae* por cultivo liquido y por fermentación en medio sólido. Tesis presentada para obtener el grado de Maestro en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad- Iztapalapa. División de Ciencias Biológicas y de la salud. Mexico, D. F.

González, M.A. (2002). Estudios parciales sobre la presencia de la enzima lipoxigenasa en el hongo *Botryodiplodia theobromae*. Tesis de Diploma. Facultad de Biología. Universidad de La Habana.

Hamberg, M. 1992. *Biochem. Biophys. Res. Commun*., 156:143-150.

Kaur Gidda, S, Miersch, O; Levitin, A and Schmidt,J. ; Wasternack, C and Varin, L. (2003).. *J. Biol. Chem*. , Vol. 278, iss 20,: 17895-17900

Kirk, R. E.; Othmer, D. F.; Scott J. D. y Standen, A. (1961). Adsorción. Enciclopedia de Tecnología Química. México.

Kitahara, T.; Warita, Y; Abe, M. ; Seya, M. ; Takagi, Y; Mori, K. (1991). *Agric. Biol. Chem*. 55: 1013-1017.

Koda, Y. (1992).*Rev.of Citology*, 135: 155- 199.

Larqué-Saavedra, A, ; Reyes, R. (1988). *Ciencia y desarrollo,* XIV, 82: 49-63.

Michelena, G. (2001). Evaluación del Ácido Jasmónico en Experimentos sobre Caña de Azúcar . Etica de Villa Clara. CENPALAB. Subdirección de Biotecnología. ICIDCA.

Michelena, G.; Carrera, E.; Bell.A.; Altuna,B.; Almeida, G. (2001).*Revista Tecnología, Ciencia y Educaci*ón, (IMIQ). México. 16, 1 : 12-19.Bueno 1997

Mikes, O.; Chalmers, R. A. (1961). Laboratory handbook of Chromatographic methods. D. Van Nostrand. Series in Analytical Chemistry. D. Van Nostrand Company-LTD. London.

Nápoles. A. I; Villa, P. (1999*). Congreso Latinoamericano de Micología*. La Habana: 67.

O'Donoel, P. ; Schmelz, E. ; Mousssatche, P. ; Lund, S. ; Jones, J. B. ; Klee,H. J. (2003). *The Plant Journa*l, 33: 245-257

Ortega; G. M. ; Castillo, G. (1998). *Revista ICIDCA. Sobre Los Derivados de la Caña de Azúcar*, Vol. XXXII, No. 3: 14-41.

Parajo, J. C ; Domínguez, H. ; Domínguez, J. M. (1996). *Bior Tech*, 57: 179- 185.

Pozo, L. (1997). Aspectos de la Absición Precóz de Frutos Cítricos y de su Regulación endógena en las condiciones climáticas de Cuba. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Facultad de Biología. Universidad de La Habana.Cuba.

Roetschi, A. ; SIAmmour, A. ; Belbahri, L. B. (2001) *Plant Journal,* Vol. 28 Iss 3: 293-305

Sembdner, G; Gross, D. (1986). Plant Growth Substances of Plant Microbial. In Plant Growth Substances, 1985; Ed.. Bopp, Berlin / Heidelberg / N. York / Tokyo. Spring- Verlag: 139-147.

Sembner, G; Pathier, B. (1993). *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol*. 44: 569-589.

Treybal,R. E. (1980). Operaciones con Transferencia de Masa. Extracción líquido- líquido , Adsorción. Ed. Pueblo y Educación. 470-652.

Ueda, J.; Kato, J. (1980). *Plant Physiol*. 66: 246-249.

Ueda, J.; Miyamoto, K.; Kamisaka, S. (1994*). Journal of Chromat. A*. 658: 129-142.

Ziegler, J;Keinanen, M.; Baldwin, IT. (2001). *Phytochemistry*, Vol 58, Iss 5: 729-73.8

EFECTO ECONOMICO COMPARATIVO DE LA PRODUCCION DE CARNE BOVINA Y DE CERDO A PARTIR DE MIELES ENRIQUECIDAS

COMPARATIVE ECONOMICAL EFFECT OF PRODUCING BOVINE AND SWINE MEAT BASED ON HIGH SUCROSE SYRUPS

AGUSTIN CABELLO

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y C. Central, S. Miguel del Padrón, C. Habana, Cuba
Cabello@icidca.edu.cu

RESUMEN

Se compara la ganancia económica de producir azúcar +miel final, azúcar +carne ó solo carne de bovino ó de cerdo en términos de ingresos netos totales variando el valor de mercado del azúcar y la miel final. Se calcula el valor máximo que es posible asignar a cada tipo de miel. Se evidencia que la producción de carne de cerdo es más ventajosa que la de bovino con este tipo de productos. La eficiencia tecnológica del sistema productivo pecuario resulta decisiva sobretodo cuando se emplean mieles de mayor riqueza de sacarosa. A precios del azúcar de $200/ton ó superiores la producción de cualquier tipo de carne basada en producir menos azúcar es menos ventajosa que la de azúcar + miel final y se puede justificar solo a partir de caña excedente.

ABSTRACT

The production of either sugar plus molasses, sugar plus meat or only meat based on the utilization of high sucrose syrups is compared in terms of total net incomes at different market prices for sugar and molasses. The maximal value that can be assigned to the different types of syrups for meat production is calculated.
It turned evident that swine meat production has a higher return than bovine meat with this type of products. The technological efficiency of the animal production system has a decisive influence specially when the sucrose richer products are used. At sugar prices of $ 200/ ton or higher, meat production of any kind renders a lower income than the production of sugar + molasses unless the meat is produced out from surplus cane.

INTRODUCCION

La producción de carne es una alternativa al uso de la caña cuando los precios del azúcar son bajos. Esta alternativa es especialmente interesante para países importadores de carne siempre que los costos de producción sean competitivos con los precios de la carne importada. Las mieles finales de caña han sido utilizadas como fuente de energía en la alimentación de diferentes especies con resultados positivos desde el punto de vista biológico, sobretodo en engorde de vacunos y en general su precio en el mercado mundial se correlaciona con él de los granos, especialmente el maíz. (GEPLACEA 1989, Muñoz et al 1970)

Otros tipos de mieles de mayor riqueza en sacarosa han sido evaluados aunque su uso es menos generalizado que el de la miel final porque su extracción del proceso significa producir menos azúcar cristalizable. Para este tipo de mieles no se reportan precios de mercado internacional y por lo general estos se fijan en función de su contenido de sacarosa.

En Cuba existe una experiencia amplia a escala comercial en el engorde de cerdos utilizando este tipo de mieles sustituyendo totalmente los cereales en la etapa de ceba, 30-90 Kg, (MINAGRI 2000)

El objeto del presente trabajo es evaluar el efecto económico integral de utilizar diferentes tipos de mieles en la producción y comercialización de carne bovina ó porcina y de comercializar el azúcar resultante de estas operaciones en comparación con la operación normal de un ingenio produciendo azúcar y miel final.

METODOLÓGIA

Se analizaron las siguientes variantes:

-Producción de azúcar en tres templas y venta de la miel final (patrón de referencia)
-Producción de azúcar en dos templas y uso de la miel B resultante para producir carne bovina
-Ídem a la variante anterior pero produciendo carne porcina.
-Producción de azúcar en una templa y uso de miel A para producir carne bovina.
-Ídem a la variante anterior pero produciendo carne porcina.
-Producción de miel rica (no se produce azúcar) para producción de carne porcina.

El efecto medido fueron los ingresos obtenidos por la fábrica de azúcar al vender los diferentes productos tomando como base de cálculo una tonelada de caña moviendo el precio del azúcar y de la miel final con el fin de determinar en que condiciones de precio de estos productos puede resultar atractiva la producción de los dos tipos de carne evaluadas. Adicionalmente se calculó el valor ó precio máximo que puede tener cada tipo de miel, siendo aquel que hace nula la ganancia

Los costos de la miel fueron tomados de las normativas que el MINAZ ha establecido para estas corrientes intermedias del proceso azucarero que representan más bien el precio de oportunidad al que resulta interesante venderlas y no convertirlas en azúcar.

Los costos y los precios del azúcar se asumieron iguales en todas las variantes, sin tomar en cuenta la reducción de operaciones tecnológicas, la reducción de insumos y la mejor calidad del azúcar producido cuando se reduce el número de masas cocidas (ver Tabla I). Los otros componentes de costo (insumos alimenticios que no son miel, combustible, medicamentos, mantenimiento y amortización de instalaciones) fueron tomados de acuerdo a los criterios oficiales vigentes en el MINAZ y en el MINAGRI.

No se valoró el bagazo sobrante que resulta de reducir el número de templas de azúcar producida.

En el caso de la carne bovina se asumió como escenario un cebadero rústico en él que compran animales de 120 Kg y se engordan hasta 400 Kg (Stuart 2002). En el caso de la carne porcina se

asumió como escenario un centro integral y se evaluaron 2 niveles de eficiencia de acuerdo con Carballal (2002). Los parámetros considerados para cada variante se presentan en el anexo 1.

El análisis fue realizado solo en divisas, es decir que no se tuvieron en cuenta los costos en moneda nacional ya que se consideró el balance en divisas como el aspecto fundamental.

TABLA I. ÍNDICES DE RENDIMIENTO, COSTOS Y PRECIOS DE IMPORTACIÓN

PRODUCTO	COSTO O PRECIO ($/T)	RENDIMIENTO EN CAÑA (%)	OBSERVACIONES
AZÚCAR (3 MASAS)	59,50	12,40	
AZÚCAR (2 MASAS)	59,48	12,00	
AZÚCAR (1 MASA)	48,38	7,70	
MIEL RICA (MR)	43,65	19,20	72% ART
MIEL A (MA)	17,05	6,50	68% ART
MIEL B (MB)	18,13	4,50	65% ART
MIEL FINAL (MF)	0,00	3,80	55% ART
CAÑA (FORRAJE)	5,50	-	-
C. PORCINA (MR)	1311,03	5,70	Carne en Banda
C. PORCINA (MA)1	1210,57	1,70	
C. PORCINA (MB)1	1221,12	1,20	
C. PORCINA (MR)2	1567,73	4,70	
C. PORCINA (MA)2	1445,39	1,50	
C. PORCINA (MB)2	1458,25	0,90	
C. BOVINA (MR)	1225,60	1,70	
C. BOVINA (MA)	912,40	0,50	
C. BOVINA (MB)	979,86	0,40	
C. PORCINA IMPORTADA	1480,00	-	
C. BOVINA (MLC)	1985,42	-	0,953 USD/kg. en pie

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla I se presentan los costos calculados para la producción de ambos tipos de carne producida utilizando los diferentes tipos de miel analizados. En la misma se puede apreciar que la carne producida con miel rica es la de mayor costo y la producida con miel A presenta un menor costo que la producida con miel B. El costo asignado a la miel A es menor que él de la miel B lo que unido a la pequeña diferencia de contenido de azúcares entre ambas arroja este resultado aparentemente contradictorio.

Resultan evidentes las diferencias de costo entre los dos sistemas de producción de carne porcina evaluados (1 y 2). La variante menos eficiente (2) presente costos más altos ó muy similares al precio de la carne importada, lo que determina que no sea interesante el uso de miel rica en esta variante y que el margen de ventaja de la miel A ó B sea muy estrecho (solo de 2-3% más barata que la carne importada).

En el caso de la carne bovina la diferencia entre costos y precio es mayor que en la carne porcina, lo que indica que los otros insumos alimenticios son más baratos en esta especie. Otro factor que pude influenciar este resultado es que mientras para el bovino solo se consideró la

etapa de ceba, en la producción porcina se consideró un centro integral donde las categorías de animales más pequeños consumen una ración más costosa que los animales en ceba.

Las tablas II, III y IV los resultados comparativos de producir carne bovina ó porcina en relación con producir Azúcar y miel final para exportar. Para el caso de la miel rica solo la producción de carne porcina con alta eficiencia produce ingresos netos superiores a los del azúcar hasta un valor de ésta de $150/ton. (Tabla II). La variante porcina menos eficiente produce perdidas aún al más bajo precio del azúcar y la carne bovina produce ganancias inferiores al azúcar en todo el rango evaluado.

En el caso de le miel A (Tabla III) y de la miel B (Tabla IV) se repite el mismo comportamiento con la única diferencia de que la carne bovina reporta mayores ingresos que el azúcar cuando el precio de ésta es mínimo. Al precio de $200/ ton del azúcar, la diferencia de ingresos entre la variante de referencia y la producción de carne porcina con alta eficiencia se torna más estrecha, especialmente en el caso de la miel A.

Finalmente las Tablas V y VI muestran los valores máximos que pueden llegar a tener los diferentes tipos de miel sin producir perdidas en la producción de cada tipo de carne. Es interesante destacar que la producción porcina de alta eficiencia (señalada en la tabla como "turismo") es la que más revaloriza las mieles aún cuando tiene una relación costo/ ganancia más baja que la carne bovina. Esto se debe a que produce mucho más carne por unidad de miel consumida que el bovino. Cuando esta eficiencia de conversión empeora, como es el caso de la producción denominada "comercial" el valor máximo que puede alcanzar la miel se asemeja en ambas especies aunque es superior en el bovino.

CONCLUSIONES

Disminuir la producción de azúcar para producir carne de res ó de cerdo utilizando mieles enriquecidas como fuente energética en la ración es una decisión que depende tanto del precio del azúcar y de la carne como de la eficiencia de conversión de la miel en carne.

La eficiencia de conversión de miel en carne no solo esta condicionada por la especie animal sino también por la eficiencia del sistema de explotación pecuario con que se cuente (genética, instalaciones, salud animal, manejo). El efecto económico de este tipo sistema sobre el costo de producción de la carne (amortización) debe ser tomado en cuenta.

Salvo el caso de precios excepcionalmente bajos del azúcar es preferible producir carne a partir de miel A ó B que a partir de miel rica integral.

La carne porcina permite índices de ganancias más altos que la carne bovina pero demanda más capital de trabajo que ésta.

TABLA II. VALOR AGREGADO DE UNA TONELADA DE CAÑA A DIFERENTES PRECIOS DEL AZÚCAR Y LA MIEL FINAL ($/t)
(Miel Rica)

Precio del azúcar	110	130	150	200
Precio de la M. Final	40	45	50	55
Azúcar + M. Final	7,8	10,45	13,1	19,5
C. Porcina "A"	14,1	14,1	14,1	14,1
C.Porcina "B"	- 6,0	- 6,0	- 6,0	- 6,0
C. Bovina	5,1	5,1	5,1	5,1

TABLA III. VALOR AGREGADO DE UNA TONELADA DE CAÑA A DIFERENTES PRECIOS DEL AZÚCAR Y LA MIEL FINAL ($/T)
(Miel A)

Precio del azúcar	110	130	150	200
Precio de la M. Final	40	45	50	55
Azúcar + M. Final	7,8	10,45	13,1	19,5
C. Porcina "A"	11,7	13,2	14,7	18,6
C. Porcina "B"	5,4	7	8,6	12,4
C. Bovina	8,2	9,1	10,0	12,1

TABLA IV. VALOR AGREGADO DE UNA TONELADA DE CAÑA A DIFERENTES PRECIOS DEL AZÚCAR Y LA MIEL FINAL ($/T)
(Miel B)

Precio del azúcar	110	130	150	200
Precio de la M. Final	40	45	50	55
Azúcar + M. Final	7,8	10,45	13,1	19,5
C. Porcina "A"	11,2	12,9	13,8	16,7
C. Porcina "B"	2,4	3,3	4,2	6,4
C. Bovina	8,3	9,4	10,5	13,3

TABLA V. VALORACIÓN DE LAS MIELES EN LA PRODUCCIÓN DE CARNE BOVINA

Tipo de miel	Rica	A	B	Observaciones
Pot. Productivo (Mt / año). C. Pie	117,36	117,36	117,36	Ceba de 120 – 420 Kg durante 450 días. Cebadero típico de 200 animales: 40 has de pasto 10 has de caña M. Amonificada: 2,1% PV H. Algodón: 0,5 Kg. / día Minerales: 40 grs / día Caña o pasto: 3% PV Compra: 0,415 $ / Kg PV Venta: 0,953 $ / Kg. PV Producción: 40 animales por año
Gastos Totales (MM / año)	71,88	71,88	71,88	
Valor de Prod. (MM / año)	111,69	111,69	111,69	
Ganancia / Costo (%)	55,4	55,4	55,4	
Ton Miel / Ton Carne	5,28	5,59	5,85	
Valor equivalente Miel ($ / t)	64,23	60,66	57,98	

TABLA VI. VALORACIÓN DE LAS MIELES EN LA PRODUCCIÓN PORCINA Y SU DEPENDENCIA DE LA EFICIENCIA TECNOLÓGICA

TECNOLOGÍA	TURISMO		COMERCIAL (S / I)	
TIPO DE MIEL	RICA	A	RICA	A
PESO DE SACRIFICIO	95	95	80	80
POT.PROD (mt/año)	20,13	20,13	29,60	29,60
TON MIEL/TON CARNE	2,38	2,39	2,91	3,22
GASTOS TOTALES (MMUSD)	14,48	14,74	25,48	25,86
VALOR PROD (MMUSD)	20,26	20,26	29,79	29,79
GANANCIA/ COSTO (%)	39,9	37,4	16,9	15,2
VALOR MIEL (USD / TON)	125,16	108,02	52,12	42,94

BIBLIOGRAFIA

Carballal J. M, (2002) Comunicación personal

GEPLACEA (1989) “La miel como recurso alimenticio para producción animal”. México D.F.

MINAGRI. GRUPOR. IIP. (2000) “Elementos básicos para el desarrollo de la producción de carne de cerdo en Cuba sobre la base de mieles de caña de azúcar en sustitución de cereales”.

Muñoz, F., Morciego, F., Preston, T,R, (1970) “Ceba comercial de toros con miel/urea, harina de pescado y pastoreo restringido en condiciones de cebadero”. Rev, Cubana de Ciencia Agrícola. Vol.4, pp. 99-104.

Stuart R. (2002) Comunicación personal

ANEXO 1 INDICADORES PRODUCTIVOS PARA DOS SISTEMAS DE PRODUCCION PORCINA.

INDICADOR	SISTEMA 1 (TURISMO)	SISTEMA2 (COMERCIAL)
Parto/puerca	2,2	2,1
Crías/parto	9,5	9,3
Viabilidad cría %	90,0	88,0
Viabilidad precebas %	94,0	92,0
Viabilidad ceba %	98,0	96,0
Peso sacrificio, Kg	95,0	80,0

ESQUEMA INTEGRADO AZÚCAR-ALCOHOL-LEVADURA TORULA.

INTEGRATED SCHEME OF SUGAR-ALCOHOL-FODDER YEAST

Gustavo Saura-Laria., Miguel A. Otero-Rambla y Julio A. Martínez-Valdivielso

Instituto Cubano Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICIDCA).Vía blanca 804 .
San Miguel del Padrón. C. Habana. CUBA. saura@icidca.edu.cu.

RESUMEN.

El presente trabajo muestra las ventajas de emplear esquemas integrados en la producción de azúcar, alcohol y levadura en comparación con la operación aislada de estas instalaciones.
Desde el punto de vista de materias primas, la operación integrada reduce significativamente (37%) el déficit de miel final para un ingenio de 5500 t de caña molida/día, asociado con una destilería de 1200 HL/día y una planta de producción de 30 t/día de levadura forrajera.
Con relación al balance energético, la integración de los procesos revierte el déficit de electricidad producida (315 Mw en toda la campaña) para entregar 780 Mw a la red nacional como electricidad sobrante utilizando como fuente energética el bagazo.
Desde el punto de vista del balance económico del complejo productivo, se obtienen reducciones de los costos de producción de $40.00 t/azúcar, $7.00 HL/alcohol y $30.00 t/levadura, si se conducen las producciones de forma integrada.

Palabras clave: complejo azucarero, operación integrada, alcohol, destilería, levadura forrajera

ABSTRACT

The present paper shows the advantages of the utilization of an integrated scheme for sugar, alcohol and fodder yeast production as compares to the isolated operation of individual plants.
From the raw material outlook, integrated operation yields a significant reduction (37%) of molasses déficit for alcohol fermentation in a 5500 t/day sugar mill associated to a 1200 HL/day distillery and a fodder yeast plant of 30 t/day.
Concerning to energt balance, the process integration reverts an electricity déficit (315 Mw along the campaign) to deliver an overproduction of 780 Mw, using bagasse as the sole fuel.
In connection with economic balance the productive complex reduces its production costs in $40.00 t/sugar, $7.00 HL/alcohol and $30.00 t/yeast, if they are conducted in the integrated mode.

Key words: sugar complex, integrated operation, alcohol, distillery, fodder yeast

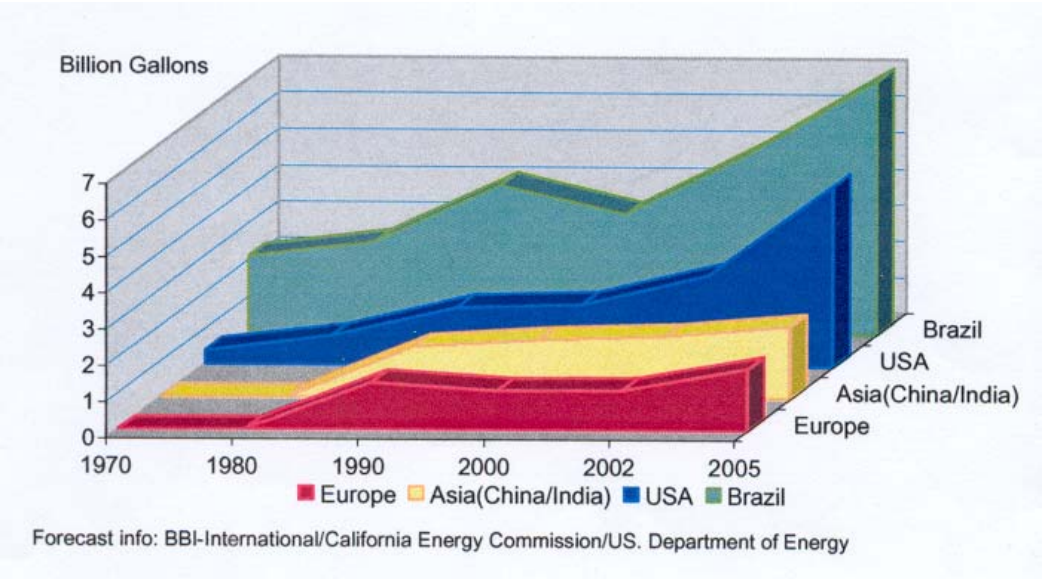
INTRODUCCIÓN

El mercado de los combustibles ha constituido desde hace mucho tiempo, una incertidumbre para los países no productores de petróleo, desde niveles de $3.00 US$ el barril en la década de los 70 hasta valores del orden de los $30.00 US$ para finales del 2003 (Gudoshnikov et al 2003). Un gran número de países no productores de petróleo descansan sus economías en el sector agrícola, viéndose afectadas también de forma directa por las oscilaciones en los mercados internacionales de los precios de sus productos, dentro de ellos podemos citar como uno de los mas afectados, el del AZÚCAR.
Adicionalmente el mundo cada día toma medidas con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los seres humanos y dicta políticas que regulan los aspectos relacionados con el medio ambiente, dentro de las cuales se pueden enunciar:

- Sustitución parcial o total del MTBE, como oxigenante de la gasolina por alcohol anhidro, a nivel de un 5 al 20% de la mezcla. **(Fig. 1.)**
- Regulaciones de vertimientos de productos agresores del medio ambiente.
- Búsqueda de esquemas de producción de energía a través de fuentes renovables.

En el presente trabajo se realiza un análisis de la incidencia de la integración de las producciones asociadas a la caña de azúcar, con respecto a los esquemas tradicionales de producción, donde se toma como ejemplo dada su importancia actual la producción de alcohol y la levadura torula como sistema de tratamiento de los residuales de la producción de alcohol.

Fig 1 Tendencia de la producción mundial de alcohol.



DESARROLLO

Energía y Caña de Azúcar.

En términos del total de calorías que produce como alimentos, la caña de azúcar ocupa el cuarto lugar entre los cultivos conocidos, superada solo por el trigo, el maíz y el arroz. Si tenemos en cuenta que la caña es la forma más barata de obtención de energía a partir de un cultivo, en las condiciones de Taiwán por ejemplo era de $10.00 US$ por cada 1000 Kcal. resulta lógico su valoración como fuente de energía renovable (Madson y Monceaux 1992)

En los estudios más conocidos realizados con este fin, se encuentran los editados de forma periódica por la Agencia para la Investigación y Desarrollo de la Energía de los Estados Unidos (Hickson 1977) que desde época tan temprana como 1977, jerarquizó proyectos dirigidos al aprovechamiento energético de la caña de azúcar, visto como:

- Producción de alcohol por vía fermentativa
- Maximización de la producción de energía eléctrica
- Obtención de gas de síntesis a partir de la biomasa.

Un enfoque de interés es el análisis de las potencialidades de la caña en su conjunto, es decir, como fuente de productos que darían lugar a complejos industriales, que diversifiquen la producción azucarera.

En las condiciones actuales estos esquemas están llamados a ejercer un efecto estabilizador en la economía cañera y resultarían especialmente favorables en países con disponibilidad de tierras a bajos precios o con sobrantes tradicionales de caña.

Caña de azúcar y alcohol

La producción de alcohol a partir de las mieles finales de caña, constituyó la primera industria de los derivados del azúcar. Como resultado de nuevas condiciones de mercado, el uso de los jugos en esta producción constituye una práctica actual de los grandes productores de alcohol, fundamentalmente Brasil.

En los Estados Unidos, donde se produce el alcohol con un subsidio federal de $0.52/gal. y se vende hasta $1,20/gal se considera que su producción es rentable, para precios promedios del crudo puesto en las refinerías de $20.00 US$ el barril, en la actualidad incluyendo la influencia de la guerra del Golfo los precios del barril se encuentran en el entorno de los $30.00 US$/barril.

Reconocer la posibilidad de la producción rentable de alcohol combustible a partir de la biomasa no implica sin embargo, la utilización de la caña de azúcar, prácticamente cualquier fuente de carbohidratos puede servir para este fin. No obstante, la caña presenta ventajas en su producción potencial de alcohol por unidad de área, según puede verse en la Tabla 1. Los problemas relacionados con las inversiones, los costos y la competencia con la producción de azúcar resultan problemas mas complejos que varían con las condiciones y dinámica de cada país.

Tabla 1. Potencialidades de la producción de alcohol de distintos cultivos.

Materia prima	Alcohol (litros / hectárea)
Maíz	2050
Trigo	790
Yuca	2160
Sorgo dulce	2970
Caña de azúcar	4850

En los países azucareros, la caña resulta la opción más recomendable. En estos países, en general no petroleros, la producción de alcohol para su utilización en mezclas carburantes o como materia prima para la industria química puede resultar una alternativa interesante, que permita incluso la desviación

parcial de la producción azucarera de acuerdo a la situación de los precios y que en los momentos actuales no rebasan los 0.06$/lb. (Gudoshnikov et al 2003).
Alcohol y Levadura torula.
La producción de alcohol a partir de mieles finales de caña o mezclas de éstas con otras fuentes de carbohidratos rinde un residual líquido, a razón de 12-16 m^3/m^3 de alcohol producido que se conocen como **vinazas** La alta carga orgánica que porta este residual constituye un reto al ingenio del hombre por mejorar el medio ambiente. Existen varias alternativas de tratamiento de este efluente como: producción de biogás, enmienda orgánica del suelo, alimento animal y la producción de levadura entre otras..
Al igual que en el caso del petróleo, muchos de los países productores de azúcar, son deficitarios en sus fuentes de proteína, tanto desde el punto de vista de alimentación animal, como en el uso directo a través de formulados proteicos para seres humanos. Las limitaciones de estas tecnologías de producción de proteína unicelular han estado estrechamente relacionadas con los altos costos energéticos de los procesos y a la competencia de los sustratos empleados por otras industrias, que en ocasiones lo hacen de forma más eficiente y rentable, como es el caso de la miel final de caña en la producción de alcohol. (Saura et al 2002).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El empleo de esquemas combinados de producción de azúcar-alcohol-levadura torula permite resolver los aspectos negativos más importantes que gravan estas tecnologías por si solas como por solo citar algunos ejemplos:

Producción de azúcar.

Permite obtener calidades de azúcares altas a precios competitivos, sin dejar de aprovechar el resto de las corrientes azucaradas, las que se emplean en la producción de alcohol. Adicionalmente permitirá obtener sobrantes significativamente altos de energía, los cuales incidirán de forma directa en la reducción de los costos de producción del alcohol y levadura, esta última alta consumidora de energía eléctrica.

Producción de alcohol

Será posible realizar una producción limpia, al ser empleados sus agresivos residuales en la producción de levadura torula. El esquema energético del proceso azucarero asimilará los gastos energéticos de esta producción.

Producción de levadura torula

Constituye el filtro biológico del sistema al procesar los residuales más agresivos del complejo. Sus aguas residuales podrán ser empleadas tanto como fertirriego de la propia caña de azúcar, como en la preparación de las materias primas en cualquiera de los dos procesos fermentativos que componen el sistema.

ANÁLISIS COMPARATIVO

Se presentan desde el punto de vista técnico económico 2 variantes de producción, a partir de las cuales se puede realizar un comparación entre los esquemas. La Tabla 2 ofrece los balances de insumos y producciones de los dos esquemas objeto de análisis.

Tabla 2 Análisis de insumos y producciones de las producciones de azúcar, alcohol y levadura, aislados e integrados

	INGENIO (150 días)	
	Azúcar-Alcohol-Torula (tradicional)	**Azúcar-Alcohol-Torula (integrado)**
Capacidad (t/d)	**5500.00**	**5500.00**
	Balance de Materiales	
Azúcar (t/d)	**605.00**	**515.00**
Miel final (t/d)	**192.50**	**192.50**
Bagazo (t/d)	**1540.00**	**1540.00**
	Balance de energía	
Elect. (consumo) kw-h	**6875.00**	**6875.00**
bagazo sobrante (t/d)	**0.00**	**0.00**
Electric. (entregada) Mw	**0.00**	**780**
	DESTILERÍA (250 días)	
Capacidad (hl/d)	**1200.00**	**1200.00**
	Balance de Materiales	
Miel final (t)	**-85150.00**	**-54000.00**
	Balance de energía	
Elect. (consumo) kw-h	**0.00**	**0.00**
Comb (petróleo equi) t/d	**-38.00**	**0.00**
	PLANTA DE LEVADURA (250 días)	
Capacidad (t/d)	**30.00**	**30.00**
	Balance de Materiales	
Vinazas (t/d)	**65.00**	**65.00**
	Balance de energía	
Elect. (consumo) kw-h	**-1250.00**	**0.00**
Comb (petróleo equi) t	**-16.00**	**0.00**
	BALANCE TOTAL DEL SISTEMA	
	Producciones	
Azúcar (t/d)	605.00	515.00
Alcohol (hl/d)	1200.00	1200.00
Torula (t/d)	30.00	30.00
Electricidad Mw	**-315.00**	**780.00**
Bagazo sobrante (t)	**0.00**	**0.00**
	Insumos generales	
Miel final (t)	**-85 125 .00**	**-54 000.00**
Comb (petróleo equi) t	**-54**	**0.00**

El balance económico preliminar, analizando solo los aspectos energéticos de estas alternativas a precios de 0.09 US$/kw-h y $170.00 US$/t de petróleo arrojan cifras altamente atractivas a favor de las producciones integradas. La Tabla 3 muestra este análisis. El balance general de ingresos-gastos fue considerado sobre la base de $110/t azúcar; $ 0.02/ L de alcohol y $200/t levadura torula.

Tabla 3. Análisis económico comparativo con relación a los aspectos energéticos para la producción de azúcar, alcohol y levadura en dos escenarios diferentes: producción aislada o tradicional e integración de procesos

	Azúcar-Alcohol-Torula (tradicional)	Azúcar-Alcohol-Torula (integrado)
Electricidad	**-28 350 usd**	**70 200 US$**
Petróleo	**-2 300 000.00 usd**	**0.00**
Saldo total	**- 2 328 350.00 usd**	**70 200 US$**

	Azúcar-Alcohol-Torula (tradicional	Azúcar-Alcohol-Torula (integrado
Costo producción		
Azúcar ($/t)	$100.00	$80.00
Alcohol ($/hl)	$15.00	$8.00
Torula ($/t)	$190.00	$160.00
Precio		
Azúcar ($/t)	$110.00	$130.00
Alcohol ($/hl)	$20.00	$20.00
Torula ($/t)	$200.00	$200.00
Saldo		
Azúcar ($/t)	**$10.00**	**$50.00**
Alcohol ($/hl)	**$5.00**	**$12.00**
Torula ($/t)	**$10.00**	**$40.00**

CONCLUSIONES

1. Los sistemas tradicionales de producción de azúcar, alcohol y levadura torula , no permiten la utilización de corrientes azucaradas no deseadas por la producción de azúcar (jugo de los filtros etc), las que tienen un impacto significativo en el proceso integrado, a saber :

- Disminución del volumen de miel a utilizar en la producción de alcohol.
- Aumento de la calidad del azúcar producida.
- Niveles significativos de bagazo sobrante.

2. El empleo de sistemas integrados permitirá:

- Entrega de volúmenes significativos de electricidad al sistema electro-energético nacional.
- Ahorro del uso de petróleo en los esquemas productivos alcohol-planta de levadura.

BIBLIOGRAFÍA

Gudoshnikov, S; Jolly, L; Bichara-Rocha, L (2003) Perspectiva trimestral de mercado *International Sugar Organization*, September issue.

Hickson, JL (1977) Fuels from sugar crops *The South African Sugar Journal* January

Madson, PW; Monceaux, DA (1992) Fuel ethanol Production, KATZEN International, Inc., Cincinnati. Ohio, USA, Chapter 17.

Saura-Laria, G; González-Penichet, LF; Gallardo-Capote, M (2002) El alcohol dentro de la estrategia de diversificación de la industria azucarera cubana. VII Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña Diversificación 2002, La Habana, junio

ESTUDIO DE LA GENERACIÓN DE CALOR METABOLICO DE SACHAROMYCES CEREVISEAE EN BAGAZO EMPACADO.

Serrano, P*; Tejeda, G; Delgado, G*; Brizuela, M.A*; Rodríguez, R*; Armenteros, S*; Legra, S*; Antigua, M*.**

***Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).**
Vía Blanca No. 804 y Carretera Central. Ciudad Habana. E.mail paulina@icidca.edu.cu
****. INIFAT. Calle 2 Esq. 1, Santiago de Las Vegas. C. Habana, Cuba**.rmartinez@inifat.esihabana.cu

Resumen

Para desarrollar una tecnología de secado y preservación de bagazo empacado se hace imprescindible conocer el calor metabólico generado durante el proceso fermentativo que se deriva de la acción microbiana presentes en el bagazo

En este trabajo se evaluó la generación de calor que se produce en bagazo empacado estéril inoculado con levadura *Saccharomyces* . Se estudio el comportamiento cinético del proceso mediante la determinación indirecta del CO_2 producido y por microcalorimetría,

Los resultados alcanzados por ambos métodos mostraron que en el proceso fermentativo predominó la fermentación alcohólica, generando por está vía la mayor cantidad de CO_2 no ocurriendo lo mismo respecto al calor generado que fue mayor por la vía oxidativa. Se evidenció que existen factores que inciden sobre la mayor generación de calor obtenida por el método indirecto, no obstante considerando que no se disponga de un microcalorímetro, el método indirecto para determinar el calor biológico en bagazo empacado resulta útil para conocer la cinética de fermentación de diferentes microorganismos y estudios cualitativos de evolución de calor

Palabras claves: Microcalorimetría, bagazo preservación, inóculo, S*acharomyces cereviseae*

Abstract

STUDY OF THE GENERATION OF THE METABOLIC HEAT OF *Saccharomyces cereviceae* IN PACKED BAGASSE

For developing a biological drying technology for the preservation of packed bagasse it is very important to know the heat generated during the fermentation process, which is related with the action of microorganisms present in the bagasse. In this work, the generation of heat was evaluated, using as sample sterile packed bagasse inoculated with Saccharomyces yeasts. Two ways to determinate the generated heat were applied, the CO_2 evolution and microcalorimetry assays. Both assays allow the kinetic modelation in the evolution of heat.
The results show that the alcoholic fermentation prevailed, generating the major quantity of CO_2.

However, the heat generated was bigger from oxidative way. It was evident that there are factors that highly influence over the generation of heat generated by the indirect method, but not having a microcalorimetry, the indirect method to estimate the biological heat evolved in packed bagasse is useful specialy to know the kinetic of the fermentation of different microorganisms and also for qualitative studies of heat evolution.

Passwords: Microcalorimetry, bagasse preservation, inoculum, Sacharomyces cereviseae

1- INTRODUCCION

La presencia y desarrollo de floras microbianas en los materiales lignocelulósicos, tiene una marcada influencia en los procesos de almacenamiento y posterior procesamiento de los mismos.

La actividad microbiana en estos materiales puede provocar fenómenos no deseables y afectaciones en la calidad del material almacenado., Investigaciones realizadas por Lacey (1980) sobre la Microbiología del bagazo describe la flora presente en este material y su efecto negativo en la calidad de su fibra para diferentes usos, sin embargo existe la posibilidad de actuar sobre estos procesos biológicos en la búsqueda de determinados objetivos. Por ejemplo los proceso Ritter (1979), Bagatex 20 (1986), Dawson, y otros (1990) de almacenamiento de bagazo se basan en favorecer el crecimiento de determinada flora microbiana y mediante su actividad biológica lograr la conservación del bagazo almacenado.

La generación y liberación de calor biológico que se origina en el interior del bagazo empacado; juega un papel importante en el secado y preservación de este material, es por ello que para desarrollar una tecnología adecuada a este propósito, resulta de vital importancia conocer el comportamiento de este fenómeno.

Estudios realizados por Tejeda y otros, (1992) mediante la medición indirecta del calor evolucionado durante el proceso fermentativo que ocurre en el bagazo natural, mostraron la influencia de la flora epifitica en la evolución de calor.

De acuerdo a los estudios realizados por Cusi , (1980) , el proceso fermentativo que se verifica en el interior del bagazo empacado, consta de dos etapas bien definidas, la etapa aeróbica y la etapa anaeróbica, por lo que se infiere que la generación total del calor en este proceso estará dado por la sumatoria del calor generado por ambas vías.

En este sistema el proceso fermentativo de la levadura *Saccharomyces* fundamentalmente se dirige hacia la fermentación alcohólica, (Saucedo (1991) lo cual no impide que durante la etapa fermentativa a expensas del oxigeno ocluido en el material empacado se produzca una cantidad suficiente de calor que aumente la capacidad de secado, de ahí la importancia de estudiar la cinética de este proceso fermentativo mediante la medición del calor generado

Se han realizado numerosos estudios mediante la aplicación de la microcalorimetría de materiales biológicos fundamentalmente microorganismos entre los cuales podemos citar cinéticas de crecimiento de las bacterias y levaduras,. así como calor generado durante el crecimiento microbiano que bajo condiciones controladas es una característica específica de un determinado microorganismo. Murgier, y otros (1971), Benoist.(1990), Dawson, (1990) Xiancheng y otros (1999), Lamprecht y otros (2001), Wadso, (2001).

Este estudio tiene como objetivo fundamental evaluar la generación de calor en bagazo estéril inoculado con levadura. *Saccharomyces*, y al mismo tiempo comparar la determinación del calor metabólico generado mediante la medición del CO_2 producido y por microcalorimetría, valorando además el comportamiento cinético del proceso fermentativo.

2- MATERIALES Y METODOS

Para llevar a cabo este estudio, se utilizo como materia prima bagazo estéril con una humedad entre 50 y 52 % , empacado a una densidad de 342 kg/m^3 .

Microorganismo empleado: Cepa A_3 *Saccharomyces cereviseae* proveniente del banco de cepas del ICIDCA

Medios de cultivo:: Medio ICIDCA

Miel tratada: 40 g/l (A.R.T.).
Fosfato diamónico: 1.7 g/l
Sulfato diamónico: 7.5 g/l
pH 6

Relación de Inóculo: $1x10^8$ UFC/g Bagazo Húmedo

2.1.- Método indirecto para la determinación de calor biológico.

Para determinar el calor generado durante el proceso fermentativo, se utilizaron, como vía de calculo, las siguientes reacciones bioquímicas:

1.- Producción de etanol:

$C_6H_{12}O_6$ --------- $2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$ 18.08 Kcal/gmol

$Q_1 = 0.18$ x alcohol (Kcal)

2- Combustión de la glucosa (via oxidativa):

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ ----- $6\ CO_2 + 6\ H_2O$ 669.94 Kcal/gmol

$Q_2 = 2.538$ kcal/g CO_2 x CO_2 (via oxidativa)

$Q = Q_1 + Q_2$

El CO_2 total evolucionado se determino por desplazamiento de agua mediante un equipo diseñado al efecto. .

El CO_2 producido por vía alcohólica se estimo mediante la determinación analítica del alcohol, calculando el CO_2 por la ecuación bioquímica que representa el proceso.

El CO_2 producido por vía oxidativa , se calculo mediante la siguiente ecuación:

dc = dc - dc

donde: dc = CO_2 por vía oxidativa (g/100 g Bagaso Seco)
dc = CO_2 por vía alcohólica (g/100 g Bagaso Seco)
dc = CO_2 total (g/100 g Bagazo Seco)

El proceso fermentativo desarrollado en el bagazo ocurrió a temperatura ambiente y la masa final total fue de 385 g.

2.2.- Método directo para la determinación de calor biológico. Estudio por microcalorimetría en un micro calorímetro Bioactivity Monitor LKB 2277.

El estudio micro calorimétrico se realizó manteniendo las mismas condiciones del sustrato , que en el

caso anterior: en cuanto a, tamaño de partícula, densidad y humedad. En este caso la temperatura de trabajo fue de 37 C y la masa total humedad fue de 2 g.

Técnicas Analíticas
- Determinación de alcohol **Dietrich, R.R (1933)** .
- Azucares reductores totales por Eynon Lane, modificado **Biart, J.R. (1975)** .
- Determinación de materia seca gravimétrica por desecación a 105 C.

Análisis Matemático:

3- RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados del comportamiento cinético del proceso fermentativo que se origina en bagazo estéril empacado e inoculado con Levadura *Saccharomyces cereviseae*, en cuanto al consumo de azucares, alcohol producido, CO_2 y calor generado calculado a partir del CO_2 evolucionado se muestran en la fig.1 Puede observarse que aproximadamente entre las 20 y 25 horas se atenúa el proceso fermentativo debido al agotamiento de los azucares, coincidiendo con una disminución de la evolución de CO_2 y un cese de síntesis de alcohol.

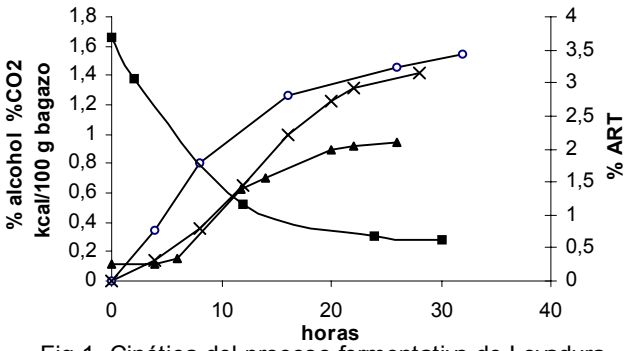


Fig 1. Cinética del proceso fermentativo de Levadura *Sacharomyces* en bagazo esteril

En la curva de calor se observa que prácticamente no se aprecia la fase lag. o de adaptación, lo cual atribuimos a la alta concentración de células inoculadas, del mismo modo podemos ver dos pendientes claramente definidas (m_1 = 0,22 y m_2 = 0,012), lo que evidencia un cambio del metabolismo entre las 8 y 10 horas de fermentación, donde en la primera etapa debe predominar la vía oxidativa (aeróbica), más eficiente energéticamente. Por otra parte entre las 8 y 10 horas de fermentación se inicia la producción de alcohol, lo cual pone de manifiesto un cambio hacia la vía alcohólica (anaeróbica) reflejada en el cambio de pendiente observada en la curva de calor. Saucedo (1992)

En la tabla 1 se muestra el calor y el CO_2 generado por ambas vías metabólicas, donde se aprecia un mayor aporte de CO_2 por vía alcohólica. Este comportamiento resulta lógico si tenemos en cuenta la limitación de oxígeno en este sistema (bagazo empacado a una densidad de 342 kg/m^3) lo que provoca predomine la vía alcohólica durante mayor tiempo, como se observa en la cinética del proceso; no obstante el mayor aporte de calor proviene del metabolismo aeróbico.

Tabla 1: Evolución de CO_2 y Calor en el proceso fermentativo de Levadura *Sacharomyces* en bagazo estéril

Corridas experimentales	CO_2 (g/100 g Bagaso Seco)		Calor (kcal/100 g Bagaso Seco)		
	aeróbico	anaeróbico	Q1	Q2	Qt
S-1	0.27	0.91	0.68	0.17	0.85
S-2	0.22	1.1	0.56	0.21	0.76
S-3	0.25	1.02	0.65	0.19	0.84
Promedio	0,24	1,01	0.63	0.19	0.82
Varianza	0,00063	0,0091	0.0039	0.0004	0.0024
Des.Estandar	0,0251	0,0953939	0.062	0.02	0.049

Q_1: Calor generado durante el proceso aeróbico
Q_2: Calor generado durante el proceso anaeróbico
Q_t : Q_1+Q_2

En la figura 2 se muestra el termograma y la curva de calor obtenido por integración gráfica al inocular bagazo estéril con *Saccharomyces*. (3), de igual forma que en la anterior figura prácticamente no se aprecia la fase lag o de adaptación, debido igualmente a la alta concentración de células inoculadas

Se observa además que la fase log se extiende hasta alrededor de las 14 horas y se aprecian dos pendientes bien definidas (m_1= 0,1375 y m_2= 0.0081) en la curva de calor, tendencia que se corresponde con lo observado en la fig.1 y que corrobora lo anteriormente planteado en cuanto a que el proceso fermentativo que ocurre en el interior del bagazo empacado se efectúa en dos fases.

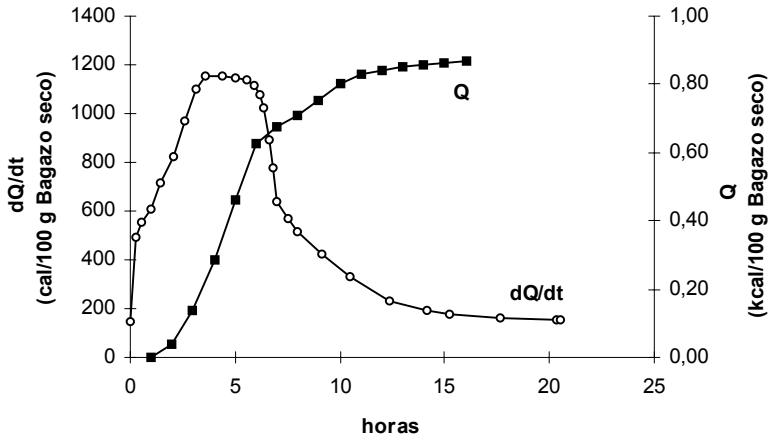


Fig 2 Termograma y curva de calor del proceso fermentativo de levadura Sacharomyces en bagazo empacado

Por otra parte el calor generado calculados por mol de glucosa consumido (entalpía), resultó ser 27,15 kcal/mol valor que se corresponde con el valor experimental de 28,5 kcal/mol de glucosa planteado por Belaich, 1968 para la levadura *Saccharomyces.*

Finalmente al comparar los resultados promedios de calor total generado por el método indirecto (36.13 kcal/mol), con los alcanzados por microcalorimetría (27,15 kcal/mol), vemos que por el método indirecto se detecta mas calor que por el método calorimétrico, esto nos hace pensar que existen diferentes factores que inciden sobre este resultado, como pueden ser, la determinación de alcohol producido en este sistema (Fase Sólida), la diferencia en cuanto al tamaño de la muestra, otros

parámetros físicos difíciles de igualar para ambos métodos y fundamentalmente el método y tipo de equipo para medir el calor.

4- CONCLUSIONES

En el proceso fermentativo que se produjo en el interior del bagazo empacado, predominó la fermentación alcohólica, generando por está vía la mayor cantidad de CO_2 no ocurriendo lo mismo respecto al calor generado que fue mayor por la vía oxidativa. Resulta evidente que existen factores que inciden sobre la mayor generación de calor obtenida por el método indirecto, no obstante considerando que no se disponga de un microcalorímetro, el método indirecto para determinar el calor biológico en bagazo empacado resulta útil para conocer la cinética de fermentación de diferentes microorganismos y estudios cualitativos de evolución de calor.

BIBLIOGRAFÍA

Atchinson, J.E. (1986), The "BAGATEX 20" Process for rapid drying of baled bagasse by acelerated and controlled fermentation, when using a biochemical catalyst. Technical Report for Sucres Denrees, Paris, France.

Biart, J.R. (1975), "Determinación de azucares reductores totales, Metodo Eynon Lane Modificado" Manual de Técnicas Analíticas de la Subdireccion de Biotecnología ICIDCA Cuba

Battley, E.H. (1960),. " Enthalpy changes acompaying the growth of Saccharomyces cereviceae". Physiol. Plantarum 13:628-639.

Belaich, J.P.; Senez, J. and Murgier, M. 1968."Microcalorimetric study of glucose permeation in microbial cells" Journal of Bacteriology .95(5) 1750-1757.

Benoist, L. (1990), "Rcent Developments in Bio-Calorimetry With Micro-DSC", Thermochimica Acta, 163(1): 111-6

Brisuela, M.A.; Serrano, P.; López, P. y Delgado, G. (1990), " Biosecado de Bagaso mediante la acción de un licor biológico". Memorias II Seminario Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña, Tomo I, 231- 234.

Cusi, D. S. (1979), "Conservación y Almacenaje de Bagazo" Sugar y Azúcar, Vol. 75 N 9 pg. 127-140.

Dawson, M.W.; Dixon, T.F. and Inkerman, P.A. (1990), "Moisture loss from baled bagass during storage". Proceeding of Australian Society of Sugar Cane Technologist, 199 - 206.

Dietrich, R.R (1933), "Técnicas Analíticas Seleccionadas Levaduras y Alcoholes . Z. Spiritus Industrie 220-223

Kretzschmar, H . (1961), "Levaduras y Alcoholes y otros productos de la fermentación".

Lacey, (1980) "The Microbiology of the Bagasse of Sugar Cane".17 Conference ISSCT. pg. 2442-2460..

Lamprecht, W.; Hemminger and G. W. H. Hˆhne (1999), (Eds), ë Calorimetry in the Biological Sciencesí,

Liu, J.S.; Marison I. W. and von Stockar,U. (1999), J. Therm. Anal. Cal., 56 1191.

Menert, A.; Liiders, M.; Kurissoo T. and R. Vilu. **(2001)** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Vol.64 281-291

Murgier, M and Belaich,J.P. (1971), "Microcalorimetric determination of the affinity of Saccharomyces cerevisiae for some carbohydrate growth substrates". J. Bacteriology. 105 (2) 573-579.

Ritter, E.A. (1979), Fermentation process for the preparation of paper pulp from bagasse and similary incrusted cellulose fibers .U,S, patent 2,193- 493.

Saucedo, G. (1991),. "Controle du metabolisme de Schwanniomyces castellii cultive sur support solide". These Diplome de doctorat.Universite Montpellier. France.

Tejeda,G., Serrano, P.; Brizuela, M.A. y Delgado, G. (1993), "Efecto de la adición de inóculos y miel sobre la evolución de CO2 y calor biológico en bagazo empacado". Memorias Diversificación 93 pag.

Wadso I, **(2001),** "Isothermal Microcalorimetry. Current Problem and Prospects. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Vol. 64, 75-84

Xiancheng, Z.; Zhaodong N., Yan, X.; Yanqin Z., and Z. Honglin, **(1999),** J. Therm. Anal. Cal., 58-279.

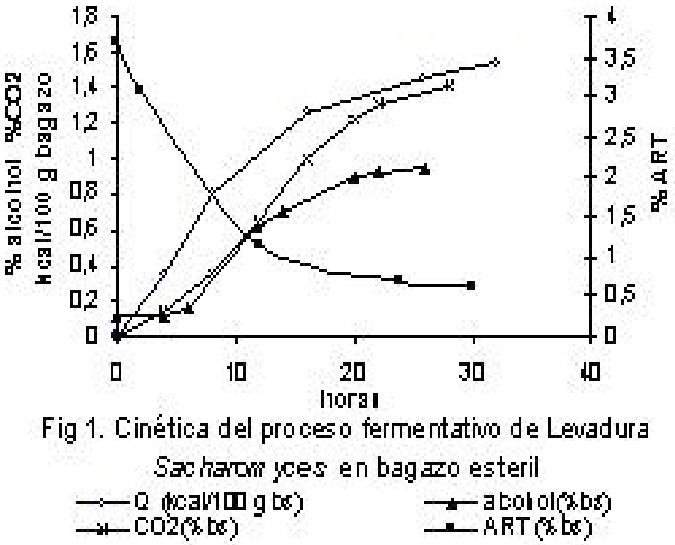


Fig 1. Cinética del proceso fermentativo de Levadura *Saccharomyces* en bagazo esteril

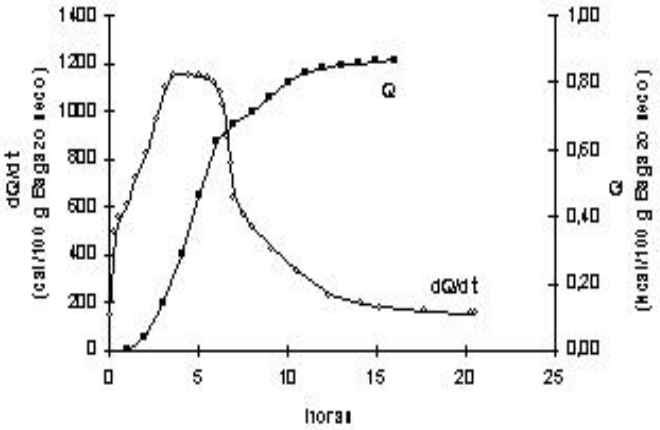


Fig 2 Termograma y curva de calor del proceso fermentativo de levadura Sacharomyces en bagazo empacado

ESTUDIO DE MEDIOS DE CULTIVO EN EL APROVECHAMIENTO DE EFLUENTES GASEOSOS RICOS EN ETANOL PARA EL CRECIMIENTO DE LEVADURA FORRAJERA.

STUDY OF CULTIVATION MEDIUM IN THE GROWTH OF FODDERS YEASTS USING CONTAMINATED AIR RICH IN ETHANOL

Fidel Domenech[1], Pierre Christen[2] y Sergio Revah[3], Jeanett Zamora[4]

1. ICIDCA. Vía Blanca No. 804 y Carretera Central. Fax (537)338236. E-Mail: fdomenech@icidca.edu.cu
2. Institut de Recherche pour le Développement, (IRD) FRANCE.
3. Laboratorio de Tratamiento de Efluentes Gaseosos, UAM-Iztapalapa, CP 09340, México DF.
4. Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México.

RESUMEN

La biodegradación del etanol gaseosos emitido en algunas industrias por levaduras forrajeras tiene dos propósitos: descontaminar el aire y producir un alimento animal rico en proteínas a partir de derivados de la caña. Teniendo en cuenta que el costo de este proceso debe ser mínimo, para que sea viable desde el punto de vista económico, se realizaron estudios para simplificar la composición del inóculo empleado tradicionalmente (glucosa y extracto de levadura) por medios simples compuestos por miel de caña suplamentada con fuentes inorgánicas de nitrógeno y fósforo, en todos los casos se lograron titulaciones de levaduras del orden de 2 x 10^8 células/ml, lo que evidencia el empleo de medios simples y económicos para la propagación de la levadura.

Por otra parte, se estudiaron en columnas de 500 ml diferentes medios sólidos de conversión, compuestos por bagazo de caña debidamente tratado y complementado vinazas de destilerías a diferentes proporciones como fuente de sales minerales. Los resultados obtenidos se compararon con el medio sintético tradicional utilizado (medio líquido nutritivo NH4, K, Mg, Ca, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, B, I) utilizado por Thomas y Dawson, 1978. El comportamiento en cuanto a degradación de etanol y crecimiento de la levadura fue similar en las cuatro variantes, lográndose los niveles de proteína deseados. Estos resultados indican que este proceso se puede emplear vinazas de destilerías que constituyen un residual líquido muy agresivo con fuentes de micro nutrientes.

ABSTRACT

The biodegradation of the gaseous ethanol (emitted by bakeries, distilleries, and foundries) by fodders yeasts has two purposes: to clean the contaminated air stream and to produce a animal food rich in proteins starting from having derived of the sugar cane. Keeping in mind that the cost of this process should be minimum, so that it is viable from the economic point of view, they were carried out studies to simplify the composition of the inoculum used traditionally (glucose and yeast extract) for simple medium composed by molasses of sugar cane complementary with inorganic sources of nitrogen and phosphorus, in all the cases final population of yeasts of the order of 2 x 10^8 células/ml was achieved, what evidences the employment of simple and economic medium for the propagation of the yeast.

On the other hand, they were studied in columns of 500 ml different solid mediums of conversion, composed by sugar cane bagasse justly treaty and supplemented with vinasses of distillery to different proportions as source of mineral salt. The results were compared with the traditional synthetic medium used (mineral salt solution NH4, K, Mg, Ca, Faith, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, B, I) used by Thomas and Dawson, 1978. In the four variants, similar ethanol degradation and growth of the yeast was obtained,

being achieved the wanted protein levels. These results indicate that in this process is possible to use vinasses of distillery that constitute a waste liquid very aggressive with sources of mineral salt.

INTRODUCCIÓN

El bagazo de caña de azúcar, uno de los principales subproductos de la Industria Azucarera, en su mayoría es utilizado como combustible industrial, también puede ser utilizado, después de una hidrólisis química como complemento de la alimentación animal, pero presenta el inconveniente de ser pobre en proteína (del orden de 2.5 %), lo que lo hace poco atractivo como forraje[1], sin embargo, si es enriquecido con proteína unicelular[2], utilizando como fuente de carbono el etanol gaseoso emitido por las destilerías el cual puede ser considerados como relativamente tóxicos dependiendo del tiempo de exposición[3], es posible proporcionarle al bagazo un mayor valor económico. Se estima que las perdidas de etanol en las destilerías, principalmente por evaporación durante la fermentación, son superiores al 1.5 % del alcohol producido. El etanol emitido a la atmósfera por una destilería que produce 60 m^3 de etanol/día permite producir 1.2 toneladas de bagazo enriquecido con un contenido de proteínas superior a 12 por ciento.

Teniendo en cuenta que el costo del producto final (alimento animal) debe ser mínimo, para que el proceso sea viable desde el punto de vista económico, se evidencia que el tratamiento y composición del sustrato a fermentar debe ser simple. Para ello, es importante simplificar la metodología de preparación y la composición del medio de propagación en fase líquida y del sustrato sólido a fermentar, por lo que, el presente trabajo tiene como objetivo reducir el costo del producto al estudiar medios simples que sustituyan los medios sintéticos como fuente de nutrientes empleados en trabajos anteriores.

MATERIALES Y METODOS

Microorganismo

Cepa de levadura forrajera *Candida utilis* L/3-75-1 perteneciente a la colección del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). La cual fue transferida periódicamente en tubos inclinados de Papa-Dextrosa-Agar (PDA), e incubada durante 48 horas a 30 ^oC, después de crecida sobre el agar se almacenaron a 4 ^oC.

Estudio de diferentes medios de Inóculación

La propagación del microorganismo se llevó a cabo en erlenmeyer de 500 mL, con un volumen de medio estéril de 200 mL. El microorganismo fue crecido durante 24 horas en zaranda rotatoria a 200 r.p.m. y 30 ^oC.

Se estudiaron tres medios de propagación, los cuales fueron balanceados para lograr un crecimiento de 10 gramos de biomasa por litro.

MP. Medio Patrón conteniendo (20 g/L Glucosa y 8 g/L extracto de levadura)

MMU. Medio Miel Urea conteniendo (Miel de caña, 34,6 g/L; Urea 1.97 g/L y $(NH_4)_2HPO_4$ 0,85 g/L)

MMS. Medio Miel Sulfato (Miel de caña, 34,6 g/L; $(NH_4)_2SO_4$ 4,34 g/L y $(NH_4)_2HPO_4$ 0,85 g/L)

Estudio de diferentes sustratos sólidos

El experimento se llevó a cabo en columnas de vidrio de 500 mL, empacadas con el sustrato sólido a una densidad de 0.248 g/mL, el etanol fue suministrado en la corriente gaseosa, compuesta por aire saturado en agua. La carga deseada de etanol fue controlada por su concentración y el flujo de aire.

Se utilizó como soporte bagazo integral de caña de azúcar, el cual fue lavado, secado, triturado en un molino de martillo y tamizado entre mallas de 0.54 y 3 mm. El material obtenido fue esterilizado a 1.15 kgf/cm^2 durante 1 hora, para disminuir la carga microbiana.

El bagazo se complementó con soluciones de sales minerales, aportando de forma balanceado los nutrientes para lograr un crecimiento del microorganismo equivalente a un contenido de proteína de 12 % en base seca.

Se estudiaron cuatro medios líquidos nutritivos:

1. MLN 1 (Patrón): usado por ***Thomas y Dawson*** [4] sustituyendo la fuente de carbono (glucosa) por etanol, el cual fue suministrado por la corriente gaseosa al bioreactor.

2. V-30 (Medio líquido nutritivo: Vinaza 30 %, $(NH_4)_2SO_4$ 2.4; $(NH_4)_2HPO_4$ 0.73 g/L)

3. V-40 (Medio líquido nutritivo: Vinaza 40 %, $(NH_4)_2SO_4$ 2.4; $(NH_4)_2HPO_4$ 0.73 g/L)

4. V-50 (Medio líquido nutritivo: Vinaza 50 %, $(NH_4)_2SO_4$ 2.4; $(NH_4)_2HPO_4$ 0.73 g/L)

Para formular el sustrato sólido, se elaboró una hoja de calculo utilizando el procesador Microsoft EXCEL mediante la cual se obtuvieron los medios balanceados teniendo en cuenta la humedad final del medio y el contenido de sólidos de cada compuesto y balance de nutrientes, fundamentalmente nitrógeno y fósforo.

TABLA 1. Balance de nutrientes para la formulación de los medios.

	DATOS	RESULTADOS				
				Macrosales		
MEDIO HUMEDO A FERMENTAR	100	kg		$(NH_4)_2SO_4$	125	(g/L)
Humedad Deseada (%)	65	%		$(NH_4)_2HPO_4$	38.4	(g/L)
Proteína deseada (%) b. seca	12	%		$MgSO_4$	12.0	(g/L)
Vinaza en fase líquida (%)	30	%				
Nitrógeno en Vinaza (%)	0	%		**Microsales**		
Sólidos en Vinaza (%)	5	%		$CaCl_2.2H_2O$	5.88	(g/L)
Fósforo en Vinaza (%)	0	%		$FeCl_3.6H_2O$	2.70	(g/L)
MACROSALES		**18,98**	L	$ZnSO_4.7H_2O$	2.50	(g/L)
MICROSALES		**0**	L	$MnCl_2.4H_2O$	0.40	(g/L)
VINAZA		**19,50**	L	$CuSO_4.5H_2O$	0.25	(g/L)
BAGAZO		**30,74**	kg	$NaMoO_4.2H_2O$	0.04	(g/L)
Humedad del bagazo (%)	0	%		$CoCl_2.6H_2O$	0.04	(g/L)
Nitrógeno en macrosales (%)	2.65	%		H_3BO_3	0.15	(g/L)
Fósforo en macrosales (%)	1	%		KI	0.03	(g/L)
No de células / g material seco	1	$x10^8$ cel/g m.s				
Conteo celular en el inóculo	1.8	$x10^8$ cel/g m.s				
No Total de células		35	$x10^8$ cel/g m.s			
INOCULO		**19.44**	L			
Nitrógeno en Inóculo (%)	0.088	%				
Sólidos en el Inóculo (%)	1	%				

COMPOSICIÓN DEL MEDIO

BAGAZO	**30,74**	(kg)
INOCULO	**19,44**	L
MICROSALES (*Thomas 1978)*		
MACROSALES	**18,98**	L
VINAZAS	**19,50**	L
AGUA Hasta completar	**69,26**	kg en la mezcla líquida

En el transcurso del experimento se tomaron muestras de la fase gaseosa (entrada y salida) para determinar la concentración de etanol, acetaldehído y acetato de etilo.

Métodos analíticos.

Conteo celular.

Se realizó en cámaras de Neubauer empleando un microscopio óptico

Determinación de Proteína

Se utiliza el método de Barsnstein, la base del método consiste en que las proteínas puras se adhieren a la superficie de $Cu(OH)_2$ en estado naciente. Después del lavado del precipitado se le determina nitrógeno por Kjeldahl y con el facto 6.25 se lleva a proteína verdadera.

Medición del pH.

El pH se mide en la fase sólida toma un gramo de muestra y se le adicionan 25 mL de agua destilada, se homogeniza y se mide el pH .

Determinación de la humedad.

Se determina el por ciento de humedad mediante la diferencia de peso antes y después de secado en estufa a 80 ^{o}C durante 24 horas.

Determinación de etanol, acetaldehído y acetato de etilo.

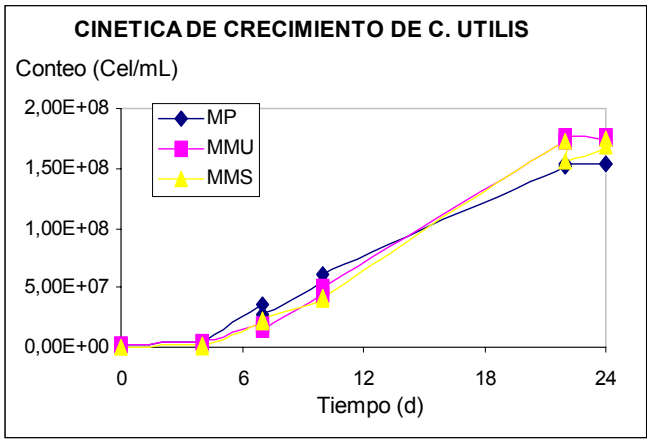
La concentración de estos compuestos en las fases líquida y gaseosa se llevo a cabo por cromatografía gaseosa utilizando un equipo Hewlett-Packard con un detector de ionización de flama (FID). El nitrógeno se tomó como gas acarreador a una velocidad de 1.5 ml/min. La relación de Split fue de 50:1 temperatura del detector e inyector se mantuvieron en 210 ^{o}C y la del horno en 30 ^{o}C.

RESULTADOS Y DISCUSION.

Estudio de diferentes medios de Inoculación

Es conocido que la levadura *Candida utilis* emplea diferentes fuentes de carbono para su crecimiento, entre ellos, los que contienen carbohidratos simples constituyen excelentes medios de crecimiento para este microorganismo. La miel de caña de azúcar, subproducto de la Industria Azucarera es empleada en Cuba fundamental, como alimento animal directo y en la producción de levadura torula en medio líquido. Teniendo en cuenta estas experiencias, se desarrolló un experimento donde se compararon las cinéticas del crecimiento del medio patrón utilizado anteriormente en estudios de investigación[5,6,7] con medios que contienen miel de caña de azúcar complementadas con fosfato de amonio y urea o fosfato de amonio como fuente de nitrógeno.

Figura 1. Cinética del crecimiento de *C. Utilis* en diferentes medios de propagación.



En la figura 1, se observa que no existen diferencias significativas entre las cinéticas del crecimiento en los tres casos, alcanzando a la hora 23 titulaciones de levadura similares en todos los casos del orden de 2 x 10^{8} células/ml, por lo que es evidente el empleo de medios simples y económicos para la propagación de la levadura.

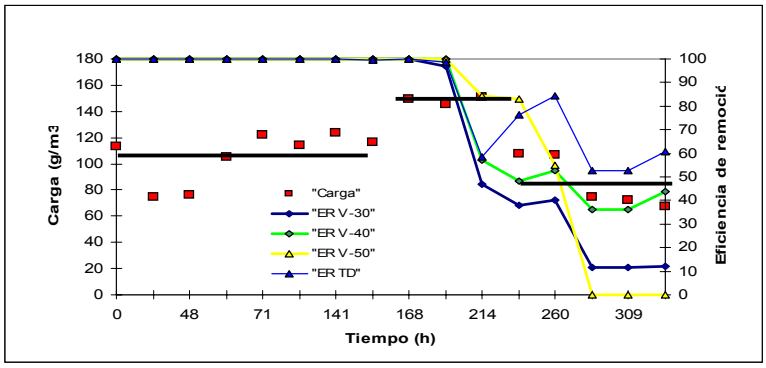
Estudio de diferentes sustratos sólidos

Por su carga contaminante, las vinazas de destilería son residuales líquidos agresivos al medio ambiente, que requiere tratamientos costosos para su descontaminación, en nuestro país, la tendencia actual es utilizar las vinazas de destilerías para la producción en medio líquido de levadura forrajera (*Candida utilis)* , esta levadura tiene la ventaja de emplear como fuente de carbono diferentes sustratos como lo son carbohidratos, ácidos y alcoholes entre otros, las vinazas de destilería también aportan micronutrientes necesarios para el crecimiento como lo son K, Mg, Ca, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, B, I. Hasta el momento, los experimentos desarrollados por nuestro equipo de investigación, ha utilizado como fuentes de micronutrientes un medio sintético utilizado por Thomas y Dawson 1978.

Teniendo en cuenta los argumentos anteriores se estudiaron en columnas de vidrio de 500 ml e implementado con sistemas de control de temperatura, flujos de aire y cargas de etanol, diferentes medios que contenían vinazas de destilerías como fuente de micro nutrientes

En la figura 2, puede observarse que durante los primeros 7 días, donde se alimentó una carga promedio de 110 g/h.m^3 se obtuvieron comportamientos similar en las cuatro columnas en cuanto a degradación de etanol y crecimiento de la levadura, al subir la carga a 150 g/h.m^3, ocurrió un efecto negativo que impidió la recuperación de la capacidad de bioconversión del reactor a pesar de que en los últimos 5 días las cargas no sobrepasaron los 85 g/h.m^3, este efecto puede tener varias razones, primero, el medio se agotó en nutrientes debido al crecimiento del microorganismo o la cepa empleada no resistió la carga sostenida durante 3 días de 150 g/h.m^3

Figura 2. Comportamiento de la carga y la eficiencia de remoción de etanol



Carga Etanol: 7 Días L1 = 110 g/h.m^3 (Ci=7.96 g/m^3, F=5.40 l/h)
3 Días L2 = 150 g/h.m^3 (Ci=7.86 g/m^3, F=7.32 l/h)
5 Días L3 = 85 g/h.m^3 (Ci=6.60 g/m^3, F=5.16 l/h)

En la ruta metabólica de degradación de etanol por levaduras *Candida* utilis se ha reportado la formación de metabolitos secundarios volátiles como acetaldehído y acetato de etilo, fundamentalmente cuando la concentración se encuentra en los límites permisibles para los microorganismos, a continuación se encuentran las ecuaciones estequiométricas involucradas [8]:

$$\mathbf{CH_3CH_2OH + 1/2\ O_2} \xrightarrow{\textit{alcohol dehidrogenasa}} \mathbf{CH_3CHO + H2O} \qquad (1)$$

etanol — acetaldehido

$$\mathbf{CH_3CHO + 1/2\ O_2} \xrightarrow{\textit{Acetaldehido deshidrogenasa}} \mathbf{CH3COOH} \qquad (2)$$

ácido acético

$$\mathbf{CH_3CH_2OH + CH_3COOH} \longrightarrow \mathbf{CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O} \qquad (3)$$

acetato del etilo

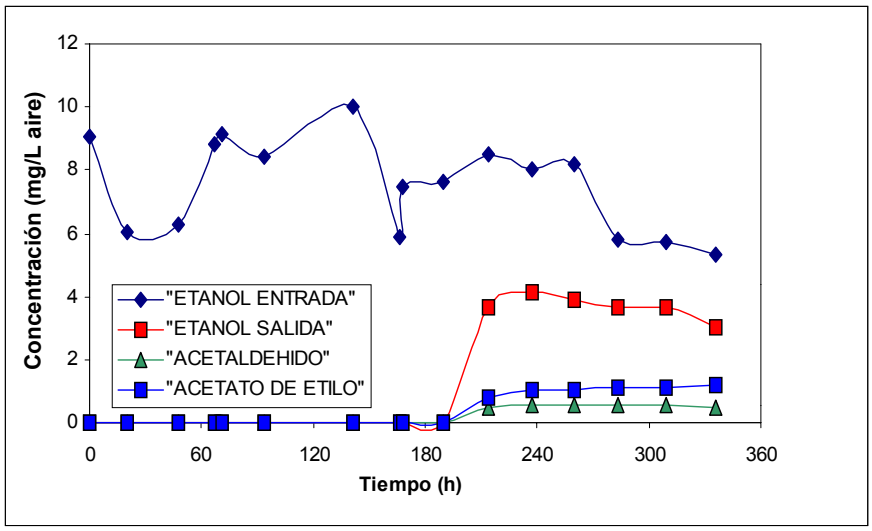
Combinando las ecuaciones 1,2 y 3 se obtienen la ecuación general de formación de acetato de etilo.

$$\mathbf{2C_2H_5OH + O_2} \longrightarrow \mathbf{CH_3COOC_2H_5 + 2H_2O} \qquad (4)$$

En la figura 3 se observa el comportamiento de los compuestos volátiles en la entrada y salida del reactor, como se observa a partir del décimo día de fermentación la capacidad de remoción fue disminuyendo hasta alcanzar la concentración de alcohol a la salida los mismos valores que en la entrada, y la aparición simultánea en el gas de salida de acetaldehído y acetato de etilo. Este comportamiento

explica que el reactor no se recuperó a pesar de disminuir significativamente la concentración y carga de etanol alimentado.

Figura 3. Comportamiento de los compuestos volátiles en la entrada y salida del reactor



El Acetaldehído, es un compuesto muy volátil y tóxico para los microorganismos, resultado de la oxidación directa del etanol, y puede oxidarse en ácido acético que a su vez, puede reaccionar con etanol para formar acetato del etilo. Esto explica por qué se encuentran presentes en la salida de los gases estos compuestos. Este comportamiento fue observado por Devinny y Hodge para un biofiltro de etanol cargado excesivamente[9]

Los crecimientos obtenidos en las cuatro condiciones experimentales muestran que se lograron titulaciones altas (Tabla No 1), sin embargo no se lograron los niveles de proteína previstos en la formulación del medio (12 % Proteína) según el nitrógeno y fósforo adicionado de forma balanceada, en este caso se suministró sulfato de amonio y fosfato de amonio para lograr una concentración de proteína de 8 por ciento.

Tabla No. II Resultados experimentales

MEDIO LIQUIDO NUTRITIVO	CONTENIDO DE PROTEINA	CONTEO (Cel/mL)
MLN 1 (thomas y Dawson)	7,77 % BASE ms	37.76×10^8
V-30 (Vinaza 30 %)	6,39 % BASE ms	32.47×10^8
V-40 (Vinaza 40 %)	6,56 % BASE ms	34.69×10^8
V-50 (Vinaza 50 %)	7,47 % BASE ms	43.08×10^8

El comportamiento del pH y la humedad fueron normales, la humedad se mantuvo entre 63 y 65 % debido a una rehumidificación periódica cada 3 días y el pH bajó drásticamente entre 2.4 y 2.6. este comportamiento se ha observado en experimentos anteriores[5-7] y fundamental mente se debe a la producción de ácidos orgánicos producto de la fermentación.

CONCLUSIONES

Es posible el empleo de miel de caña suplementada con fuentes de nitrógeno y fósforo simples y económicas para la propagación de la levadura y vinazas de destilerías como fuente de sales nutritivas.

El comportamiento en cuanto a degradación de etanol y crecimiento de la levadura fue similar en las cuatro variantes estudiadas con vinazas, lográndose los niveles de proteína deseados. Estos resultados indican que este proceso se puede emplear vinazas de destilerías que constituyen un residual líquido muy agresivo con fuentes de micro nutrientes.

Se logran crecimiento de *C. utilis* por encima de 200 mg de biomasa /g MS, lo que clasifica este producto como un alimento animal.

BIBLIOGRAFIA

1- Gálvez LO (2000). Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar, Imprenta MINAZ, La Habana, Cuba. 2000.
2- Gómez R (1986). Proteína unicelular. Problemáticas y posibles soluciones En: Conferencias de Ciencias Naturales. Universidad de La Habana, Cuba.
3- Ciocci F, Lavecchia R, Ferranti MM (1997). High performance microbial removal of ethanol from contaminated air, Biotechnol. Techniques, 11, 893-898
4- Thomas, K. C. and Dawson, P. S. (1978). "Relationship Betwen Iron-limited Growth and Energy Limitation During Phased Cultivation of Candida utilis". Can. J. Microbiol. 24: 440-447.
5- Domenech F, Christen P, Paca J, Revah S (1999) Ethanol utilization for metabolite production by Candida utilis strains in liquid medium. Acta Biotechnologica, 19(1): 27-36.
6- Christen P, Domenech F, Michelena G, Auria R, Revah S (2002). Biofiltration of volatile ethanol using sugar cane bagasse inoculated with Candida utilis. Journal of Hazardous Materials, 89(2/3):253-265.
7- Teran Perez W, Domenech F, Roger PA, Christen P (2002). Effect of mineral salt addition on the behaviour of an ethanol biofilter. Environmental Technology, 23, Sous presse.
8- Watteeuw, C. M., W.B. Armiger, D.L. Ristroph and A.E. Humphrey, (1979)."Production of single cell protein from ethanol by fed-batch process," Biotech. Bioeng., 21, 1221-1237.
9- Devinny, J.S., Hodge, S. (1995). *J. Air & Waste Management Assoc*. 45, 125

INCREASED NITROGEN FIXATION BY TAGGING THE DIAZOTROPHIC PLANT-GROWTH PROMOTING BACTERIUM AZOSPIRILLUM SPP WITH GREEN FLUORESCENT PROTEIN GENES

INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE NITRÓGENO POR EL MARCAJE MOLECULAR DE CEPAS DE BACTERIAS DEL GÉNERO AZOSPIRILLUM CON GENES DE PROTEÍNA VERDE FLUORESCENTE

Hilda. Rodríguez[1], Isabel. Goire[1] and Yoav. Bashan[2]

[1]Cuban Research Institute on Sugarcane By-Products, P.O. Box 4026, Havana, Cuba [2]Environmental Microbiology, The Center of Biological Research of the Northwest, P.O. Box 128, La Paz, B.C.S. 23000, Mexico. Corresponding author: hilda@icidca.edu.cu

ABSTRACT

Labeling of Plant Growth Promoting Bacterial strains (PGPB) is of a great importance for microbiological studies on the fate and environmental safety of these inoculants. In this work two strains of Azospirillum: A. brasilense 8I and A. lipoferum JA4, were tagged with green fluorescent protein (gfp) genes using both the wild type promoterless gfp gene, and the gfpmut2 gene under a constitutive promoter. Insertion of the genes into the bacterial chromosome was carried out by mating experiments using constructions carrying the target genes into MiniTn5 transposons vectors. For each strain, one out of 3000 screened exconjugants showed strong fluorescence under a 365 nm UV lamp using the wild type gfp plasmid. Several fluorescent colonies were obtained after mating A. lipoferum JA4 with the suicidal plasmid harboring the gfpmut2 gene. Screening the later transformants with fluorescence microscopy showed differences in the fluorescence intensities by different clones. One clone showing the highest fluorescence was characterized. No metabolic load was apparently imposed by the acquisition of the foreign gene, and 100% stability of the fluorescence and antibiotic-resistance traits was obtained after 50 generations of growth under antibiotic-free medium. Four out of five analyzed recombinants from both, A. brasilense and A. lipoferum strains, simultaneously exhibited an increased nitrogenase activity (acetylen reduction) of up to 6 fold over the parental strains. This represents an important finding both from the theoretical and practical point of view for the use of these strains as agricultural inoculants.

- Key words: *Azospirillum*; gfp; green fluorescent protein; nitrogen fixation; PGPB

RESUMEN

El marcaje de cepas de Bacterias Promotoras del Crecimiento de las Plantas resulta de gran importancia para estudios microbiológicos relacionados con la seguridad para el medio ambiente de estos inoculantes. En este trabajo dos cepas de Azospirillum (A. brasilense 8I y A. lipoferum JA4) fueron marcadas con genes de proteína verde fluorescente (gfp), empleando el gen gfp salvaje sin promotor así como el gen gfpmut2 bajo un promotor constitutivo. La inserción de los genes en el cromosoma se llevó a cabo usando transposomas en vectores del tipo MinTn5. Uno de cada 3 000 exconjugantes mostraron intensa fluorescencia bajo lampara de luz UV a 365 nm cuando se usó el plásmido con el gen gfp salvaje. Varias colonias fluorescentes se obtuvieron de la conjugación con el plásmido portador del gen gfpmut2. Su estudio bajo el Microscopio de Fluorescencia mostró clones con diferentes intensidades. Un clon con alta fluorescencia fue caracterizado. La adquisición del gen foráneo no impuso carga metabólica, y se detectó una estabilidad del 100 % para los caracteres de fluorescencia y resistencia al antibiótico, tras 50

generaciones de crecimiento en medio libre de antibióticos. Cuatro de 5 recombinates analizados de ambas especies, *A. brasilense* y *A. lipoferum* mostraron un incremento de la actividad nitrogenasa (reducción de acetileno) de hasta 6 veces en comparación con la cepa parental. Esto constituye un hallazgo importante tanto desde el punto de vista teórico como en la aplicación practica de estas cepas como inoculantes para la agricultura.

Palabras claves: *Azospirillum*; gfp; proteína verde fluorescente; PGPB

INTRODUCTION

Azospirillum sp. is one of the most studied plant growth-promoting bacteria (PGPB), improving the growth of numerous plant species (Bashan and Holguin 1997). Labeling microorganisms with the green fluorescent protein (*gfp*) gene is advantageous for environmental studies (Errampli et al., 1999). This tagging system has been successfully used for monitoring different soil species such as Pseudomonas spp., Kluyvera ascorbata, and Agrobacterium tumefaciens, in the rhizosphere, either using plasmids(Bloemberg et al., 1997; Prayitno et al., 1999) or chromosomal insertions(Tombolini et al, 1999; Ma et al., 2001).The chromosomal insertion of the label gene is a more recent development and an advantageous approach, as it increases stability of the inserted trait and avoids horizontal transfer of foreign genes in the soil.

Attempts to label *Azospirillum* strains with *gfp* genes have been made recently (Xi et al., 1999). Although labbeling of other PGPB was achieved, tagging *Azospirillum* with a promoterless *gfp* gene was unsuccesfull. Only weak fluorescent exconjugants were obtained with a gene inserted behind a constitutive promoter. This in comparison with the other PGPB where the same gene was inserted and exhibited significant fluorescence.

The aims of this study were to label *A. brasilense* and *A. lipoferum* with both, a promoterless wild type *gfp* gene and a mutant *gfp* gene under a constitutive promoter, and to evaluate if these insertions affected one of the most important characteristics of the genus *Azospirillum*: nitrogen fixation.

MATERIALS AND METHODS

Bacterial strains, plasmids and growth conditions

The bacterial strains and plasmids used in this study are listed in Table 1. *Azospirillum* strains were grown in nutrient broth (NB, Sigma) and *E. coli* in Luria Broth (LB) (Sambrook et al., 2000) at 37±1°C, in a rotatory shaker at 160 rpm. Growth on solid media in Petri dishes was by adding 2 % agar to the above media. For assay of nitrogenase activity, the strains were grown in nitrogen-free medium (OAB medium modified by Bashan et. al (1993). M9 salt solution (Sambrook et al., 2000) supplemented with malic acid (5 g l^{-1} Sigma) as the carbon source and the appropriate antibiotic, was used as selection medium for conjugation. Antibiotics were added at the following concentrations (µg ml^{-1}): Tetracycline (Tc), 10; kanamycin (Km), 50; ampicillin (Ap), 50, streptomycin (Sm), 100 (Sigma).

Construction and characterization of *gfp*-labeled *Azospirillum* strains

Plasmid pUTminiTn5 *gfp* /*E. coli* CC118, was introduced into the recipient strains by a triparental conjugation using the helper plasmid pRK2013. A 10:1 proportion (v/v) of recipient:donnor strains each from late logarithmic phase cultures (6h growth) was used. The plasmid pUTminiTn5*ngfp* was transferred from *E. coli* S17.1 λpir by biparental conjugation, employing a 4:1 proportion of recipient:donnor strains. In both cases, the mixture of the 3 strains was diluted with 5 ml of saline solution (0.9 % NaCl) and filter throught a 0.22 um millipore filter. This membrane was then put on the surface of a NA plate and incubated overnight, at 37°C. After this, growth was collected, washed twice

with saline solution and resuspended in the same solution, before plating on the selection medium. The plates were incubated at 37^0C for over 48 h for detection of fluorescence.

Table1. Bacterial strains and plasmids used in this study

Strain/plasmid	Description	Reference or source
A. brasilense 8I	Wild type rhyzosphere isolate	Fernández, R., Cuba
A. lipoferum JA4	Wild type rhyzosphere isolate	Castellanos et al., 1997
A. brasilense 8I::*gfp*	*A. brasilense* 8I with a chromosomal insertion of a wild type, promoterless *gfp* gene	This study
***A. lipoferum* JA4::*gfp*6**	*A. lipoferum* JA4 with a chromosomal insertion of a wild type, promoterless *gfp* gene	This study
A. lipoferum JA4::ngfp-fms	*A. lipoferum* JA4 with a chromosomal insertion of a *mut2gfp* gene under the *npt2* promoter	This study
*A. lipoferum JA4::ngfp*5	As above	This study
*A. lipoferum JA4::ngfp*15	As above	This study
pUTminiTn5-Km*gfp*	Ap^r,Km^r, wild type *gfp* gene in miniTn5	Eberl et al., 1997
pUTminiTn5*ngfp*	Ap^r,Tc^r, *mut2gfp* gene under *npt2* promoter in mini Tn5	Dandie et al., 2001
pRK2013	Km^r, tra^+	Figurski and Helinski, 1979

Several of the best fluorescent *gfp*-tagged strains were analyzed for colony and cell morphology, as well as nitrogen fixation activity. Nitrogenase activity was determined by acetylene reduction assay as described by Holguin et al. (1992). Acetylene was injected to cultures grown for 48 h in the semisolid OAB medium, and ethylene production was quantified after 48 h of incubation, at 30 ^{o}C. Standard ethylene (Sigma-Aldrich) was used to quantify conversion of acetylene to ethylene.

Growth rate of the finally selected tagged strain (*A. lipoferum JA4::ngfp*-fms) was determined in nutrient broth cultures (at 37 ^{o}C, 170 rpm in comparison with the wild type (*A. lipoferum* JA4). The stability of the fluorescence trait in this strain was determined after growth in nutrient broth medium without tetracycline for 50 generations, and subsequent plating of the culture in nutrient agar medium. After 48 h of growth on the solid medium, all colonies were evaluated for fluoescence as described below.

Fluorescence detection

Colonies growing on the selection medium were screened for fluorescence after irradiation of the plates with a hand-held UV lamp at 365 nm. Since the mutant-*gfp* gene is a red shifted mutant with excitation optimum between 481 and 501 nm (Dandie et al., 2001) their fluorescence at 365 nm is much lighter in comparison with the clones harboring the wild type *gfp* gene. For a more acute screening for fluorescence we used, besides a dark room environment, a dark background and the plate positioned with the cap upside, which allowed a much brighter fluorescence in all cases. An epifluorescence microscopy (Nikon Optiphot-2) was employed for observation of cells, at excitation 470-490 nm using V1A filter, dichroid mirror DM510 and barrier filter BA520.

Statistical analysis

Experiments were done in triplicates where one culture medium serves as replicate. Each experiment was repeated three times. Data from all experiments in the same topic were polled and analyzed by one-way analysis of variance (ANOVA) at $P \leq 0.05$

RESULTS

Detection of chromosomally marked *gfp* clones

.A minimal defined (M9) medium supplemented with malic acid as the carbon source (used by *A. brasilenses* but not by *E. coli*) and Km was used for selection of exconjugants derived from *A. brasilenses* 8I and *A. lipoferum* JA4, after mating with pUTkm*gfp*, the suicidal plasmid harboring the promoterless wild type *gfp* gene (Eberl et al., 1997). Km-resistant exconjugants were obtained at similar rates of 1 x 10^4 exconjugants per recipient cell for both *Azospirillum* strains.

Approximately 3000 colonies were obtained and examined from each mating experiment. No fluorescent colonies were detected after 7 days of growth at 37 ^oC in the selection medium. However, after an additional 7 days incubation at 4 ^oC, a single bright green fluorescent colony was clearly detected for each strain. The fluorescence of the cells was confirmed by examination under epifluorescence microscopy.

Tetracycline resistant exconjugants were obtained after insertion of plasmid pUTminiTn5*ngfp*, carring the mut2*gfp* gene under a constitutive promoter (Dandie et al., 2001), at a frequency of 1.8 x 10^{-4} exconjugants per recipient cell. From these, approximately 40 % of fluorescent colonies could be detected under 365 nm UV irradiation.

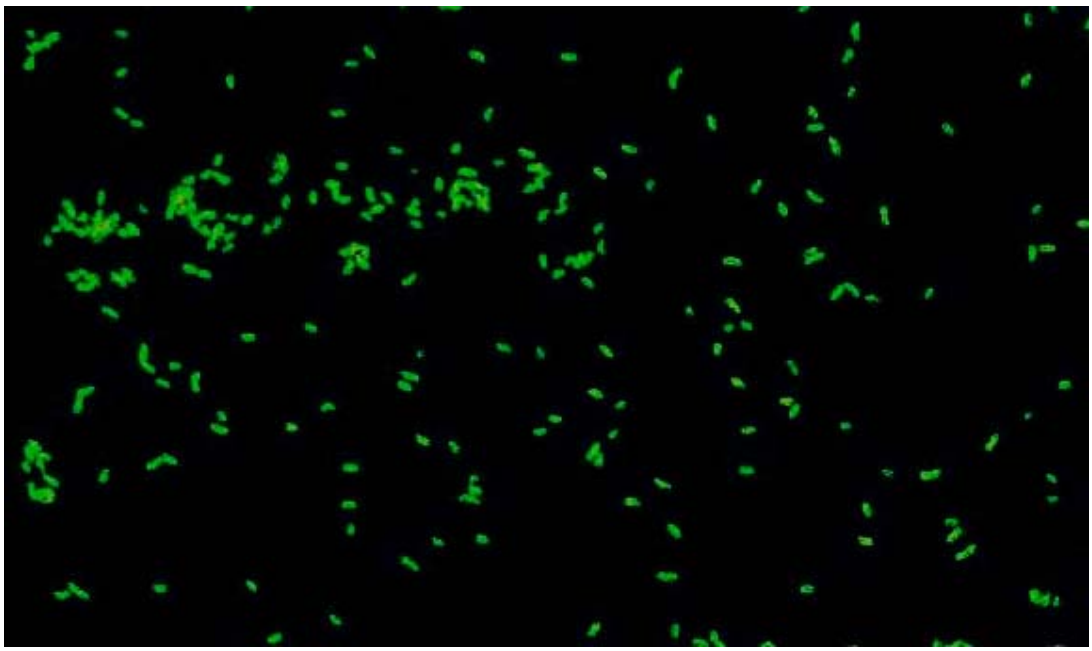


Fig. I Cells of *A. brasilense* with a *gfp* gene inserted in its cromosome, viewed under fluorescence microscopy (1000 X)

Fifty of these colonies were isolated for examination under epifluorescence microscopy (Fig. 1). Different fluorescence intensities were observed among them. Several of the clones showed very strong fluorescence, while other had only weak fluorescence. This phenomenon is similar to *gfp*-tagged *Pseudomonas aeruginosa* strains (Dandie et al., 2001). One of these clones was selected for further characterization.

Growth of *gfp*-labeled *Azospirillum lipoferum*

One mutant (*A. lipoferum* JA4::*ngfp*-fms), displaying a strong fluorescence under fluorescence microscopy, was characterized compared with the wild type by determination of morphological characteristics and growth rate in rich medium. Both colony and cell morphology, as well as motility were similar to that of the wild type (Bashan et al., 1993). Growth curves in nutrient broth of both the mutant and the wild type were similar (0.69 versus 0.66 h^{-1}, respectively,). This suggests that no metabolic load has been imposed to this strain by the acquisition of the *gfp* and Tc resistant genes. The strain was further tested for stability of the fluorescent trait. After 50 generations of growth under non-selective conditions (absence of antibiotic), 100 % of about 4000 screened colonies kept the fluorescence character under the examination by the 365 nm UV lamp.

Nitrogenase activity

To confirm that the presence of the acquired tagging genes did not interfere with the ability of *Azospirillum* to fix atmospheric nitrogen, five of the recombinant strains were evaluated for their growth on N-free medium as well as their capacity for acetylene reduction (nitrogenase) activity, in comparison with their parent strains.

We found that besides conserving their ability to grow on N-free medium, most of the recombinant strains harboring the *gfp* gene inserted into the chromosome, exhibited an enhanced nitrogenase activity. Only strain *A. lipoferum JA4::gfp6* the progeny of the *A. lipoferum* JA4 strain carrying the promoterless wild type *gfp* gene in the chromosome, showed the same level of nitrogenase activity as the wild type. The rest of the evaluated recombinant strains, even with the promoterless wild type gene, or with the mutant *gfp* gene significantly increased their nitrogen fixation (Table 2).

Table 2. Nitrogenase activity of *gfp*-tagged *Azospirillum* strains in comparison with the wild type strains *A. brasilense* 8I and *A. lipoferum* JA4

Strain	Growth in N-free (OAB) medium plates*	Acetylene reduction	
		(nmole Ethylene)**	% of the parent strain
A. brasilense 8I	+	24.6^{a}	-
A. brasilense 8I::*gfp*	+	74.7^{b}	303.7
A. lipoferum JA4	+	3.6^{c}	-
A. lipoferum JA4::*gfp*6	+	3.4^{c}	94.4
A. lipoferum JA4::ngfp-fms	+	15.6^{d}	433.3
*A. lipoferum JA4::ngfp*5	+	18^{d}	500.0
*A. lipoferum JA4::ngfp*15	+	21.8^{d}	605.5

* + : positive growth
**Values denoted by different letters differ significant at $P \leq 0.05$ by one-way ANOVA

DISCUSSION

Nitrogen fixation is one of the most important and particular characteristic of the genus *Azospirillum*, a known PGPB responsible for growth promotion of many plant species (Bashan and Holguin 1997). Any genetic modification of the bacterium that affects this trait is therefore of significant importance. Our study showed that inserting green fluorescence marker genes via minitransposons in the choromosome significantly enhanced nitrogen fixation in the majority of the recombinant strains.

Increases in nitrogen fixation rate as the result of transposon insertions has been reported in *Bradyrhizobium japonicum (*Maier and Graham 1990) and *Rhizobium tropici* (Marroqui et al., 2001). It is

possible that interruption of a gene that affects negatively the nitrogenase activity could be the cause of the enhanced effect of this mutagenesis. In *A. brasilense*, the disruption by Tn5 mutagenesis of an open reading frame probably related to a universal stress protein, caused increase in its nitrogen fixation capacity (Revers et al., 2000).

Recently, Xi et al. (1999) attempted to tag *A. brasilenses* strains with *gfp* genes. Although they successfully tagged other rhizobacterial species, they obtained only weak fluorescence in *A. brasilenses* with a mutant gene under the constitutive npt2 promoter and no exconjugants when transfering the promoterless *gfp* gene. They attributed this to differences in codon usage among different species. In our conjugation experiments, we added a technical step of washing the cells collected from the conjugation plates twice, aiming to avoid the background growth that sometimes appears due to the presence of traces of nutrients from the culture medium. As a result, besides the background elimination, we observed a higher frequency of recombinants in comparison with non-washed cells. This is possible due to the elimination of compound (s) from the conjugation mixture negatively affecting the survival of the recombinants. In fact, we obtained a higher frequency than that reported for other promoterless *gfp* genes inserted into Gram-negative bacteria (Suarez et al., 1994).

Our successful detection of *gfp* clones after incubation at 4°C suggests that the incubation at low temperatures could have favored the expression of the fluorescence trait. In both strains, different sites of insertion could have occurred, and the induction of the protein takes place under a native promoter at the insertion site. Therefore, it seems that the enhanced expression has no connection with promoter behavior, but most likely, to protein expression. Similarly, the fluorescence of whole cells and sonicated fraction of a *gfp*-tagged *P. fluorescens* increased with incubation at 4 ^{0}C, while a decrease was observed at 23 and 30 ^{0}C (Cassidy et al., 2000). The proportion of *gfp*-expressing colonies in comparison with the total exconjugants obtained in these experiments (0.03%) was lower that that reported by Suarez et al. (1994), but similar to the results of Eberl et al. (1997) both working with promoterless *gfp* genes.

In summary, the obtained improvement of nitrogen fixation by insertion of these, seemingly unrelated, *gfp* marker genes, in *Azospirillum* strains is important when one is considering modifying this species for traits not related to the basic function of the bacterium.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Dr. Leo Eberl from the Technical University of Munich and Dr. Catherine Dandie from The Flinders University of South Australia for kindly providing plasmid pUTminiTn5Kmg*fp,* and plasmid pUTminTn5ng*fp*, respectively, and Mr. Ariel Cruz for gas chromatography. This study was supported by Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), Mexico, contract # EX-000580, and partially by the Bashan Foundation.

REFERENCES

Bashan, Y. and Holguin G. (1997). Can. J. Microbiol. 43, 103-121.

Bashan, Y., Holguin, G. and Lifsshitz R. (1993) In: Methods in Plant Molecular Biology and Biotechnology (Glick, B. and Thompson, J.E., Eds.) pp.331-345. CRC Press, Boca Raton, FL.

Bloemberg, G.V., O'Toole, G.A., Lugtenberg, B.J.J. and Kolter R. (1997. Appl. Environ. Microbiol. 63, 4543-4551.

Cassidy, M.B., Leung, K.T., Lee, H. and Trevors, J.T. (2000). J. Microbiol. Methods 40, 135-145

Castellanos, T., Asensio, F. and Bashan Y. (1997).. FEMS Microbiol. Ecol. 24, 159-172.

Dandie, C.E., Thomas, S.M. and McClure N.C. (2001). Lett. Appl. Microbiol. 32, 26-30.

Eberl, L., Schulze, R., Ammendola, A., Geisenberger, O., Erhart, R., Sternberg, C., Molin, S. and Amann, R. (1997). FEMS Microbiol. Lett. 149, 77-83

Errampli D., Leung, K., Cassidy, M.B., Kostrzynska, M., Blears, M., Lee, H. and Trevors, J. T. (1999). J. Microbiol. Methods 35, 187-199.

Figurski, D.H. and Helinski, D.R. (1979). Proc. Natl. Acad. Sci. (USA). 76, 1648-1662.

Holguin, G., Guzman, M.A. and Bashan, Y. (1992). FEMS Microbiol. Ecol. 101, 207-216.

Ma, W., Zalec, K. and Glick, B.R. (2001). FEMS Microbiol. Ecol. 35, 137-144.

Maier, R.J., and Graham, L. (1990). Appl. Environ. Microbiol. 56, 2341-2346.

Marroqui, S., Zorreguieta, A., Santamaría, C., Temprano, F., Soberon, M., Megias, M. and Downie, J.A. (2001). J. Bacteriol. 183, 854-864.

Prayitno, J., Stefaniak, J., McIver, J., Weinman, J.J., Dazzo, F.B., Ladha, J.K., Barraqui, W., Yanni, Y.G. and Rolfe, B.G. (1999). Aust. J. Plant Physiol. 26, 521-535.

Revers, L.F., Pereira, L.M., Marchal, K., Frazzon, J., Galindo, C., Vanderleyden, J. and Silveira, I.

Sambrook, J. and Russell, D.W. (2001) Molecular Cloning: A Laboratory Manual, Third edition., Cold Spring Harbor Lab. Press, N.Y.

Suarez, A., Güttler, A., Strätz, M., Staender, L.H., Timmis, N.K. and Guzman, C.A. (1997. Gene 196, 69-74

Tombolini, R., van der Gaag, D.J., Gerhardson, B. and Jansson, J.K. (1999). Appl. Environ. Microbiol. 65, 3674-3680.

Xi, C., Lambrecht, M., Vanderleyden, J. and Michiels, J. (1999. J. Microbiol. Methods 35, 85-92.

"INFLUENCIA DE LA FUENTE DE CARBONO Y NITRÓGENO EN LA PRODUCCIÓN DE UN BIOFUNGICIDA A PARTIR DE PSEUDOMONAS AERUGINOSA CEPA PSS, PARA EL CONTROL DE HONGOS FITOPATÓGENOS"

Autores: Alina Frias Seoane[1]; Pilar Villa Gomez[1]; Antonio Bell[1]; Jorge Martínez[2]; Esmérida Torres[1]; Delfa Redondo y Julio Santo Tomás[1]
[1] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) Aptdo Postal 4026, Ciudad de La Habana, e mail: alina@icidca.edu.cu
[2] Facultad de Biología. Universidad de La Habana

RESUMEN
En la última década, se aprecia un resurgimiento en el interés de emplear métodos de control biológico para atenuar los daños que han ocasionado los agroquímicos al medio ambiente. Entre los microorganismos con propiedades promisoria para el control biológico se encuentran las *Pseudomonas*, las cuales producen una gran variedad de metabolitos antimicrobianos, condicionados por parámetros fermentativos. En el presente trabajo, se estudió la influencia de la fuente de carbono y nitrógeno en la producción de un biofungida a partir de *Pseudomonas aeruginosa* cepa PSS, para el control de hongos fitopatógenos.

Como resultado se obtuvo que la producción del biofungicida está altamente influenciada por la fuente de carbono. El medio formulado conteniendo ácido glutámico - urea -fosfato, resultó más económico a escala semicomercial, para ser empleado en el control de hongos fitopatógenos.

Palabras claves: Pseudomonas, metabolitos, sideroforos, antibioticos, control biológico

"Influence of carbon and nitrogen sources in the production of a biofungicide from *Pseudomonas aeruginosa* PSS, for phytopathogens fungus control"

Summary:

In the last decade, a resurgence in the use of biocontrol methods, diminishing the environmental damages provocated by agrochemical products, has been appreciated. Among the microorganisms with promissory properties for the biological control, the genus *Pseudomonas,* produce a great variety of antimicrobial metabolites conditioned by fermentative parameters. In this work, the influence of carbon and nitrogen sources on the biofungicide production by *P. aeruginosa* PSS to phytopathogens fungus control, was study

Was observed that biofungicide production is highly influenced by carbon source used. The formulated culture media containing glutamic acid-urea-phosphate, was more economic to be used in phytopathogenic fungus control.

Key word: Pseudomonas, metabolites, siderophore, antibiotic, biological control

INTRODUCCIÓN

Cada día se hacen más atractivos los métodos de control biológico en la agricultura, como una alternativa para reducir los daños que los agentes químicos provocan al ambiente y mantener el equilibrio ecológico, siendo numerosas las investigaciones que se realizan a escala mundial en este campo.(Howell y col., 1994; Défago, 1993; Lugtenberg y col., 1991)

Entre los microorganismos estudiados para el control biológico, se destacan las especies fluorescentes del género *Pseudomonas*, las cuales basan su mecanismo de acción fundamentalmente en los metabolitos que producen: sideróforos, antibióticos y fitotóxinas que las hacen interesantes desde el punto de vista de la Biotecnología Agrícola.

Se reporta por diferentes autores que la producción de los metabolitos secundarios por las *Pseudomonas fluorescentes*, depende de factores como son; la fuente de carbono y nitrógeno, temperatura, pH y niveles de agitación y aireación, entre otros, por lo que los procesos fermentativos relacionados con la obtención de un metabolito u otro resulta compleja aún cuando se mantengan las mismas condiciones de fermentación (Frías A., 2003, Díaz de Villegas 1999, Slininger 1995)

En el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) se llevan a cabo las investigaciones donde se ha obtenido un producto biológico a partir de *Pseudomonas aeruginosa* cepa PSS efectivo en el control de hongos fitopatógenos que atacan cultivos como tabaco, caña de azúcar y tomate entre otros, realizando diferentes estudios siendo el objetivo del presente trabajo presentar los realizados sobre la influencia de las fuentes de carbono y nitrógeno en la producción de los metabolitos antimicrobianos

MATERIALES Y METODOS

Microorganismos: Para el desarrollo del trabajo se empleó la cepa *Pseudomonas aeruginosa* PSS de la colección del ICIDCA y el hongo *Alternaria alternatti,* procedente de la colección del INISAV.

Estudio de la influencia de la fuente de carbono

Para ello se evaluaron 9 fuentes de carbono de orígenes diferentes a $10gL^{-1}$, las cuales se relacionan a continuación: glucosa, lactosa, sacarosa, almidón, glutámico, glicerol, maltosa, soya,, Biopla (Medio residual en la producción de melagenina)
Como fuente de nitrógeno se empleó la urea ($0.85gL^{-1}$) y como fuente de fósforo el fosfato de potasio monobásico ($0.56gL^{-1}$) . Todos los medios fueron ajustados a pH 7 al inicio de la fermentación.

Estudio de la influencia de la fuente de nitrógeno

Se evaluaron las siguientes fuentes de nitrógeno para la producción de metabolitos antimicrobianos, en los medios que contenían ácido glutámico y glicerol a la concentración de $10gL^{-1}$ y como fuente de fósforo se empleó el fosfato de potasio monobásico ($0.56gL^{-1}$).
Las fuentes de nitrógeno a una concentración de $0.85gL^{-1}$evaluadas fueron: Nitrato de amonio (NO_3NH_4) , Cloruro de amonio (NH_4CL), Fosfato de amonio (NH_4HPO_4), Sulfato de amonio (NH_4SO_4) Nitrato de sodio ($NaNO_3$), Urea (CH_4N_20), Extracto de levadura
Las condiciones de fermentación fueron las empleadas en el estudio de las fuentes de carbono.

Influencia de la concentración de carbono en la producción de metabolitos

Para determinar el efecto de la concentración de la fuente de carbono en la producción de metabolitos, se realizó un diseño experimental factorial 2^2 . Las experiencias se realizaron con los medios que contenían ácido glutámico y glicerol como fuente de carbono, a dos concentraciones 5 y 10 gL^{-1}. Para ello se mantuvo la urea como fuente de nitrógeno ($0.85gL^{-1}$) y el $KHPO_4$ a ($0.56gL^{-1}$) bajo las mismas condiciones de fermentación de los experimentos anteriores.

Desarrollo del inóculo

De un cultivo de 24 horas crecido sobre placa Petri que contenía King B Agar se transfirió a un matraz de invaginación con King B caldo durante 8 horas pasando a otro matraz de invaginación conteniendo el mismo medio, incubándose 18 horas a 175 r.p.m. y 30^0C.

Condiciones de Fermentación

El inóculo fue transferido en una relación de 1:10 a matraces invaginados de 250 ml de capacidad que contenían 90 ml de los medios con las distintas fuentes a estudiar. Se incubaron por triplicado en zaranda rotatoria durante 24 horas a 30^oC pH 7 y 175 r.p.m.

Análisis realizados

Crecimiento: Mediante densidad óptica a 600nm en espectrofotómetro OPTON PM 2ª.
pH: Las determinaciones de pH se realizaron en pH metro Pacitronic MV 870.
Sideróforos: Se determinó por método espectrofotométrico conociendo el coeficiente de absorción molar.E=2000$LM^{-1}cm^{-1}$ (Villa y col., 1995)
Determinación de azúcares por HPLC: Las muestras se centrifugaron, filtraron y se inyectaron directamente al sistema cromatográfico. Los perfiles cromatográficos se obtuvieron en un cromatógrafo líquido isocrático con un detector de índice de refracción. Se empleó una columna cromatográfica SUPERCOSIL LC-NH_2, 5□m, 250x4.5, con una pre-columna SUPERCOSIL LC-NH_2, 5µm y válvula de inyección RHEODYNE, con lazo de 20□l. Como fase móvil se empleó acetonitrilo:agua 80:20, con flujo de 2ml/min. La concentración de los azúcares se calculó mediante el programa BIOCROM por el método estándar externo.
Concentración del principio activo: El caldo obtenido por fermentación fue centrifugado durante 20 minutos a 10 000 r.p.m. y 8 mL del sobrenadante y fue llevado hasta pH=3 con HCl 1N y extraído 3 veces con 1.4 mL de acetato de etilo. Se centrifuga y la fracción orgánica fue evaporada hasta sequedad en estufa al vacío a 45^0C para cuantificar el principio activo (mgL^{-1}) (Villa, 1999)
Ensayos in vitro: Se llevaron a cabo mediante el ensayo de actividad antibiótica por la técnica del envenenamiento del medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) empleándose el hongo fitopatógeno *Alternaria alternatti* determinando el % de inhibición del crecimiento micelial comparado con un testigo.(Bagnasco y col., 1998)

Análisis estadísticos

Para los diferentes experimentos se llevaron a cabo análisis de varianza con un nivel de significación del 99%, con el fin de determinar si existen diferencias significativas entre los factores. Los análisis de varianza, regresión y Duncan se realizaron con el paquete estadístico Statgraphics Plus para Windows, versión 5.0, Copyright by Statistical Graphics Corp.1994-2000.

RESULTADOS Y DISCUSION

Influencia de la fuente de carbono

En la obtención de metabolitos antimicrobianos a partir de *Pseudomonas* fluorescentes, juega un importante rol la fuente de carbono a emplear en el medio en que éstas se van a desarrollar, por lo que todo estudio relacionado con su efecto es indispensable para la producción de los mismos en condiciones de cultivo. (Villa y col., 2002, 2001; Duffy y Défago, 1999; Slininger y col.,1996, 1995).
Dadas estas premisas se estudió la influencia que ejercen 9 fuentes de carbono de orígenes diferentes, para determinar cuál de los sustratos logra una mayor expresión de los metabolitos antimicrobianos a partir de *Pseudomonas aeruginosa* cepa PSS.

El efecto que ejercen las diferentes fuentes de carbono sobre el crecimiento celular y la velocidad específica de crecimiento de la cepa *P.aeruginosa* PSS, se presentan en la Figura 1. En la misma se observa que la fase estacionaria se alcanza a las 8 horas para los medios Biopla, soya, sacarosa, lactosa, almidón y maltosa, mientras que para glutámico, glicerol y glucosa a las 10 horas.

En trabajos reportados por Villa, (1999), Fernández, (1998) y Frías, (1997), con la misma cepa en 3 medios (glucosa, glutámico y Biopla) como fuentes de carbono, se observó que alcanza la fase estacionaria a las 10 horas, por lo que los resultados obtenidos en este trabajo confirman los mismos.

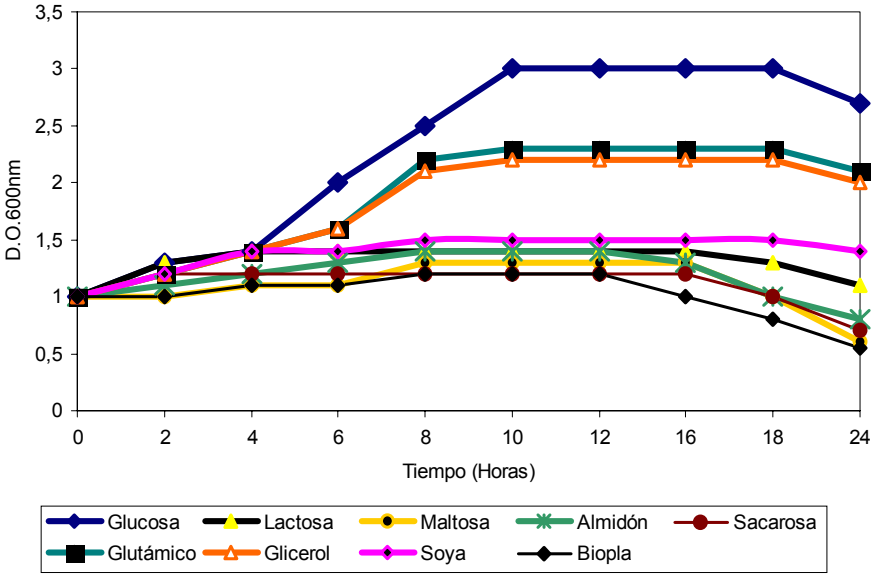


Figura 1: Dinámica de crecimiento de la cepa *P. aeruginosa* PSS con las 9 fuentes de carbono evaluadas, 30^0C, 175rpm.(n=3, Desviación estándar=0.03).

Las fuentes de carbono estudiadas influyen sobre el crecimiento de la cepa de modo diferente, alcanzando la máxima velocidad específica de crecimiento en el medio con glucosa ($0.3h^{-1}$), seguido de los medios glutámico y glicerol (0.22 y 0.20 respectivamente). Sin embargo, sustratos como: soya, sacarosa, lactosa, almidón, maltosa y el medio residual de melagenina denominado Biopla, reportan los valores más bajos ($0.05h^{-1}$)(Tabla 1).

Tabla 1: Resultados de la influencia de las fuentes de carbono sobre el pH y la velocidad específica de crecimiento con la cepa *Pseudomonas aeruginosa* PSS.

Fuentes de Carbono	*pH*	*□ (h^{-1})*
Glucosa	3.4	0.30
Lactosa	8.6	0.06
Maltosa	8.7	0.05
Almidón	8.5	0.05
Sacarosa	8.6	0.06
Glutámico	8.9	0.22
Glicerol	7.9	0.20
Soya	8.7	0.05
Biopla	8.8	0.05

Según el análisis de varianza (ANOVA) las fuentes de carbono estudiadas influyen significativamente sobre el crecimiento celular para un nivel de confianza del 99%. Por su parte, el test de Duncan evidenció

la diferencia significativa existente entre las fuentes de carbono, destacándose los medios con glucosa, glutámico y glicerol para un α=0.05.

Estos resultados indican que la cepa *P. aeruginosa* PSS logra un mayor crecimiento al emplear un azúcar simple como la glucosa, siendo fácilmente asimilable por los microorganismos, según el principio de economía celular. (Fernández, 1998).

Los niveles medio de crecimiento obtenidos con glutámico como fuente de carbono, se justifican al ser convertidos los aminoácidos a α ceto ácidos mediante desaminación oxidativa, siendo incorporados directamente al ciclo de Krebs, así como el glicerol se fosforila y oxida a dihidroxiacetona fosfato, que a su vez se isomeriza a gliceraldehído-3 fosfato, siendo éste un compuesto intermediario que se encuentra tanto en la vía glicolítica como en la gluconeogénica (Stryer, 1995).

Por otra parte, los niveles de crecimiento obtenidos con disacáridos como fuente de carbono, así como el Biopla y la harina de soya, pudieran estar relacionados con su asimilación. Debido a la complejidad de su estructura, éstos requieren de una previa hidrólisis enzimática, llevándolos a unidades individuales de monosacáridos para ser transportados al interior de la membrana citoplasmática (Doudoroff y Palleroni, 1984)

La Figura 2 muestra la influencia de la fuente de carbono sobre la producción de metabolitos sideróforos, donde el valor máximo alcanzado se produjo en el medio glutámico con 300 $molL^{-1}$, seguido de glicerol (260 $\mu molL^{-1}$). Los niveles de producción en las restantes fuentes no sobrepasan los 60 $\mu molL^{-1}$.
En los medios donde se empleó lactosa, almidón, maltosa y sacarosa, el nivel de producción fue bajo, coincidiendo con lo reportado por Slininger y col.,(1995) y en el que contiene glucosa, se reporta el nivel más bajo de producción de sideróforos, lo que confirma lo planteado por Villa, (1999).

El análisis de varianza realizado a las fuentes de carbono sobre la producción de sideróforos muestra la diferencia significativa para un 99% de confianza entre los componentes.

El test de Duncan refleja coincidencias entre grupos como son los casos de lactosa, maltosa, Biopla-sacarosa, soya y almidón. Sólo los medios glutámico, glicerol y glucosa presentan diferencias significativas para un α=0.05.

Estudios realizados por Nowak-Thompson y col., (1994), plantean que la glucosa favorece o desfavorece según el metabolito a obtener. En tal sentido, se observó que la glucosa no favorece la producción de metabolitos sideróforos en la cepa *Pseudomonas aeruginosa* PSS, posiblemente por la formación de ácido glucónico (Lehninger, 1981), si tenemos en cuenta que el pH alcanza valores bajos (3.4), mientras que con las restantes fuentes de carbono, se mantuvo entre 7.9 y 8.9 (Tabla 1).

Otros autores plantean que los sideróforos pueden indirectamente estimular la biosíntesis de otros compuestos antimicrobianos (Leeman y col., 1996), además de ser sensibles a pH ácidos, mostrando una pronunciada dependencia de éste parámetro. (Díaz de Villegas, 1999; Budzikiewicz, 1997, Torres y col., 1986, Meyer y Abdallah, 1978).

En trabajos realizados por Slininger y Shea-Wilbur, (1995) con la cepa *Pseudomonas fluorescens* 2-79 se obtuvo un rango de pH entre 7 y 8 como óptimo para el ácido -1-fenacina-carboxílico en el medio glucosa con urea. Sin embargo, en nuestro trabajo con *Pseudomonas aeruginosa* PSS, no se incrementa el pH como sucede con las otras fuentes, confirmando que la cepa PSS sólo utiliza la glucosa para su crecimiento y como resultado del metabolismo produce ácido, que no inhibe el crecimiento del hongo, por lo que no es un sustrato para obtener metabolitos con fines fitosanitarios.

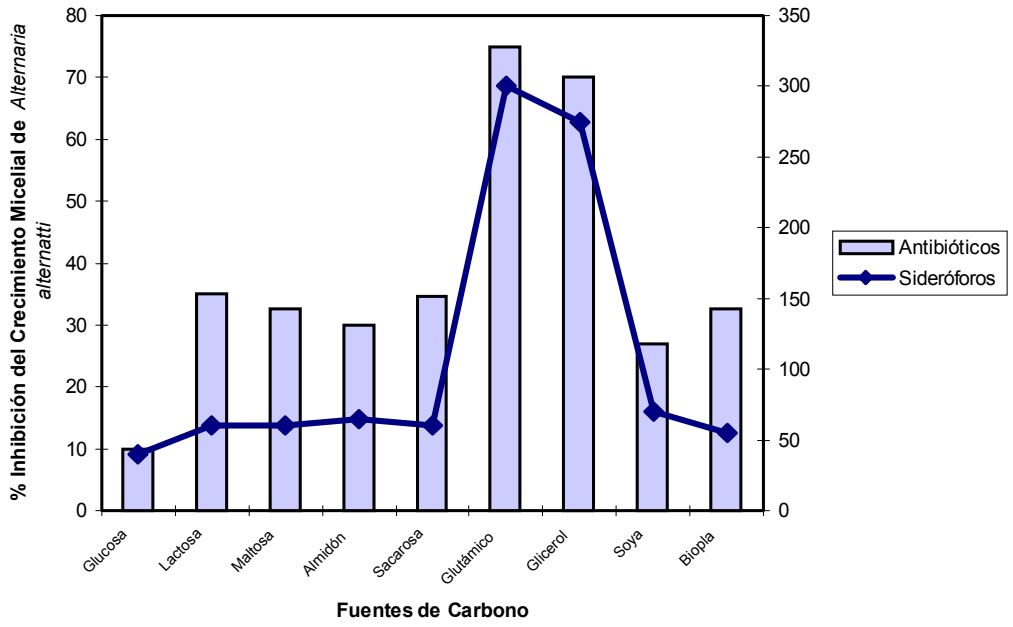


Figura 2: Influencia de la fuente de carbono sobre la producción de metabolitos sideróforos y antibióticos en la cepa *P. aeruginosa* PSS. (n=3, Desviación estándar=1.16)

Por otra parte, estudios realizados por Duffy y Défago, (1999) plantean que la producción de sideróforos como el piochelin es incrementada en medios con glucosa como fuente de carbono, así como, el ácido salicílico por glicerol y glucosa, afirmando que la fuente de carbono juega un importante papel en la obtención de dichos metabolitos; sin embargo, en este trabajo se obtuvieron los mejores resultados con ácido glutámico y glicerol, coincidiendo ambos medios con los resultados obtenidos en la producción de metabolitos antibióticos tal como se observa en la Figura 2, donde se llega a alcanzar una inhibición del crecimiento micelial del hongo *Alternaria alternatti* del 75-70% respectivamente.

Al realizar el análisis de varianza de los resultados (ANOVA), se comprobó que en la producción de metabolitos antibióticos, influye significativamente la fuente de carbono empleada, para un 99% de confianza. Según el test de Duncan, todas la fuentes de carbono muestran diferencias significativas, donde los medios glutámico y glicerol, registran los mayores % de inhibición del crecimiento del hongo *Alternaria alternatti* . Es de señalar que entre los factores que incrementan la producción de metabolitos sideróforos y antibióticos está el suplemento de aminoácidos al medio, encontrando que el ácido glutámico es una de las fuentes de carbono más empleadas, ya que aporta carbono y nitrógeno al medio. (Díaz de Villegas y col., 2000; Slininger, y Shea Wilbur, 1995; Meyer y col., 1993; Casida, 1992)

Es conocida la gran versatilidad metabólica que presenta el género *Pseudomonas,* que se traduce en su capacidad de utilizar como fuente de carbono sustratos muy variados para la producción de compuestos antimicrobianos, por ejemplo: trabajos realizados por Shanahan y col., (1992), observaron que la síntesis del 2,4-diacetilfloroglucinol en *Pseudomonas sp.* cepa F113, es estimulada por manitol o sacarosa, pero no por glucosa. Otros autores plantean que la síntesis de pioluteorin por *Pseudomonas fluorescens* Pf-5, está disminuída en presencia de glucosa y en *Pseudomonas fluorescens* HV-37ª, la producción de oomicina está presente cuando la glucosa es fuente de carbono, (Kraus, y Loper, 1995).

En este estudio, la cepa PSS fue evaluada con disímiles fuentes y coinciden en alcanzarse los mejores resultados con los medios glicerol y glutámico para la producción de metabolitos sideróforos y antibióticos, lo que coincide con Alstrom, (1987) y Douglas y Gutterson, (1986), que plantean que los

microorganismos frecuentemente prefieren una fuente de carbono específica para la producción de un metabolito secundario en particular

Influencia de la fuente de nitrógeno

La influencia de la fuente de nitrógeno sobre el crecimiento y la producción de metabolitos antimicrobianos se estudió con 7 fuentes de nitrógeno empleando las fuentes de carbono que mejor resultados alcanzaron, el ácido glutámico y glicerol a $10gL^{-1}$.

La Tabla 2 muestra los valores de velocidad específica de crecimiento (μ) en ambos medios con las fuentes nitrógeno evaluadas, donde se observa que el mayor valor alcanzado se obtiene con la urea como fuente de nitrógeno, tanto para el medio glicerol como para el glutámico, donde se alcanzan valores deμ de 0.20 y $0.22h^{-1}$ respectivamente.

El análisis de varianza (ANOVA) de los resultados evidencia que la fuente de nitrógeno no influye significativamente, para un nivel de confianza del 99%, en la producción de metabolitos antimicrobianos (sideróforos y antibióticos) ni en el crecimiento celular, siendo independiente de la fuente de nitrógeno empleada .

En el medio que contiene ácido glutámico no se produjo gran variación en el nivel de producción de sideróforos, donde se obtuvo una concentración entre 250 y 300□$molL^{-1}$. Este máximo es obtenido con la combinación de ácido glutámico y urea. (Figura 3).

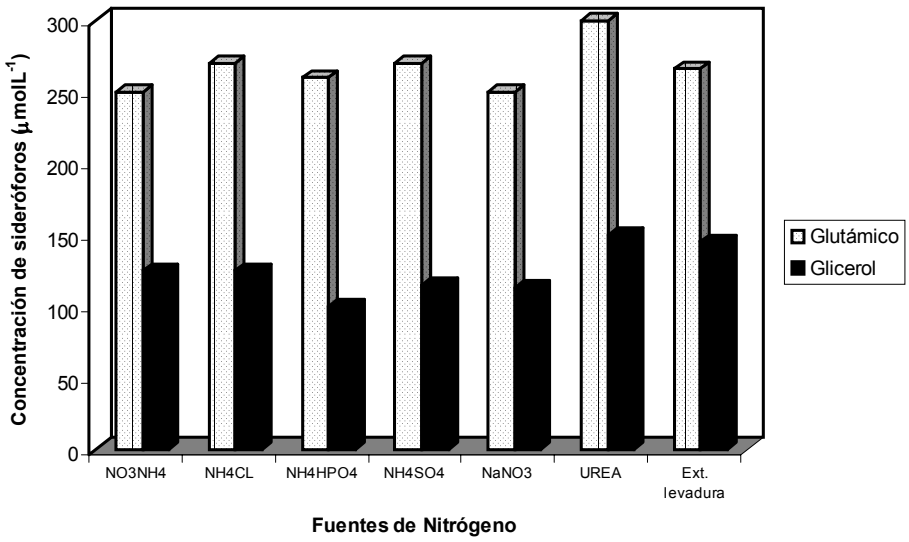


Figura 3: Influencia de la fuente de nitrógeno sobre la producción de sideróforos en los medios glutámico y glicerol con la cepa *P. aeruginosa* PSS.(n=3, Desviación estándar=3.12)

Con respecto a la producción de metabolitos antibióticos tampoco se observan diferencias, al alcanzarse un 75% de inhibición del crecimiento micelial del hongo *Alternaria alternatti,* para todas las fuentes de nitrógeno estudiadas.

El comportamiento respecto al pH en el medio glutámico siempre mantuvo una tendencia a subir, alcanzando valores por encima de 8 para todas las combinaciones evaluadas (Tabla 2). Como se ha planteado anteriormente, esta tendencia propicia la producción de metabolitos antimicrobianos, al ser estos fuertemente incrementados a pH altos (Villa, 1999; Frías, 1997).

Tabla 2: Influencia de las fuentes de nitrógeno en los medios glutámico y glicerol sobre el pH final y la velocidad específica de crecimiento.

Fuentes de Nitrógeno	*pH final Glutámico*	*pH final Glicerol*	*μh^{-1}) Glutámico*	*(h^{-1}) Glicerol*
NO_3NH_4	8.1	4.4	0.16	0.17
NH_4CL	8.2	4.3	0.17	0.16
NH_4HPO_4	8.0	5.7	0.18	0.19
NH_4SO_4	8.1	3.8	0.15	0.15
$NaNO_3$	8.0	4.1	0.14	0.15
Urea	8.8	7.4	0.22	0.20
Extracto de Levadura	9.1	7.7	0.20	0.18

En el medio que contiene glicerol, se obtienen valores menores en la producción de metabolitos con respecto a las obtenidas en el medio glutámico, para todas las fuentes de nitrógeno empleadas (Figura 8), alcanzando los mejores resultados con el medio que contiene urea. Con las restantes fuentes de nitrógeno la producción de metabolitos es menor, lo que pudiera deberse a la tendencia a disminuir los valores de pH al final de la fermentación (Tabla 2).

El uso de sales de nitratos (NO_3NH_4, $NaNO_3$) como fuentes de nitrógeno producen un decrecimiento en la producción de sideróforos, lo cual pudiera deberse al agotamiento del ión nitrato por *Pseudomonas aeruginosa* PSS, generando un pH ácido por ionización de NO_2 que es el responsable de este efecto. Al emplear sulfato de amonio, como fuente de nitrógeno, se observa una disminución del pH al liberar sulfúrico al medio, producto del metabolismo celular al utilizar esta fuente de nitrógeno. Sin embargo, con la urea se observa el aumento del pH, debido a su descomposición en amoníaco y CO_2.(Villa y col., 1998)

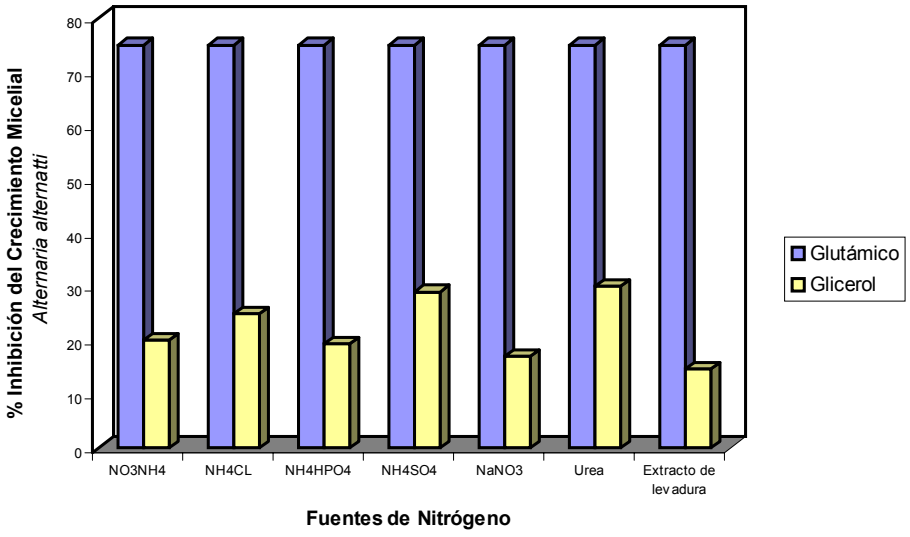
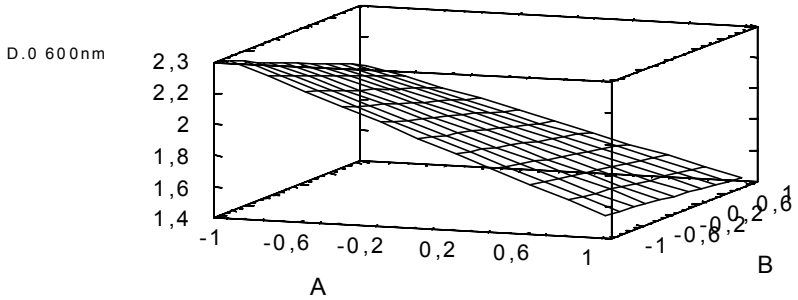


Figura 4: Influencia de las fuentes de nitrógeno sobre la producción de metabolitos antibióticos en los medios glutámico y glicerol con la cepa *P. aeruginosa* PSS.

El extracto de levadura mostró ser una fuente potencial para la obtención de biomasa, pero no así para la producción de sideróforos, por contener en su composición vitaminas y aminoácidos que favorecen el crecimiento celular y por otra parte el contenido de cenizas dado por las trazas minerales, entre los que se encuentran sales de hierro que pudieran inhibir la producción de sideróforos.

Dados los resultados obtenidos, los estudios se continuaron con la urea como fuente de nitrógeno por ser la más económica para producciones a escala industrial y las dos fuentes de carbono que mejores resultados han reportado, ácido glutámico y glicerol a dos concentraciones diferentes, mediante un diseño experimental 2^2.

La superficie de respuesta obtenida sobre el crecimiento de la cepa PSS contra los factores evaluados (medio y concentración de sustratos) (Figura 5), indica diferencias entre las condiciones estudiadas, para 5 y 10 gL^{-1} respectivamente.



Crecimiento = 1.85-0.366667 x A - 0.116667 x B + 0.0666667 x A x B

Figura.5 : Modelo de superficie respuesta obtenido sobre el crecimiento de la cepa *P. aeruginosa* PSS

En el análisis de varianza realizado se observó que esta diferencia es significativa para un nivel de confianza del 99%, obteniéndose los mejores resultados con el medio glutámico a $5gL^{-1}$.

Los datos obtenidos del efecto de la concentración de sustratos sobre la obtención de metabolitos antimicrobianos (sideróforos y antibióticos), se ajustaron al modelo siguiente:

$$Y= B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{12}X_1X_2$$

donde X_1 es sustrato y X_2 es concentración, observándose los siguientes resultados:

La concentración de sustratos influyen significativamente para un nivel de confianza de 99% en la producción de sideróforos. Se alcanzan los mejores resultados con $5gL^{-1}$ de glutámico como fuente de carbono.(Figura 6)

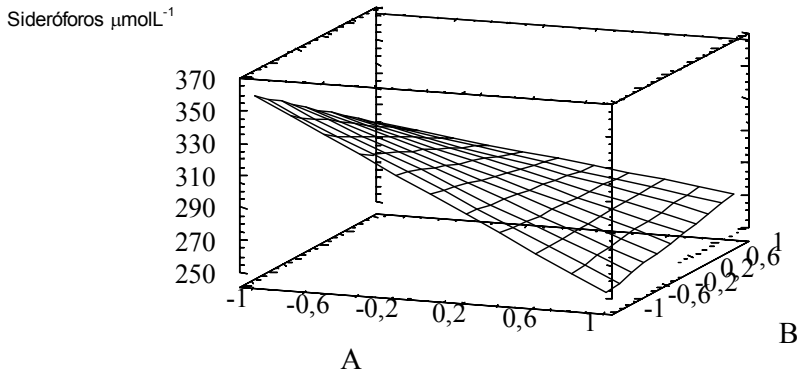


Figura6:Modelo de superficie de respuesta obtenido para la producción de sideróforos por la cepa *P. aeruginosa* PSS

Para los metabolitos con actividad antibiótica hay influencia significativa de la concentración de sustrato para un nivel de confianza del 99% , lo cual puede observarse al lograr la máxima inhibición (100%) del desarrollo micelial del hongo *Alternaria alternatti,* cuando se emplea el ácido glutámico a $5gL^{-1}$. (Figura 7)

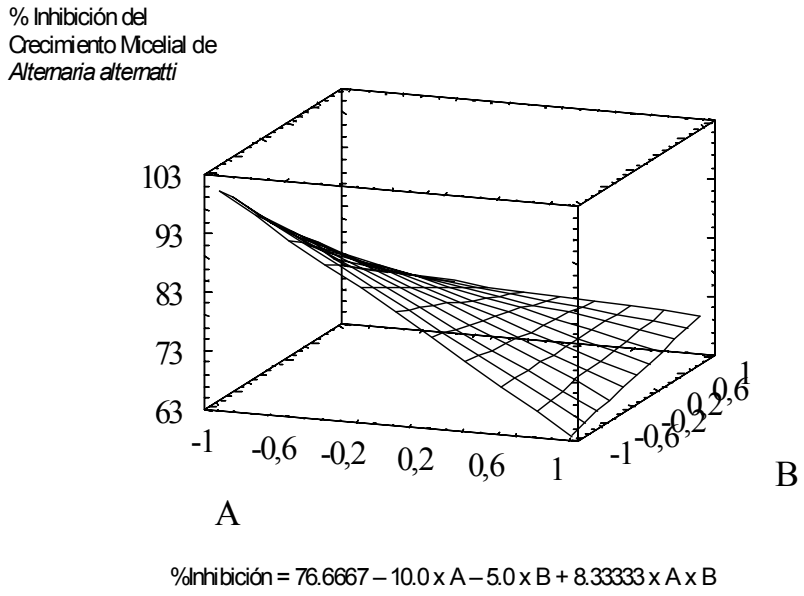


Figura 7: Modelo de superficie respuesta para el % inhibición del micelio de *Alternaria alternatti*

El análisis de la superficie de respuesta indica que el medio glutámico a una concentración de $5gL^{-1}$, favorece un mejor crecimiento y mayor producción de los metabolitos sideróforos y antifúngicos, lo que evidencia una vez más que factores nutricionales, influyen de manera significativa en el proceso fermentativo, coincidiendo con lo reportado por diferentes autores (De Souza, 2003; Duffy y Défago, 1999; Thomashow y Weller, 1996; Slininger y col., 1996, 1995)

El rendimiento Producto/Sustrato con respecto a la concentración de metabolitos antimicrobianos(mgL^{-1}) varía desde el 6% hasta 30% logrado en el medio glutámico a $5gL^{-1}$. Tanto para el glicerol como para el glutámico el empleo de $10gL^{-1}$ no resulta efectiva, dado los bajos rendimientos alcanzados (Tabla 3)

Tabla 3: Rendimientos Producto/Sustrato y concentración de metabolitos antimicrobianos en los medios glutámico y glicerol para 5 y 10 gL.

Medios de producción	*Concentración de metabolitos antimicrobianos (mgL^{-1})*	*Rendimientos Producto/Sustrato %*
Glutámico $10gL^{-1}$	200	13.30
Glutámico $5\ gL^{-1}$	360	30.0
Glicerol $10\ gL^{-1}$	275	16.76
Glicerol $5\ gL^{-1}$	150	6.10

Al obtener buenos resultados con el medio formulado (ácido glutámico-urea-fosfato), nos permiten lograr establecer un medio más económico que el empleado hasta la actualidad que contenía $NO_3(NH_4)_2$ como fuente de nitrógeno y una concentración de ácido glutámico de $10gL^{-1}$.

CONCLUSIONES

- Las fuente de carbono mejores resultados en la síntesis de metabolitos antimicrobianos fueron el glutámico y glicerol.
- -Las fuentes de nitrógeno estudiadas no presentan diferencias significativas en los medios glutámico y glicerol.
- -El medio conteniendo glutámico como fuente de carbono, urea como fuente de nitrógeno y fosfato de potasio es idóneo para la producción de metabolitos antimicrobianos contra *Alternaria alternatti*.

REFERENCIAS

- Alstrom, S (1987) Plant Soil. 102:3-9.
- Budzikiewicz, H. (1997), Studies in Natural Products Chemistry. Vol. 19, Atta-ur-Rahman (eds.) Elsevier Science B.V, pp 793-835.
- Casida, L.E.J.R. (1992) Appl. Environ. Microbiol.58:32-37.
- De Souza, J.T.; Weller, D.M. y Raaijmakers, J. (2003). Phytopathology. Vol. 93 No. 1.
- Défago, G. (1993); Plant Pathol. 42:311-312.
- Díaz de Villegas M.E (1999), Tesis para optar por el título de Maestro en Microbiologia. Facultad de Biología. Universidad de La Habana.
- Díaz de Villegas M.E; Villa, P.M. y Frias, A. (2002).. Revista Latinoamericana de Microbiologia. Vol. 44, No.3-4-pp. 112-117.
- Díaz de Villegas, M.E.; García, L.; Bell, A.; Villa, P.M.; Cabrera, Y.; Cepero, E. y Torres, E. (2000). Informe Premio Anual del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
- Doudoroff, M. y Palleroni, N.J. (1984). Bergey´s Manual of Determinative Bacteriology. Part. 7. Eight Edition. Buchanan, R.E. & N.E.Gibbons pp.217-223. S.T.Cowan, J.G.Holt, J.Liston, R.G.E.Murria C.F.Niven, A.W.Ravin & R.Y.Stanier.
- Douglas, W.J. y Gutterson, N. I. (1986). Appl. Environ. Microbiol. 52:1183-1189.
- Duffy, B.K. y Défago, G.(1999).. Appl. Environ. Microbiol.65:2429-2438.
- Fernández, Y. (1998). Trabajo de diploma para optar por el título de Lic. en Microbiología. Universidad de La Habana.
- Frías A., 2003, Tesis para optar por el título de Maestro en Microbiologia. Facultad de Biología. Universidad de La Habana.
- Frías, A. (1997).Trabajo de diploma para optar por el título de Lic. en Microbiología. Universidad de La Habana.
- Howell, C. R.; Becker, O.; Lam, S. T. y Ligon, J. M. (1994)..USA. Pat. No. 5, 244, 658.
- Kraus, J. y Loper, J..E. (1995).. Appl. Environ. Microbiol. 61:849-854.
- Leeman, M.; Den Ouden, F.M.; Van Pelt, J.A.; Dirkx, F.P.M.; Steijl, H.; Bakker, P.A.H.M. y Schippers. B. (1996). Phytopathology 85:149-155.
- Lehninger, A.J. (1981).. Cap. 14. Bioquímica. (Edición Pueblo y Educación) Ciudad de La Habana. Cuba.
- Lugtenberg, B. J. J; De Weger, L. A y Bennett, J. W. (1991). Curr. Opinion Biotechnol 2: 457-464.
- Meyer, J.M. y Abdallah, M.A. (1978). J. Gen. Microbiol. 107:319-328.
- Nowak-Thompson, B.S.; Gould, J.; Kraus, J. y Loper, J.E. (1994).. Can. J. Microbiol. 40:1064-1066.
- Shanahan, P.; O'Sullivan, D.J.; Simpson, P.; Glennon, J.D. y O'Gara, F. (1992). Appl. Environ. Microbiol.58:353-358.
- Slininger, P. J y Shea-Wilbur,. M. A. (1995).. Appl. Microbiol. Biotechnol. 43: 994-800.
- Slininger, P. J; Van Cauwenberger, J.E.; Bothast, R.J.; Weller, D.M.; Thomashow, L.S. y Cook, R.J. (1996). Appl. Microbiol. Biotechnol. 45:391-398.
- Slininger, P.J. y Jackson, M.A. (1992). . Appl. Microbiol. Biotechnol. 37: 388-392.
- Stryer, L. (1995). Bioquímica. Editorial Reverté S.A. Barcelona, Cuarta Edición, Tomo II. Capítulo 24. 606-607.
- Thomashow, L.S. y Weller, D.M. (1996). In: Stacey, G. y Keen, N.T. (eds.). Plant-Microbe Interactions, pages 187--236, Vol. 1, Chapman & Hall
- Torres, L.; Pérez-Orten, J.E.; Tordera, V. y Beltrán, J.P. (1986). Appl. Environ. Microbiol. 52:157-160.
- Villa P; Alfonso I y Frías A. (2002) r. Memorias de Diversificación 2002. Tomo I pág 114-118
- Villa, P. M. (1999).. Tesis para optar por el título de Maestro en Microbiología. Universidad de La Habana

- Villa, P.; Diaz de Villegas, M.E.; Stefanova, M. Y Michelena G. (2001). Primer Concurso Latinoamericano en Innovación de tecnologías ecológicas para el agro. Editores: Luis Gomero O, Milagros Tazza, pag 64 –74
- Villa, P.; Diaz de Villegas, M.E; Frias, A. (1998Informe Interno ICIDCA, 35 p.

TRATAMIENTOS PRELIMINARES DE VINAZAS PREVIOS A LA RECUPERACION DE ALFAHIDROXIACIDOS POR CROMATOGRAFIA DE INTERCAMBIO IONICO

Autores: Aguilar, L.; Delgado, G.; Bueno, G; Delbert, M.E.; Redondo, D.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA, Via Blanca No. 804, P.P. Box 4026 CP 11 000, San Miguel del Padrón, Ciudad Habana
laura@icidca.edu.cu

RESUMEN

La presencia de alfa hidroxiácidos (AHA), entre otros ácidos orgánicos, ha sido confirmada en diferentes efluentes derivados del proceso azucarero, desde jugo de caña, hasta azúcar crudo y vinazas. En este sentido, se han registrado mayores contenidos de AHA (glicólico, láctico, cítrico, málico) en mieles y vinazas, por lo que estos efluentes podrían ser considerados material de partida para su recuperación y posible empleo en formulaciones cosméticas y farmacéutica, eficaces para el tratamiento de diversas afectaciones dermatológicas, como acné, queratosis, manchas seniles, verrugas, arrugas, etc.

Para disponer de una forma más eficiente, en particular de las vinazas como residuales, tanto en calidad de sustrato o fuente de compuestos de interés, estas deben ser sometidas a diferentes tratamientos biológicos, físicos o físico-químicos descontaminantes, en dependencia de su composición, futuras aplicaciones y factibilidad económica. En este sentido, con vistas a eliminar contaminantes que interfieren en la cuantificación o separación de AHA por intercambio iónico, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar diferentes tratamientos mediante el uso de agentes adsorbentes y/o floculantes: carbón activado (tratamiento **I**); $CaCl_2$ + caolín (tratamiento **II**); $Al_2(SO_4)_3$ en presencia de Ca $(OH)_2$ (tratamiento **III**). En los tres casos se aseguró una remoción efectiva de sustancias coloreadas, entre 26-95.6 % (**III**>**I**>**II**). Para la eliminación de sólidos , azúcares y proteínas fue más efectivo el tratamiento **III**. Pero específicamente, en base a la estabilidad del contenido de ácidos, el tratamiento más adecuado resultó ser el **II**, cuando se emplearon el CaCl y/o caolín.

Palabras claves: alfahidroxiácidos, ácidos orgánicos, vinazas, tratamientos

PRELIMINARY TREATMENTS OF VINASSES USED BEFORE THE RECOVERY OF ALPHAHYDROXYACIDS BY IONIC EXCHANGE CHROMATOGRAPHY

ABSTRACT

Among other organic acids, the presence of alphahydroxyacids (AHA) in different effluents and by-products of Sugar Cane Industry, from sugar cane juice to raw sugar and vinasses, was confirmed. In this sence, the major AHA contents (glycolic, lactic, citric and malic acids) were detected in final molasses and vinasses. It allows the possibility to evaluate these effluents as starting material for AHA recovery processes, that can be used for cosmetic and pharmaceutical formulations sussesfully applied in therapy against different dermatological problems, as acne, photodamages, wrinkles, brown spots, warts, roughness , etc.

Particularly, for an efficient vinasse approach, as a fermentative substrate or as a source of different attractive compounds and on dependence of their composition, future applications and economic

feasibility, these effluents should be subjected to different biological, physical and physico-chemical purification procedures. On the other hand, it is known that partition and ion exchange chromatographies have been used to separate organic acids from sugars, in sugar refinery samples. Considering this, the objective of the present work was to evaluate different preliminary treatments of vinasses that can improve the analytical determination and separation of AHA by ionic exchange, using some adsorbents and/ or flocculants: activated charcoal (treatment **I**); Ca Cl_2 + kaolin (treatment **II**); $Al_2(SO_4)_3$ in the presence of $Ca(OH)_2$ (treatment **III**). In all cases the effective colour removal, between 26-95.6 % (**III**>**I**>**II**) was observed. For solids, sugar and protein elimination the best treatment was the **III** one. But specifically, based on the stability of the content of acids, the most appropriate treatment turned out to be the **II**, when the $CaCl_2$ and/or kaolin were used.

Keywords: alphahydroxyacids, organic acids, vinasses, treatments

INTRODUCCION

La presencia de alfa hidroxiácidos (AHA), entre otros ácidos orgánicos, ha sido confirmada en diferentes efluentes derivados del proceso azucarero, desde jugo de caña, hasta azúcar crudo y vinazas, provenientes tanto de fábricas cubanas, como de otros países productores (Medrano, 1981; Celestine-Myrtil y Parfait, 1988; Bueno et al., 1997, 1998). En cuanto al contenido de estos compuestos en subproductos de diverso origen, se ha demostrado que varía en dependencia de diferentes factores, tales como las características del cultivo, tiempo y condiciones de cosecha y conservación de la caña, procedimientos empleados para la obtención de los derivados, etc. Los estudios realizados con anterioridad evidencian mayores contenidos de AHA, particularmente láctico, cítrico, málico y glicólico, en mieles y vinazas (Celestine-Myrtil y Parfait, 1988; Bueno et al., 1997, 1998).

Particularmente las vinazas o mostos de destilerías, como residuos que se obtienen al destilar la miel final que ha sido sometida a una fermentación alcohólica, por su composición y propiedades dependen de las características de la miel empleada, así como de la tecnología y eficiencia de la destilería. Estas se caracterizan por ser productos de muy baja materia seca, de pH ácidos (4.0 - 5.1), conteniendo minerales entre los cuales el potasio es el fundamental. Cuando se concentran se caracterizan por ser fluídos pseudoplásticos, ligeramente tixotrópicos. Son efluentes de alto poder contaminante caracterizados por su alta demanda química de oxígeno en el orden de los 80 g /mL, con un contenido total de sólidos cercano a un 7 %, libres de elementos tóxicos o metales pesados. Con vistas a disponer de los mostos como residuales, de una forma más eficiente, para posteriores usos industriales en calidad de sustrato o fuente de compuestos de interés, además de ser analizados los componentes orgánicos que constituyen su fracción mayor, las vinazas son sometidas a diferentes tratamientos biológicos, físicos o físico-químicos descontaminantes, en dependencia de su composición, posibles aplicaciones y factibilidad económica (Luna y Bedolla, 1988; Luna et al., 1989; Gómez y Santiesteban, 2000).

En dependencia del contenido de AHA específicamente, estos efluentes podrían ser considerados como material de partida, para la recuperación de dichos ácidos orgánicos, que constituyen principio activo para formulaciones cosméticas y farmacéuticas eficaces en el tratamiento de diversas afectaciones dermatológicas, tales como acné, queratosis, manchas seniles, verrugas, arrugas, etc (Van Scott y Yu, 1974; Mc Cook et al., 1995). En este sentido, con vistas a eliminar compuestos contaminantes presentes en estos efluentes, que por su naturaleza interfieren en la cuantificación o separación de AHA por intercambio iónico, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar diferentes tratamientos preliminares de muestras de vinazas mediante el uso de algunos agentes adsorbentes y/o floculantes,

MATERIALES Y METODOS

Materiales : Para las experiencias se emplearon tres muestras de vinazas provenientes de la destilería "Habana" , las que fueron centrifugadas a 3 000 rpm, 20 min, previo a los análisis. En calidad de agentes adsorbentes y/o floculantes se emplearon los siguientes productos: caolín ($H_2Al_2Si_2O_8.H_2O$), de procedencia nacional, $Ca(OH)_2$ (BDH), $CaCl_2$ (BDH), $Al_2(SO)_3$ (AnalaR)

Análisis :

-**Turbidez/ color** ($D.O_{600}$) Absorbancia a 600 nm en espectrofotómetro *Opton*
-**pH**, modelo CNIC
-**Conductividad**. Conductímetro *Methrom Herisau* modelo E527
-**Contenido de sólidos**. En base a determinaciones gravimétricas de materia seca , luego de mantener 5-10 ml de muestra a 110 ^{o} C durante 72 h, se determinaron los sólidos disueltos totales (SDT) y de cenizas (C), luego de mantener 10 mL de muestra a 650 ^{o} C por 4 h para la determinación de sólidos fijos totales (SFT).
- **Brix.** Se realizó por la técnica refractométrica, según Manual de Métodos Analíticos para el Control Unificado del Azúcar (1996).
-**Azúcares Reductores Totales** (ART) . Según Manual de Técnicas Analíticas ICIDCA (1992)
-**Proteínas totales.** Según método de Lowry et. al. (1951)
-**Demanda Química de Oxígeno (DQO)**. Según método reportado por Conde et al. (1978)
-**Acidéz Total**. Muestras de 10-15 mL de vinaza se valoraron con 0.1 NaOH, según Manual de Técnicas Analíticas ICIDCA (1992) . En el caso de las mieles 5g de una solución de miel de 18 Brix , se pasó por resina catiónica y se lavó con agua bidestilada hasta completar 100 mL.
-**α-hidroxiácidos**: El análisis cuantitativo de ácidos orgánicos, particularmente de α-hidroxiácidos, se realizó por HPLC, en un cromatógrafo líquido *Knauer* modelo Pump 64, con columna *Hypersil* 5 ODS (250 mm x 4.6), con lazo de inyección de 20 µl. Como fase móvil se usó H_3PO_4 , 85%, pH 2.5, a 25° C, flujo 0.6 mL/min. La detección se realizó con ayuda de detector UV-Vis *Knauer*, a 210 nm. La señal de salida se registró con un integrador Shimadzu, modelo CR6A. Para la cuantificación de los ácidos se empleó el método de calibración absoluta. Previo a la determinación las muestras de vinazas se trataron en batch con resina catiónica Dowex 50 WX8.

En todos los casos las determinaciones se realizaron por triplicado. Para el tratamiento estadístico de los resultados fue empleado el Paquete de Programas Statgraphics Plus, versión 2.1.

Tratamientos preliminares de vinazas

-**Tratamiento I** : A muestras de 50 mL se le adicionaron cantidades de carbón activado, al 1 y 3 %, con agitación durante 10 min, siendo posteriormente filtradas por papel o centrifugadas (3000 rpm, 10 min). En los sobrenadantes obtenidos se determinó la absorvancia a 600 nm y acidez total, SDT y proteínas totales.

-**Tratamiento II** : A muestras de 50 mL de vinaza ajustadas a pH 4.00, le fueron añadidos $CaCl_2$ en la concentración de 0.3-0.6 % y/o caolín, 1.2-2.4 %, con agitación durante 10 min. Posteriormente fueron filtradas por papel de filtro o centrifugadas, en semejantes condiciones a las anteriores. En los sobrenadantes se determinó absorvancia a 600 nm, acidez total, SDT y proteínas.

-**Tratamiento III** : Las condiciones experimentales fueron seleccionadas en base a la prueba de Jarras, método utilizado durante proceso de potabilización de aguas (Amirtharajah et al., 1990) . A muestras de 50 mL de vinaza, previamente ajustadas a pH 5-12 con una solución de $Ca(OH)_2$ en condiciones de agitación, se les añadió $Al_2(SO_4)_3$. 18 H_2O, al 2 % agitando vigorosamente por 15 min, siendo mantenidas luego en reposo por 30 min. En los sobrenadantes de las mezclas, obtenidos luego de

centrifugar a 3000 rpm durante 10 min, fueron determinados absorvancia a 600 nm, azúcares, proteínas, SDT, SFT y contenido de AHA (glicólico, málico, láctico y cítrico).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las muestras de vinaza

Previo a la evaluación de los tratamientos, las muestras de vinazas fueron caracterizadas, en cuanto a algunas propiedades físicio-químicas. En la Tabla I se muestra el rango detectado experimentalmente para todos los parámetros evaluados. En comparación con el intervalo de referencia, los valores obtenidos de SDT resultaron mayores, mientras que los SFT, fueron menores. Los valores de pH y conductividad variaron en un intervalo correspondiente al reportado. En cuanto al contenido de proteínas, ART y acidez total, los valores registrados fueron comparables con los planteados en la literatura sobre caracterización de vinazas de igual procedencia (Luna y Bedolla, 1988; Luna et al., 1989).

Tabla I. Caracterización físico-química de vinazas de destilería "Habana"

Carácterísticas	Rango detectado	Rango referencia*
SDT, %	5.75 - 6.50	4.74 - 5.74
SDF, %	1.10 - 1.46	1.63 - 1.47
pH	4 - 4.5	4 - 4.5
Acidez Total, meq/L	130 - 181	123 - 136
Proteínas, g/L	6.8 - 7.8	-
Azúcares Red. Totales, g/L	23.1 - 27.2	-
Conductividad, ms	13.8 - 17.5	11.4 - 20.5

* según Luna y Bedolla (1988); Luna et al.. (1989)

Tratamientos preliminares de vinazas

Entre los métodos reportados para amortiguar la carga orgánica, sólidos, sustancias coloidales y coloreadas y de otros contaminantes de las vinazas, se incluyen los de digestión anaerobia, métodos aeróbicos, de ósmosis reversible, coagulación y floculación, intercambio iónico, etc. (Amirtharajah et al. 1990; Gómez y Santiesteban, 2000). En el caso de las técnicas de cromatografía de intercambio iónico (CII), específicamente han resultado ser muy convenientes para la separación de la fracción de ácidos orgánicos de diferentes efluentes de la Industria Azucarera (Celestine-Myrtil y Parfait, 1988). Con vistas a mejorar la resolución de esta técnica y de asegurar un mayor tiempo de vida de las resinas en explotación, se hace necesario el desarrollo de tratamientos preliminares de los efluentes a utilizar.

Tratamiento I: Considerando el empleo del carbón activado, como material absorvente, para la clarificación y separación de ácidos orgánicos se realizaron algunas experiencias, empleando 1-3 % de carbón. Luego del tratamiento de la vinaza, se observó una remoción de ácidos entre 14 -17 % (Tabla II), medida como acidez total. A pesar de registrarse valores significativos de remoción de color ($p<0.05$), dados por una disminución considerable de la absorvancia a 600 nm, de alrededor del 60 %, en base a las variaciones en el contenido de ácidos este tipo de tratamiento fue considerado como inadecuado.

Tabla II. Efecto del carbón activado sobre la clarificaciónde muestras de vinaza (Tratamiento I)

Muestra	pH	Acidez inicial, meq/L	Acidez final, meq/L	Remoción, %
vinaza inicial	4.2	104	-	-
vinaza + 1% de carbón	4.3	-	89.5	13.9
vinaza + 3 % de carbón	4.3	-	82	21.2

Tratamiento II: El segundo tratamiento incluyó ensayos con vistas a determinar la efectividad del proceso de clarificación en presencia de $CaCl_2$ y caolín (Tabla III). En este caso todas las experiencias se realizaron a pH 4.0. Como se observa, en general el tratamiento con $CaCl_2$ y caolín, fundamentalmente favoreció la remoción de color, que puede estar dada por la presencia de sustancias de diferente naturaleza en las vinazas. En este caso se identifica a la fracción de fenoles como la de mayor incidencia en el color de mostos (Luna y Bedolla, 1988; Luna et al., 1989). En cuanto a proteínas y acidez total no se observaron variaciones significativas ($p>0.05$), lo que indicó en último caso, que el tratamiento II no afectó el contenido, ni de proteínas, ni de ácidos orgánicos en general. El contenido de sólidos disueltos de las muestras se incrementó con el aumento de las concentraciones de caolín y $CaCl_2$.

Tabla III. Efecto de $CaCl_2$ y caolín en la clarificación de muestras de vinaza a pH 4.00 (Tratamiento II)

Muestra*	Caolín %	$CaCl_2$, %	Absorb. 600 nm	Remoción de color,%	Acidez T. meq/L	SDT %	Proteínas mg/mL
inicial	-	-	0.39	-	190	5.8	8.0
1	-	0.3	0.33	28.3	191	6.1	-
2	-	3.0	0.34	26.1	191	8.5	-
3	1.2	0	0.30*	34.8	199	5.5	-
4	1.2	0.3	0.24*	38.9	190	5.7	7.9
5	1.2	3.0	0.25*	37.2	196	7.1	8.0
6	1.2	6.0	0.21*	47.5	189	9.1	8.0
7	2.4	0	0.27*	41.3	193	5.7	-
8	2.4	0.3	0.23*	42.2	193	5.4	8.0
9	2.4	3.0	0.22*	44.2	195	7.4	8.0
10	2.4	6.0	0.21*	46.2	192	9.7	7.9

* Diferencias significativas para $p>0.05$

El incremento de la concentración de caolín de 1.2 a 2.4 favoreció la remoción de color, sin afectar la acidez de la muestra. Por su parte la presencia de Ca Cl_2 provocó un efecto combinado positivo a las diferentes concentraciones de caolín empleadas. En dependencia del costo de ambos materiales podrá seleccionarse la mezcla más efectiva .

Tratamiento III: En cuanto al efecto de la prueba de Jarras, empleando $Al_2 (SO)_3$ como floculante, a diferentes pH, a medida que se incrementó la basicidad del sistema se observó una disminución gradual significativa de los valores de todos los parámetros evaluados (Tabla IV). En este caso se detectó una disminución significativa de absorbancia a 600 nm, ART y proteínas fundamentalmente, lo que indica una remoción efectiva de sustancias coloreadas, azúcares y proteínas totales presentes en la vinaza, hasta 95.6, 80.9 y 70.6 %, respectivamente, luego del tratamiento. En el caso del contenido de SDT, SFT y DQO, como indicadores de contenido de sólidos y carga orgánica, se lograron remover el 36.8, 42.8 y

22.2 %, respectivamente. En general el comportamiento de la mayoría de los parámetros evaluados podría resultar deseable, siempre y cuando no se comprometiera el contenido de ácidos orgánicos, en particular de AHA, de las muestras de vinaza. Con vistas a confirmar esta posible influencia del tratamiento, se hicieron determinaciones de las concentraciones de los AHA (ácidos glicólico, cítrico, málico y láctico), en cada variante de la prueba de Jarras. Según la Tabla V, a medida que se incrementó el pH se observó una disminución marcada en el contenido de glicólico y láctico, fundamentalmente en el intervalo de pH básicos. En el caso del málico no fue posible su detección en la mayoría de los casos. El cítrico no se incluyó, pues no se detectó en ninguno de las muestras. Estos resultados confirman que el tratamiento provocó la disminución considerable del contenido de los ácidos, en particular de AHA, debido al parecer a su remoción física. No obstante debe ser considerado el posible efecto de las condiciones de pH de la muestra, sobre el estado de ionización de los productos, aspecto que puede afectar la determinación. Considerando los por ciento de remoción de contaminantes a diferentes pH y las pérdidas de AHA (Tabla V), podría llegarse a una solución de compromiso para escoger la condición de tratamiento más adecuada, en el intervalo de pH de 5.0-7.0.

Tabla IV. Efectividad de prueba de Jarras empleando $Al_2(SO)_3$ como floculante para tratamiento de muestras de vinaza a diferentes pH (Tratamiento III)

Muestras	Absorb. 600 nm	SDT %	SFT %	ART g/L	Proteínas g/L	DQO g/L
pH 4 inicial	0.46	5.7	2.1	24.1	6.8	63.5
pH 5.0	0.46	5.4	1.6	14.5	3.7	58.0
pH 6.0	0.14	5.1	1.6	10.2	3.0	57.0
pH 7.0	0.11	4.9	1.7	9.0	3.8	56.9
pH 8.0	0.10	5.1	1.9	8.4	3.7	58.7
pH 9.0	0.09	4.9	1.6	7.9	3.6	59.0
pH 10.0	0.07	4.8	1.9	7.1	3.1	55.1
pH 12.0	0.02	3.6	1.2	4.6	2.0	49.4
% remoción, pH 12	95.6	36.8	42.8	80.9	70.6	22.2

Tabla V. Influencia del tratamiento III sobre contenido de alfahidroxiácidos en muestras de vinaza

AHA, mg /L	Vinaza inicial	pH 5	%*	pH 6	%*	pH 7	%*	pH 8	%*	pH 10	%*	pH 12	%*
Glicólico	3320	2000	60.2	1510	45.5	1259	38.0	567	17.1	-	-	420	12.6
Málico	267	NM	-	ND	-	ND	-	ND	--	ND	-	ND	-
Láctico	18470	13640	73.8	10780	58.4	-	-	10770	58.3	-	-	9470	51.3

%*-por ciento residual luego del tratamiento, NM- no medido, ND- no detectado

CONCLUSIONES

Considerando la importancia que tiene el tratamiento de las muestras, tanto desde el punto de vista analítico como preparativo, para la separación de la fracción de ácidos y en particular de AHA, a partir de vinazas de destilería; el desarrollo de diferentes procedimientos permitió remover contaminantes de dichos efluentes con vistas a mejorar la separación por intercambio iónico. En todos los casos se aseguró una remoción efectiva de sustancias coloreadas, entre 26-95.6 % (**III**>**I**>**II**). El uso del tratamiento **III** con $Al_2(SO_4)_3$ en presencia de Ca $(OH)_2$ **,** permitió la remoción más efectiva de sustancias contaminantes, fundamentalmente azúcares y proteínas, pero ocasionó una afectación marcada del contenido de α-hidroxiácidos. En base a la estabilidad de la fracción acídica, particularmente de AHA, el tratamiento más adecuado resultó ser el **II**, cuando se emplearon el CaCl y/o caolín, por lo que se deben continuar las experiencias en este sentido con vista a optimizar la mezcla.

REFERENCIAS

Amirtharajah, A. et al. (1990). In "Water quality and treatment" 4th Edition, A Handbook of Commmunity AWAA, , p.302.

Bueno, G; Delagado, G.; Aguilar, L.; Betancourt, D; López, M.S. (1998). Separación de ácidos orgánicos de vinazas por Cromatografía de intercambio iónico. *Revista ICIDCA* "Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar", XXXII, 3, 42-48.

Bueno, G; Delagado,G.; Redondo,D; Aguilar,L. (1997). Caracterización y separación de ácidos orgánicos de jugo de caña de azúcar. *Revista ICIDCA* "Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar", XXXI, 3., . 27-31.

Celestine-Myrtil, D.A. and Parfait, A. (1988). HPLC determination of organic acids in sugar cane and its industrial by-products *Int. Sugar* J., 90, 1070, . 28-34.

Conde, J.; Bartés, J.; Reyes, A (1978) Determinación rápida de la Demanda Química de Oxígeno. (DQO), *Revista ICIDCA* "Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar", XII,.3, 21-31.

Gómez, R. y Santiesteban, C. (2000). En: "Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar". Tercera Edición. Ed. Gen. Gálvez L.O., .409-413.

Lowry, O. H., Farr, A. L.; Rosebroug, N. J.; Randall, R. J. (1951) Protein measurement with folin-phenol reagent. *J. Biol. Chem*., 193, 265-271.

Luna, N.L. y Bedolla, E. (1988). "Caracterización Químicá Física de Mostos de Destilería" Informe Interno, ICIDCA. No. 2876

Luna, N.L. ; Enríquez, M. ; Bedolla, E. ; Brown, A. (1989). "Caracterización de mostos de destilería cubanas. Compuestos Orgánicos" , Informe Interno ICIDCA, No.3325.

Manual de Técnicas Analíticas , Subdirección de Fermentaciones, ICIDCA

Manual de Métodos Analíticos para el Control Unificado del Azúcar, ICINAZ (1996)

Mc Cook,Jonh,P., Meryers, Alan, J., Vargas, A. (1995). Cosmetic methods for treatment of skin (Elizabeth Ardeen Comp. Div. Conopco Inc.) (CL 424/401). Appl 152151.

Medrano, J.E. (1981). Tesis de Doctorado "Acidos orgánicos no nitrogenados y su comportamiento tecnológico durante la producción de azúcar de caña". Inst. Tecnol. Producción Alimenticia, Kiev, Ucrania.

Van Scott, E.J.; Yu, R.J. (1974). Control of keratinization with alpha hydroxy acids and related compounds. I. Topical treatment of ichthyoisi disorders. *Arch Dermatol* 100, 586-590.

USO DEL NUTRIENTE DE LEVADURA QZ- 350 COMO SUSTITUTO DE LA MIEL FINAL DE CAÑA EN LA PRODUCCIÓN DE LEVADURA FORRAJERA DE MEZCLAS VINAZAS- MIEL FINAL

Autores: Ing. Julio Martínez-Valdivieso Piloto
Lic. Miguel A. Otero Rambla
Ing. Gustavo Saura Laria
Dra. Irma Valdés Santandreu
Tec.Q. Miguel A. Peña Martínez
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña
Vía Blanca # 804 Esq. Carretera Central San Miguel del Padrón Ciudad de La Habana.Cuba
e-mail icam @icidca.edu.cu

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados del estudio de sustitución de la Miel Final de Caña por Nutriente para Levadura QZ-350 de la firma Quiminzuk, en la producción de Levadura Forrajera utilizando mezclas Vinazas –Miel final y su influencia en la calidad del producto final y en la disminución de su Costo de Producción.
Palabras claves: Levadura forrajera, Vinazas, Calidad, Costos

ABSTRACT

In the present paper the results of studies aiming to the substitution of Blackstrap Molasses by Yeast Nutrient QZ-350, from Quimizuk, in Molasses-Slops mixtures for yeast propagation are presented. The effect of this product on Production Costs and Yeast quality are also discussed.
Key Words: Fodder yeast ,Slops, Cost, Yeast quality.

INTRODUCCIÓN

Dada la escasez de Mieles Finales, provocada por la disminución del tamaño de las zafras cubanas, el Ministerio del Azúcar, tomó la decisión, de realizar las producciones de levadura Forrajera utilizando mezclas Vinazas-Miel final. Con la aplicación de esta tecnología desarrollada por el ICIDCA, se perseguía el objetivo de disminuir los costos asociados a dicha Producción.

En 1999, se implementó este proceder tecnológico en la Planta de Levadura de la UB de Derivados "Antonio Guiteras Holmes" de Delicias en la provincia Las Tunas.

Después de dos años de puesta en marcha la instalación con la nueva tecnología y debido a que se detectó una pérdida de capacidad productiva de la misma, se realizó una asesoría técnica a dicha instalación y entre las medidas resultantes para resolver la situación observada, se decidió sustituir la Miel Final de Caña de la mezcla por el Nutriente de Levadura QZ-350 suministrado por la firma Quiminzuk, para lo cual, se hizo necesario en primer término determinar si esta sustitución no incrementaba los costos y en segundo término cual debía ser la dosis adecuada de utilización de dicho producto. En este trabajo se presenta el estado comparativo de la tendencia de los Costos de Producción para la producción de Levadura de Mieles Finales, mezclas Vinazas –Miel final y mezclas vinazas –Nutriente de Levadura, se presenta además la dosis óptima recomendada y el costo de producción de esa variante que en la actualidad se aplica en las plantas en producción. Finalmente se presentan los resultados que avalan la calidad del producto final obtenido mediante la aplicación de esta variante tecnológica.

DESARROLLO

Para la realización de esta experiencia, se realizaron fermentaciones en batch de la cepa C.utilis NRRL Y-660 procedente del Instituto Pasteur de París y conservada en el banco de cepas del ICIDCA, en un fermentador Biotec de 3.5 L de volumen, el cual se trabajó a 2.5 L y en las condiciones de trabajo de una instalación industrial de producción de Levadura Forrajera; pues se quería replicar dicho proceso en condiciones de Laboratorio, para de ese modo evaluar la influencia de la sustitución de la Miel final de Caña por el Nutriente para Levadura de la firma Quiminzuk y finalmente evaluar la calidad de la Biomasa obtenida.

A manera de orientación, se escogió como criterio para el establecimiento de la dosis inicial de Nutriente aquella que al menos permitiese mantener un costo similar al obtenido para la mezclas Vinazas –Miel final y a partir de ese punto ir variando de manera descendente la inclusión, tomando como criterio de evaluación la calidad de la Biomasa producida y el tiempo de fermentación empleado en alcanzar su máxima concentración durante el proceso.

Como quiera que en trabajos anteriores se habían evaluado diferentes proporciones Vinazas-Miel Final (90:10; 80:20; 70:30) y se había establecido que no existían diferencias significativas entre las mezclas 80.20 y 70:30 en lo relativo a tiempo de fermentación y calidad de la biomasa obtenida, se decidió por razones de economía del proceso industrial utilizar como punto de inicio la proporción 80:20,ya que ella proporciona un costo de producción menor al involucrar menor cantidad de Miel Final. Luego de estimar los Costos de producción para la levadura de Miel Final y para la variante de mezcla seleccionada (Tabla 1), se procedió a determinar cuanto Nutriente debía incluirse para mantener similar costo que el alcanzado en la variante 80:20,después se seleccionaron otras dos variantes al observarse que se acortaban significativamente los tiempos de fermentación y esto implicaría bajo aprovechamiento de los sustratos empleados al nivel industrial, ya que al tener

menores tiempos de retención ,se podría correr el riesgo de no utilizar racionalmente los recursos económicos invertidos. (Tabla 2)Finalmente se estimaron los costos de producción para cada una de las variantes y se realizó una prueba industrial de 7 días con la mejor de ellas como comprobación de la certeza de la selección efectuada. Como resultado de esa prueba industrial se decidió que a partir de ese momento se adoptara en esa instalación la variante Vinaza- Cero Miel Final, la que después de culminada la campaña de producción se transfirió a la planta "Antonio Sánchez " de Real Campiña en la provincia de Cienfuegos.

Como resultado de estas experiencias se adoptó esta innovación tecnológica como alternativa de producción en los proyectos de Plantas Modulares que se originaron a partir de la generalización de la tecnología de producción de Levadura Forrajera utilizando Vinazas de Destilería.

TABLA 1

COSTOS DE PRODUCCIÓN DE DIFERENTES ALTERNATIVAS

COMPONENTE	TRADICIONAL 0:100	VINAZA-MIEL 80:20	VINAZA- NUT. EQUIVALENTE	VINAZA-NUT. OPTIMA
Miel Final	$133.98	$89.32	----------	----------
Nutriente QZ-350	----------	----------	$89.32	$11.28
Vinazas	----------	----------	----------	----------
Combustible	$177.50	$177.50	$135.50	$135.50
Agua	$24.00	$18.00	$12.00	$12.00
Ácido Sulfúrico	----------	$11.68	$11.68	$11.68
Nitrógeno	$5.90	$9.24	$7.65	$7.65
Fósforo	$4.70	$5.17	$5.10	$5.10
Salario	$24.00	$9.24	$9.24	$9.24
Depreciación	$12.00	$12.00	$12.00	$12.00
Mantenimiento	$7.00	$7.00	$10.00	$10.00
Total	**$389.08**	**$339.15**	**$292.49**	**$206.80**

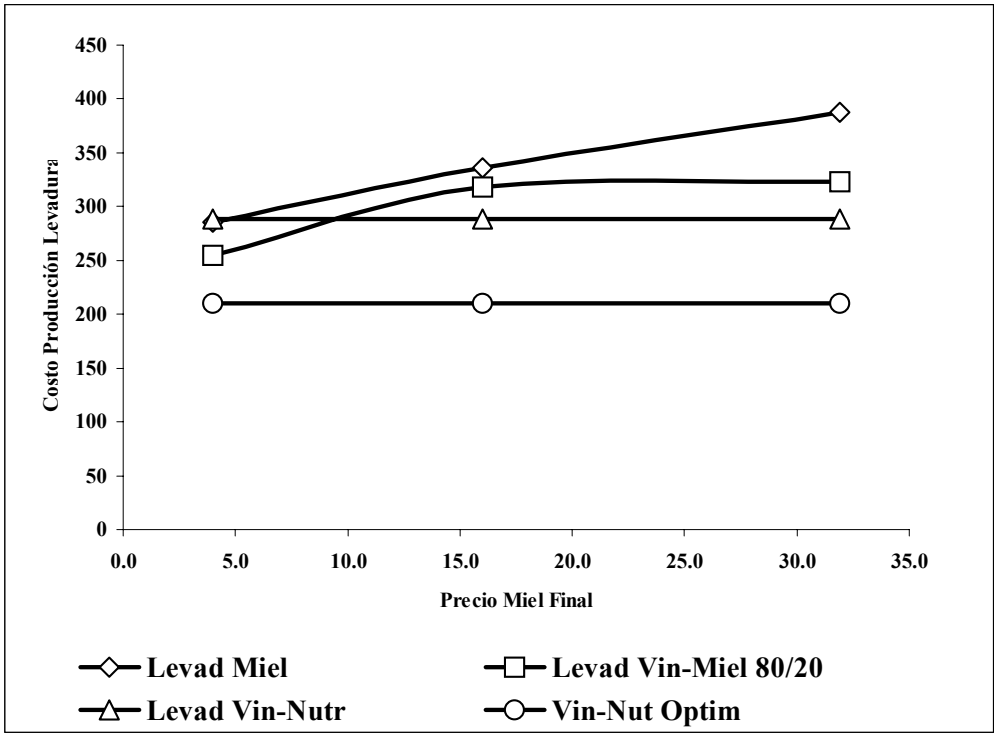
ANÁLISIS DE LA BIOMASA OBTENIDA

TABLA 2

Relación Vinaza-Miel	X (g/L)	Proteína (%)	N_2 (%)	P_2O_5 (%)	Cenizas	Tiemp. Ferm. (h)
0/100	12.61	48.75	7.8	3.51	6.85	12
80/20	10.72	45.21	7.2	3.02	7.01	12
100/0.04	13.61	48.62	7.8	3.53	6.98	8
100/0.03	11.60	48.01	7.7	3.49	6.87	10
100/0.01	**11.54**	**47.78**	**7.6**	**3.50**	**6.91**	**12**

GRAFICO 1

GRÁFICO DE VARIACIÓN DEL COSTO DE LAS ALTERNATIVAS CON EL PRECIO DE LA MIEL FINAL



CONCLUSIONES

- ✓ **Al analizar el Gráfico 1,se ve claramente que todas las alternativas de Mezcla vinazas-nutrientes, resultan ventajosas desde el punto de vista económico; independientemente de los precios de la miel Final.**
- ✓ **De la Tabla 2,puede observarse la mejoría en la calidad del Producto Final que se obtiene al utilizar el Nutriente QZ-350.**
- ✓ **En la tabla 2 se aprecia claramente que la variante seleccionada 100/0.03, se comporta de manera muy similar a la Fermentación realizada con Miel Final suplementada con Sales Nutrientes (Tradicional).**

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar investigando esta temática para determinar:

- ➢ **Composición del Nutriente de Levadura.**
- ➢ **Factores que influyen en la mejoría de la Calidad de la Levadura.**
- ➢ **Factores que influyen en la asimilación de las sales nutrientes cuando se utiliza además Nutriente QZ-350.**

UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS "*IN VITRO*" PARA LA EVALUACIÓN DE PROPIEDADES PROBIÓTICAS FUNCIONALES EN *LACTOBACILLUS RHAMNOSUS LB/103-1-5.*

EMPLOYMENT OF "*IN VITRO*" TECHNIQUES FOR FUNCTIONAL PROBIOTICS PROPERTIES EVALUATION IN *LACTOBACILLUS RHAMNOSUS LB/103-1-5* STRAIN.

María A. Brizuela*[1]; Anaís Prats[2], Paulina Serrano[1], Irma Iglesias[1] Heidy Pérez[1] and Jean-Pierre Guyot[3]

[1] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca # 804 y Carretera Central. Aptdo Postal 4026. Habana, Cuba. E-mail: brizuela@icidca.edu.cu
[2] Centro de Investigaciones Clínicas, Consejo de Estado
[3] Unité R106 "Nutrition, Alimentation, Societés". Institut de Recherche Pour Développement (IRD) Montpellier, France

RESUMEN La estabilidad a ácido y bilis y la capacidad de adherencia a la mucosa intestinal son algunos de los criterios más utilizados actualmente para la selección de microorganismos probióticos, mientras que los ensayos "*in vitro*" para evaluar estas propiedades, son ampliamente utilizados a la hora de realizar la selección. Tradicionalmente, la evaluación de la calidad de los cultivos probióticos se ha restringido a asegurar que un número adecuado de bacterias viables esté presente en los productos, sin embargo, se ha demostrado que la viabilidad aunque es un factor importante, no es el único criterio para asegurar el efecto probiótico de un microorganismo. Para ser eficaces, las cepas probióticas deben mantener las características funcionales por las cuales fueron seleccionadas, tales características incluyen la habilidad de sobrevivir el tránsito a través del estómago y el intestino delgado y de colonizar el tracto gastrointestinal animal u humano. La habilidad de adherirse a la mucosa intestinal constituye uno de los criterios más importante para escoger una cepa probiótica, debido a que se considera un requisito previo para la colonización. La caracterización de la adherencia puede ser una vía importante para evaluar los efectos de barrera del intestino, y se ha demostrado que la misma acorta la duración de diarreas y potencia los efectos inmunológicos, la exclusión competitiva y otros efectos de salud. Debido a que las pruebas "*in vitro*" pueden predecir con elevada certeza el comportamiento probiótico de las cepas seleccionadas, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las potencialidades probióticas de *Lactobacillus rhamnosus LB/103-1-5* mediante diferentes pruebas "*in vitro*".

Palabras claves: probióticos, adhesión, estabilidad a ácido y bilis, viabilidad

SUMMARY: Acid and bile stability and intestinal mucosal adhesion properties are among the criteria used to select probiotic microorganism. Many in vitro tests are performed when screening for potential probiotic strains are realized. The quality of probiotic cultures traditionally has relied exclusively on tests to ensure that an adequate number of viable bacteria are present in the products. Viability is an important factor, but not the only criterion for quality assurance. To be effective, probiotic strains must retain the functional health characteristics for which they are selected. Such characteristics include the ability to survive transit through the stomach and small intestine and to colonize the human gastrointestinal tract. The ability to adhere to the intestinal mucous is one of the more important selection criteria for probiotics because adhesion to the intestinal mucous is considered to be a prerequisite for colonization. Adhesion characterization may be an important method for assessing gut barrier effects. Adhesion has been related

to shortening the duration of diarrhea, immunogenic effects, competitive exclusion, and other health effects. In vitro test protocols can be readily adopted to examine the maintenance of a strain's ability to tolerate acidic conditions, survive and grow in the presence of bile, and metabolize selective substrates. This article showed the results of in vitro test realized in order to evaluate functional probiotic properties in *Lactobacillus rhamnosus LB/103-1-5* strain.

KEY WORDS Probiotics, adhesion, acid and bile stability, viability

Introducción

Un considerable número de personas y animales presentan trastornos metabólicos como consecuencia de un desbalance entre los microorganismos beneficiosos y patógenos presentes en la biota intestinal. La salud de la generalidad de los animales depende de un buen funcionamiento del tracto gastrointestinal (TGI), lo que influye considerablemente en una conversión eficiente del alimento para el crecimiento y/o la producción. Para que el TGI tenga un buen funcionamiento es necesario que exista un adecuado balance de su microbiota bacteriana.

Debido a los métodos de manejo y a las condiciones de crianza, los animales de granja son muy susceptibles a un desbalance bacteriano entérico, lo que conduce a una insuficiente conversión de los nutrientes y a un retardo en el crecimiento. Para contrarrestar estas dificultades, las dietas se suplementan con antibióticos los cuales han sido efectivos en la disminución de diarreas y para promover el crecimiento (Armstrong, 1986, Parker y Armstrong, 1987)**.** En décadas pasadas el método más común para prevenir enfermedades y aumentar la eficiencia alimentaria había sido el uso de antibióticos como promotores del crecimiento, pero se ha comprobado que estos tienen influencias negativas en la composición de la microbiota gastrointestinal, ya que los *Lactobacillus* son muy susceptibles a los antibióticos. Además, contribuyen a la antibiorresistencia bacteriana y a su presencia residual en las carnes, huevo, leche y otros productos de origen animal. Es por ello, que se han introducido los probióticos como una solución alternativa promisoria que cobra cada día mayor interés (Linton y otros, 1988, Mulder, 1991)

Los probióticos son microorganismos que estimulan las funciones protectoras del tracto digestivo, también son conocidos como bioterapeuticos, bioprotectores o bioprofilácticos y se utilizan para prevenir las infecciones entéricas y gastrointestinales (Penna, 1998). En el mundo, actualmente se emplean preparaciones probióticas con resultados satisfactorios para mejorar la calidad del alimento proporcionado a los animales domésticos (Huis in´t Veld y otros, 1994). Los resultados beneficiosos de la administración eficaz de probióticos en el alimento al ganado vacuno, cerdos, y pollos se traducen en: una salud general reforzada, aumento más rápido de la tasa de crecimiento como resultado de una nutrición mejorada, y aumento en la producción de leche y huevos (Berg, 1998).

Según Lee y Salminen, (1995), Salminen y otros, (1996) y Salminen y otros, (1998) las bacterias probioticas seleccionadas para su empleo comercial, como aditivos alimentarios y como terapeúticos, deben retener a través del tiempo las características por las cuales ellas fueron seleccionadas originalmente Esto incluye, características para el crecimiento y supervivencia durante la producción y después del consumo, durante el tránsito a través del estómago y pequeño intestino. Adicionalmente, estas bacterias probioticas deben retener las características que dan lugar a sus efectos de salud.

Por lo anteriormente señalado, se hace necesario probar la estabilidad de estas características durante la manufactura y almacenamiento, para asegurar que ellas sean capaces de mantenerse al ser adicionados los microorganismos a diferentes tipos de alimentos (Lee y Salminen, 1995, Huis In't Veld,1996). La selección inicial de bacterias para su empleo como probioticos, debe incluir necesariamente los siguientes aspectos como criterios importantes: estabilidad fenotípica y genotípica, incluyendo estabilidad de los plasmidos; perfiles de utilización de los hidratos de carbono y de las proteínas; tolerancia a ácido y bilis, evaluación de la supervivencia y el crecimiento; metabolismo de la bilis;

propiedades de adherencia a las células epiteliales intestinales; producción de sustancias antimicrobianas; los modelos de resistencia a antibióticos; la habilidad para inhibir patógenos del intestino y la immunogenicidad. Ejemplos de cómo cada uno de estos criterios puede ser inestable son más abundantes en el área de la estabilidad frente a ácidos, la cuál puede variar considerablemente en las cepas, en dependencia de cómo las mismas sean utilizadas en los diferentes alimentos.(Tuomola, 2001). Todo lo anterior conlleva a la necesidad de un continuo control de calidad de las bacterias utilizadas como probióticos durante la fabricación y uso del producto, y a la evaluación incesante de la efectividad del mismo en animales y/o humanos. También implica la necesidad de selección de las cepas más estables para uso comercial.

Para que un microorganismo pueda cumplir con su función de protección tiene que poseer características tales como: ser habitante normal del intestino, tener un tiempo corto de reproducción, ser capaz de producir compuestos antimicrobianos y ser estable durante el proceso de producción, comercialización y distribución para que pueda estar vivo en el intestino . Para sobrevivir y colonizar el tracto gastrointestinal, las bacterias probioticas deben expresar tolerancia alta a ácido y a bilis y tener la habilidad de adherirse a las superficies intestinales (Lee y Salminen, 1995, Kicjavainen y otros, 1998). La supervivencia temporal y la colonización del tracto gastrointestinal humano ha sido demostrada para algunas bacterias ácidas lácticas (Goldin y otros, 1992, Alander y otros, 1997, Johansson y otros, 1998). Sin embargo, probar *"in vivo"* estas propiedades resulta caro y consume tiempo, además de que requiere aprobación por comités éticos. Por consiguiente, la necesidad de contar con pruebas "*in vitro*" fiables, requiere de métodos relativamente sencillos para la selección de cepas prometedoras. (Jacobsen, 1999)

Debido a que las pruebas "*in vitro*" pueden predecir con elevada certeza el comportamiento probiótico de cepas seleccionadas, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las posibilidades de algunas de estas pruebas "*in vitro*" para conocer las potencialidades probióticas de *Lactobacillus rhamnosus LB/103-1-5.*

Materiales y Métodos

Determinación de la capacidad de crecimiento y tiempo de duplicación: se determinó la dinámica de crecimiento en fermentadores de 1L de capacidad con volumen efectivo de trabajo de 700mL en medio MRS a 37ºC. Se determinó Crecimiento Microbiano , Viabilidad Celular y Azúcares Reductores Totales (ART).
Cuantificación del Ácido Láctico: mediante cromatografía de HPLC en un cromatógrafo con las siguientes características: **Bomba**: LDC Constametric **Horno**: Jones Cromatography **Detectores**: Refractómetro Philips PU 4026 y Espectrofotómetro UV-Visible LDC Spectromonitron 3100.
Determinación de la producción de enzimas: mediante galerías API ZYM de BioMerieux SA, France. La detección de la enzima α amilasa se realizó por siembra por agotamiento en placas con medio MRS-Agar que contenía como fuente de azúcar almidón en sustitución de la glucosa.
Determinación de tolerancia a diferentes concentraciones salinas: se cultivaron las cepas en caldo MRS en presencia de 2, 4 y 6% (p/v) de NaCl según lo planteado por de Valdez, (1990) y Gancel, (1997).
Evaluación de la resistencia a sales biliares: se cultivaron las cepas en caldo MRS al cual se le añadió a.1.32 mL/L de ácido acético y 1.5 g/L de Ox- Bilis (Oxoid) según Gorbach, (1991).
Evaluación de la capacidad de crecimiento en diferentes condiciones de pH: se cultivaron las cepas en caldo MRS al cual se le ajustó el pH inicial a 3, 5, 6.5 y 7.
Producción de sustancias antimicrobianas: a partir de cultivos de las cepas productoras crecidos en caldo MRS, centrifugados 10 minutos a 13000 rpm y filtrados a través de filtros bacteriológicos de 0.22 μm para la obtención de los sobrenadantes. En el segundo experimento los sobrenadantes provenientes de los caldos fermentados fueron sometidos a diferentes variantes: Sin Tratamiento (V_1), Neutralizado por ajuste del pH a 6.5 con NaOH 5 mol/L para eliminar la acción inhibitoria del ácido (V_2) y Neutralizado y Tratado con 1 mg/mL de catalasa durante 30 minutos a 20^0C para eliminar la acción del

ácido y del peróxido de hidrógeno (V_3). La determinación de la actividad inhibitoria en ambos experimentos se realizó por el método de difusión en agar.
Determinación de la capacidad de adherencia "*in vitro*" a las células intestinales de cerdo: mediante metodología propuesta por Prats, (1999). El por ciento de microorganismos adheridos es proporcional a la disminución de la actividad.

Resultados y Discusión

Se realizaron determinadas pruebas *"in vitro"* teniendo en cuenta lo planteado por Tuomola y otros, (2001) en cuanto a que la selección de una cepa para uso probiótico no puede hacerse de forma arbitraria, y que deben tomarse en consideración determinados indicadores fisiológicos que aseguren la supervivencia y manifestación del efecto probiótico una vez que estas sean administradas al hospedero.

Capacidad de crecimiento

La cepa *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 alcanzó concentraciones celulares considerablemente altas del orden de 10^{10} UFC/mL, según se observa en la **Tabla I**, , valores reportados por Raibaud y Raynaud, (1989) como muy buenos para el empleo de estos microorganismos en la obtención de preparaciones probióticas al realizar estudios para la selección de cepas de *Lactobacillus* como potenciales probióticos. La obtención de títulos altos de células viables posibilita en gran medida la implantación y predominio de los microorganismos una vez administrados al hospedero.

Tabla I : Viabilidad celular de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 en medio MRS 37º C y pH 6.5

CEPAS	CRECIMIENTO EN UFC/mL	
	H_o	H_{14}
LB/103-1-5	3.0×10^6	7.0×10^{10}

Por otra parte Tuomola y otros, (2001), plantea que uno de los parámetros que debe condicionar la potencialidad como probióticos de las bacterias ácido lácticas es su capacidad para crecer a altas velocidades, que posibilite la obtención de preparaciones adecuadas desde el punto de vista fermentativo y favorezca además, la implantación y competencia de estos microorganismos frente a microorganismos patógenos a nivel del Tracto Gastrointestinal, razón por la cuál se determinaron las velocidades específicas de crecimiento y el tiempo de duplicación de esta cepa partir de las cinéticas de crecimiento realizadas.

Como puede apreciarse en la Tabla II, los valores de velocidad específica de crecimiento alcanzados son de $0.5\ h^{-1}$ con tiempos de duplicación alrededor de una hora, lo que concuerda con lo encontrado por Gilliland, (1981) y Gorbach, (1991) al evaluar las potencialidades probióticas de cepas de *Lactobacillus acidophillus* y con Garriga y otros, (1998) en cuanto a que las cepas utilizadas para la preparación de productos probióticos eficaces deben poseer tiempos de duplicación de una hora o menores que estos.

Tabla II : Velocidad específica de crecimiento y tiempo de duplicación de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5

Cepas	Velocidad. Espec.Crec. $(\mu)h^{-1}$	Coeficiente de Correlación	Tiempo de duplicación (h)
LB/103-1-5	0.4930	0.9871	1.4

Capacidad de producción de ácidos

La determinación de ácido láctico mediante HPLC nos permitió comprobar el carácter homofermentativo de la cepa bajo estudio, ya que no se apreció producción de etanol, metabolito característico de la vía heterofermentativa (Saloff-Coste 1994). La caracterización tanto por HPLC como por análisis enzimático (Tabla III), de los ácidos producidos evidencia una producción mayoritaria de ácido láctico, lo que unido a la no-producción de etanol confirma el carácter homofermentativo anteriormente señalado. La pobre producción de ácido acético, reafirma que esta cepa es productora mayoritariamente de ácido láctico y sustenta su selección como atractivo candidato para el desarrollo de aditivos con potencialidades probióticas.

Tabla III : Producción de ácidos por la cepa LB/103-1-5

Cepa	Ácido Láctico g/L (HPLC)	Ácido Acético g/L (HPLC)	L-Acido Láctico g/L (Enzimático)	D-Acido Láctico g/L (Enzimático)
LB/103-1-5	17, 58 ± 0.5	4.00 ± 0.3	15.03 ± 0.3	0.88 ± 0.1

Los resultados son el promedio de 3 determinacion para un 95% de confianza

La adición de aditivos biológicos, particularmente aquellos que contienen bacterias ácido lácticas homofermentativas, donde hay un predominio de ácido láctico, han sido los mas utilizados, teniendo en cuenta que este ácido es altamente palatable y con un pK muy bajo, lo que permite la eliminación de bacterias indeseables a nivel del tracto gastrointestinal (Mendoza, 2001).

Tolerancia a diferentes salinidades.

Los resultados de crecimiento a diferentes concentraciones salinas aparecen en la **Figura 1** donde se aprecia que *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 es capaz de crecer en presencia de concentraciones de NaCl hasta 6%, aunque con un crecimiento menor que el que se obtiene cuando se utiliza el medio MRS sin adición de sales. Sin embargo, ya a concentraciones de 10% no se obtuvo crecimiento para esta cepa.

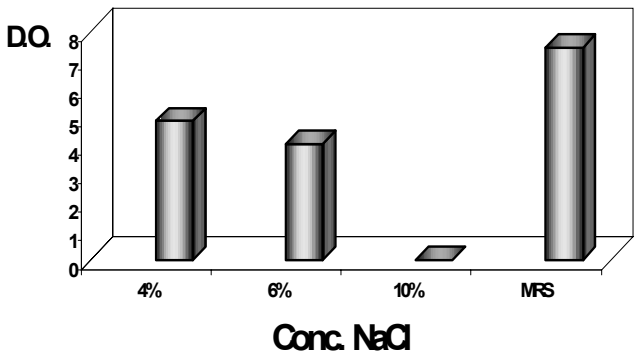


Figura 1: Tolerancia a diferentes concentraciones salinas de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5
Medio MRS, pH 6,5 y 37º C.

Este comportamiento nos permite plantear que la cepa LB/103-1-5, puede resistir concentraciones significativas de sal sin perder su capacidad de crecimiento, comportamiento que concuerda con lo planteado por de Valdez, (1990) y Gancel y otros, (1997) quienes refieren que la capacidad de las bacterias ácido lácticas para resistir condiciones de salinidad considerables en el medio les confiere amplias posibilidades para ser utilizadas como cultivos iniciadores en la industria láctea, como preservantes de carnes, mariscos, vegetales y otros productos y para su uso como probióticos. Por otra parte, la tolerancia a concentraciones salinas es una característica taxonómica distintiva del género *Lactobacillus* y en específico de la especie *rhamnosus.* (Gancel y otros, 1997)

Producción de enzimas

De 19 actividades enzimáticas ensayadas (Tabla IV), 15 dieron positivas, lo que evidencia la amplia capacidad de este microorganismo para producir enzimas.

Tabla IV Perfil enzimático de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5

Enzima Investigada	LB-12	LB/103-1-5
Control	-	-
Fosfatasa alcalina	+	+
Esterasa (C1)	+	+
Esterasa Lipasa (C8)	+	+
Lipasa (C14)	-	-
Leucina arilamidasa	+	+
Valina arilamidasa	+	+
Cistina arilamidasa	+	+
Tripsina	-	-
α-Quimotrípsina	+	+
Fosfatasa ácida	+	+
Naftol-A-S-BI fosfohidrolasa	+	+
α-galactosidasa	+	+
β-galactosidasa	+	+
β-glucuronidasa	+	+
α-glucosidasa	+	+
β-glucosidasa	+	+
N-acetil-β-glucosaminidasa	+	+
α-manosidasa	-	-
α-fucosidasa	+	+

Sin embargo, no fue detectada producción de alfa-amilasa, aunque Giraud y otros, (1994) y Andersen y otros, (1995) refieren que muchas especies de *Lactobacillus* y en particular algunas de L. *rhamnosus* poseen una alta producción de enzima alfa-amilasa, lo cual les permite utilizar sustratos amiláceos para su crecimiento, potenciando por tanto la capacidad probiótica de estos microorganismos, al mejorar la utilización de algunos componentes de naturaleza amilácea presentes en las dietas animales. Guyot, y otros, (2003) refieren que al realizar experimentos de curación de plásmidos en siete cepas de *L. manihotivorans* encontraron que algunas de estas cepas perdieron parcial o totalmente su habilidad para fermentaralgunos carbohidratos, entre ellos el almidón al ser curadas de plásmidos, lo que induce a pensar que dicha habilidad puede estar ligada a caracteres codificados por plásmidos que pueden ser inestables y perderse como consecuencia de sucesivos sub-cultivos, todo lo cual pudiera explicar la incapacidad para fermentar sustratos amiláceos de la cepa LB/103-1.5.

Estabilidad frente a concentraciones de bilis similares a las del intestino.

Según Gilliland y otros, (1984) y Lee y Salminen, (1995), para que una cepa probiótica ejerza su acción eficazmente, es imprescindible que la misma pueda manifestar una actividad metabólica que le permita multiplicarse o colonizar en el intestino delgado; por lo que la tolerancia a bilis, es un criterio esencial de selección a la hora de evaluar microorganismos destinados a estos fines. Los ensayos "*in vitro*" para evaluar el efecto inhibitorio de los ácidos biliares sobre el crecimiento de las cepas probióticas son relativamente simples de realizar, pero igualmente que para la tolerancia a la acidez, la extrapolación cuantitativa de los resultados obtenidos "*in vitro*" a la actuación del probiotico "*in vivo*" resulta difícil (Tuomola y otros, 2001)

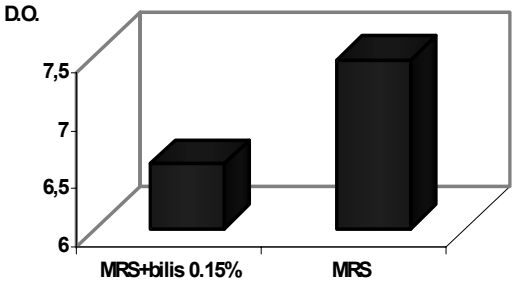


Figura 2: Crecimiento de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 en presencia de concentraciones de sales biliares similares a las del intestino. MRS, pH 6,5 y 37ºC

Variaciones intra-especies en la habilidad de crecer en la presencia de bilis se observa a menudo entre cepas con potencialidades probioticas, por lo que las pruebas "*in vitro*" para seleccionar los mejores candidatos deben usarse solo como una base relativa. Sin embargo, estas pruebas para la selección de cepas ácido y bilis-tolerante son muy utilizadas para asegurar la calidad de los cultivos probioticos durante su fabricación y almacenamiento y para evaluar la estabilidad de los mismos durante la vida de anaquel.

Los resultados que aparecen en la **Figura 2** demuestran la capacidad de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 para crecer en presencia de concentraciones de bilis similares a las que pueden encontrarse en el intestino (0.15%), parámetro muy importante, ya que según numerosos autores (Garriga y otros, 1998, Henriksson, y otros, 1999, Tuomola y otros, 2001) es determinante, que los microorganismos que componen los preparados probióticos para ser administrados por vía oral a animales y/o humanos, sean capaces de pasar a través del tracto gastrointestinal sin sufrir grandes alteraciones en su comportamiento fisiológico.

Los resultados obtenidos se corresponden con los reportados por Thornton, (1996), y Dunne y otros, (2001) quienes en trabajos de selección de cepas para uso probiótico, al cultivar bacterias ácido lácticas en diferentes concentraciones de bilis, encontraron muy buena capacidad de los *Lactobacillus* para tolerar altas concentraciones de bilis. Sin embargo, existen bacterias lácticas cuya presencia no es habitual en el intestino, como el *Lactobacillus bulgaricus* y *Lactococcus lactis*, que son altamente sensibles a la presencia de bilis, de tal forma, que concentraciones menores que 0.05% inhiben su crecimiento (Gilliland, 1984).

Estabilidad frente a diferentes condiciones de pH.

Antes de alcanzar el tracto intestinal, las bacterias probioticas deben primero sobrevivir el tránsito a través del estómago (Henriksson, y otros, 1999). Allí, la secreción de ácido gástrico constituye un mecanismo de defensa primario contra la mayoría de los microorganismos. De hecho, la cirugía gástrica o la administración de bloqueadores ácidos pueden permitir la colonización microbiana del estómago (Marteau, y otros, 1993). La tolerancia a ácidos es una de las primeras propiedades evaluadas al seleccionar cepas probioticas. Simples pruebas "*in vitro*" pueden usarse para evaluar esta tolerancia. Tales pruebas han permitido evaluar la tolerancia a la acidez de cepas de bacterias ácidas lácticas y bifidobacterias utilizadas en la industria láctea y propuestas como probioticos. Según Tuomola y otros, 2001 los resultados de estas pruebas pueden predecir la habilidad de las cepas para sobrevivir en condiciones drásticas de acidez. Sin embargo, la demostración "*in vivo*" de la supervivencia a través del estómago humano o animal es más difícil de obtener.

En la **Figura 3** puede apreciarse que *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 es capaz de resistir condiciones de pH extremos, ya que a pH 3 se observó crecimiento, aunque considerablemente menor que el obtenido a los valores de pH comúnmente reportados en la literatura como óptimos que se encuentran entre, 5 y 7 (Kandler y otros, 1986).

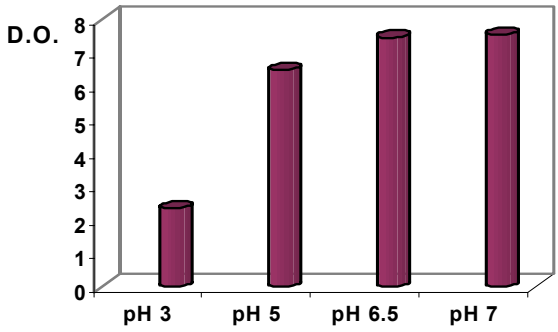


Figura 3: Capacidad de crecimiento de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 en medio MRS, 37º C y diferentes condiciones de pH.

Estos resultados corroboran los obtenidos en trabajos anteriores por Brizuela y otros, 1998, donde se evidenció que este microorganismo es capaz de crecer en un rango amplio de pH, sin que se manifiesten diferencias significativas en sus indicadores fisiológicos. El comportamiento manifestado, sobre todo frente a los bajos pH, reafirma según Conway y otros, (1987), Lee y Salminen, (1995) y Henriksson, y otros, (1999) la potencialidad probiótica de estos microorganismos al ser capaces de sobrevivir en condiciones de acidez similares a las existentes en el estómago y confirman además lo planteado por Conway y otros, (1987) en cuanto a que las bacterias ácido lácticas (LAB) son consideradas microorganismos ácido tolerantes.

Capacidad de producción de sustancias antimicrobianas

En la Tabla V aparecen los resultados obtenidos al evaluar los sobrenadantes provenientes de los caldos fermentados sin ningún tipo de tratamiento frente a microorganismos Gram+ y Gram-.

Tabla V Actividad inhibitoria de los caldos fermentados *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 frente a microorganismos Gram+ , Gram- y bacterias lácticas

Cepas productoras	**Halo de Inhibición (mm)**					
	B. cereus B/23-4-1	**E. coli ATCC 259222**	**B. subtilis ATCC 6635**	**LB 1-1**	**LB 1-2**	**LB 1-3**
LB/103- 1-5	20.7	NI	17.0	NI	NI	NI

NI: No inhibición

Según se aprecia en la Tabla V, se manifestó capacidad de inhibición del crecimiento por la cepa LB/103-1-5 sobre bacilos Gram+ (*B. cereus y B. subtilis*), mientras que no se detectó actividad positiva sobre la *E. Coli* (Gram-). La inclusión en esta evaluación de microorganismos pertenecientes a géneros afines responde a que según se reporta en la literatura (Barefoot y Klaenhammer, 1983, Medina y otros 1992), el espectro de inhibición de las bacteriocinas producidas por las LAB es específico hacia microorganismos pertenecientes a géneros muy afines a ellos. Según Medina y otros,(1992) la inhibición de géneros afines constituye una indicación de la presencia de bacteriocinas, sin embargo, como se aprecia en la Tabla V no se observó inhibición del crecimiento para ninguna de las cepas de *Lactobacillus* utilizadas como indicadoras por parte de los caldos fermentados de las cepa LB/103-1-5 . Tal comportamiento nos hizo suponer, que la actividad antimicrobiana manifestada por esta cepa, no estaba relacionada con la producción de bacteriocinas. Por tal motivo se realizó una nueva experiencia con el objetivo de definir la sustancia responsable de inhibir el crecimiento donde se incluyó dentro de las cepas productoras una cepa patrón de *Lactococcus lactis* L/1-1 reconocida como productora de bacteriocinas.

Tabla VI Comportamiento de la actividad antimicrobiana de la cepa LB/103-1-5 frente a microorganismos afines.

CEPAS INDICADORAS	**CEPAS PRODUCTORAS** HALO DE INHIBICION (mm)					
	LB/103-1-5			***Lact. Lactis L/1-1***		
	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3
LB.11-1	N.I	N.I	N.I	11.0	11.0	11.0
LB 11-2	N.I	N.I	N.I	12.0	12.0	10.0
LB 11-3	N.I	N.I	N.I	12.0	12.0	10.0
LB 20-1	N.I	N.I	N.I	N.I	N.I	N.I
LB/103- 1-5	(-)	(-)	(-)	12.0	13.0	12.0
B. cereus B/23-4-1	21.5	N.I	N.I	13.0	N.I	N.I

N.I. No inhibición (-) No se realizó
V_1- Sobrenadante sin tratamiento V_2- Sobrenadante neutralizado
V_3- Sobrenadante neutralizado y tratado con catalasa

Los resultados que aparecen en la Tabla VI demostraron nuevamente la incapacidad de la cepa LB/103-1-5 para inhibir el crecimiento de especies del género *Lactobacillus*, ya que sólo hubo actividad de

inhibición frente al *Bacillus cereus*; no siendo así para el *Lactococcus lactis*, donde la inhibición del crecimiento se manifestó para casi la totalidad de los microorganismos pertenecientes a géneros relacionados utilizados como cepas indicadoras, lo cuál era de esperarse al ser esta cepa productora de bacteriocinas.

A partir de estos resultados se puede suponer, que en *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 la actividad antimicrobiana esta asociada al ácido láctico, ya que esta sólo se manifestó en el sobrenadante sin tratar (V_1); mientras que en el *Lactococcus lactis* se mantuvo prácticamente igual en todos los tratamientos ensayados y frente a casi todas las cepas indicadoras pertenecientes a géneros relacionados. Por otra parte, se corrobora la resistencia de las bacterias ácido lácticas a la presencia de ácido reportada por Conway, (1987), ya que no se manifestó inhibición de crecimiento por ácido (V_1) para ninguna de las bacterias ácido lácticas utilizadas como indicadoras.

Resulta interesante el comportamiento mostrado por la cepa de *Lactococcus lactis* frente al *Bacillus cereus*, donde sólo se detectó actividad en la Variante 1, por lo cual podemos suponer que frente a este microorganismo la inhibición del crecimiento viene dada por la presencia del ácido láctico y nos corrobora lo planteado por diversos autores (Juven y otros, 1991, Piard y Desmazeaud, 1991, Jack y otros, 1995) en relación a la especificidad de acción de las bacteriocinas producidas por las LAB hacia especies muy relacionadas taxonómicamente.

3.2.2.8 Capacidad de adherencia a las células epiteliales del intestino.

La caracterización de la adherencia puede ser un importante método para evaluar la estructura de la superficie de las bacterias probioticas y los efectos de barrera del intestino relacionados con su acción. En varios estudios se ha demostrado que la adherencia está relacionada con la reducción de duración de diarrea, con la activación del sitema immunológico, con la exclusión competitiva y con algunos otros efectos sobre la salud.(Isolauri y otros, 1991, Saavedra y otros,1994, Salminen y otros., 1996, Molin, y otros, 1996). La importancia de caracterizar esta propiedad radica en el hecho de que muchas cepas probioticas no colonizan a sus hospederos. De hecho, entre las cepas probióticas mas reportadas actualmente como disponibles, sólo L. *rhamnosus GG* permanece dentro del tracto gastrointestinal por un periodo significativo de tiempo. Se reporta además que la adherencia de las cepas probióticas es inconstante ya que esta varía en dependencia de los modelos "*in vitro*" utilizados e incluso varía dentro de las mismas cepas y la diferencia entre cepas puede ser significativa (Lehto y Salminen, 1996, Lehto y Salminen, 1997, Tuomola y Salminen, 1998).

Figura 4: Adherencia de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 a células intestinales de cerdo.

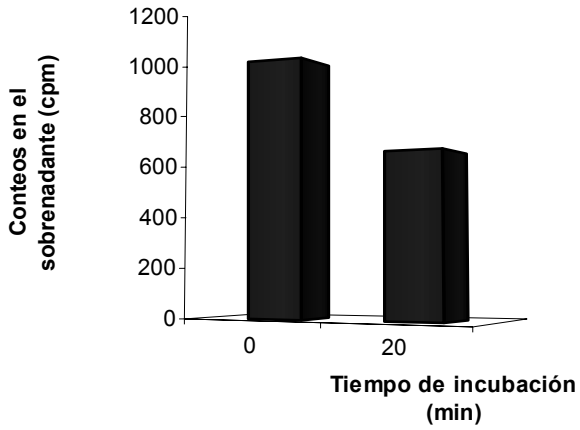


Tabla VII Determinación de adherencia "*in vitro*" de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5

Cepas	Conteos en el sobrenadante (cpm)		% de Adherencia
	0	20 minutos	
LB/103-1-5	1034.03 ± 5.44	648.51 ± 2.41	37.28

tiempo de incubación: 20 minutos Separación por centrifugación: 600 rpm durante un minuto.

La **Tabla VII** y **Figura 4** muestran el comportamiento de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 cuando se determinó su capacidad de adherencia a las células intestinales de cerdo. Puede observarse que la disminución de la actividad en el sobrenadante fue de un 37 %, proporcional al número de lactobacilos adheridos, lo que equivale a decir que la cepa LB/103-1-5 presenta un 37 % de adherencia a las células intestinales de cerdo. Según Gorbach, (1991) aquellas bacterias que presenten una adherencia positiva de al menos el 10 %, son bacterias con características promisorias para su posterior empleo como probióticos. Es de señalar que aunque no es este el único criterio que existe al respecto para seleccionar cepas con potencialidades probióticas, sí es uno de los más estrictos y es entre las pruebas "*in vitro*" la que mas criterio da del posible comportamiento de estas bacterias como probióticos en condiciones "*in vivo*" (Tuomola, y otros, 2001, Dunne y otros, 2001).

La diferencia en la capacidad de adherencia de los gérmenes utilizables como bio-aditivos nos lleva a comprender que su administración a los animales varíe de unos microorganismos a otros. Así, aquellos que se adhieren a las células epiteliales pueden administrarse a intervalos de 3-4 días. Aquellos otros que no se adhieren, han de administrarse de forma continuada, como ocurre, por ejemplo, con las levaduras que no son huéspedes habituales de la flora microbiana digestiva de los monogástricos y así *Saccharomyces cerevisiae* circula a lo largo de todo el tracto digestivo bajo una forma viva y activa sin adherirse a las paredes del tracto digestivo.

De acuerdo a este criterio y teniendo en cuenta los resultados de todas las evaluaciones realizadas, la cepa de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103- 1-5 posee características promisorias para llevar a cabo los estudios para el desarrollo de un procedimiento para la producción de un preparado probiótico.

Los resultados obtenidos en los estudios "*in vitro*" para evaluar las potencialidades probióticas de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 indican que la metodología empleada resulta adecuada y que la cepa LB/103-1-5 manifiesta amplias posibilidades para ser empleada en la obtención de preparados probióticos con resultados satisfactorios.

Conclusiones

Los ensayos realizados *"in vitro"* permitieron conocer con determinada certeza las potencialidades probióticas de *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5.

Lactobacillus rhamnosus LB/103-1-5 poseen excelentes características productivas para ser empleadas como probióticos como son: elevada capacidad de crecimiento y tiempos de duplicación de una hora, buena tolerancia a elevadas concentraciones salinas, bilis, bajos pH y actividad antimicrobiana asociada a la producción de ácido láctico.

La cepa LB/103-1-5 presenta capacidad de adherencia a las células intestinales por lo que posee muy buenas potencialidades para uso probiótico.

Referencias bibliográficas

Alander, M, Korpela, R, Saxelin, M, Vilpponen-Salmela, T, Mattila-Sandholm, T, von Wright, A. (1997). Recovery of *Lactobacillus rhamnosus* GG from human colonic biopsies. **Lett. Appl. Microbiol. 24**, 361–364.

Andersen, H.J, Ostdal, H, Biom, H. (1995). "Partial purification and characterization of a lipase from *Lactobacillus plantarum* MF32". **Food Chemistry 53**, 369-373.

Armstrong, D. G. (1986). "Gut active growth promoters". En:. Control and manipulation of animal growth.. Editado por: P. J. Buttery, D. Lindsay y N. B. Haynes. Butterworths, London, pp 21-37.

Barefoot, SF, Klaenhammer, TR. (1983) "Detection and activity of lactacin B, a bacteriocin produced by *Lactobacillus acidophilus"*. **Appl. Environ. Microbiol. 45**, 1808-1815.

Berg, RD. (1998) "Probiotics, prebiotics or "conbiotics." **Trends Microbiol, 6**,89–92.

Brizuela, M. A., Serrano, P., Pérez, Y. (1998) "Evaluacion preliminar de cepas de bacterias lácticas para su uso en la obtención de probióticos. **LABORAT-Acta, 10**, Nº2, 55-58

Conway, PL, Gorbach, SL, Goldin, BR (1987) "Survival of lactic acid bacteria in the human stomach and adhesion to intestinal cells". **J Dairy Sci, 70**, 1-12.

de Valdez GF, de Giori, GS, Garro M, Mozzi, F, Oliver G (1990) "Lactic acid bacteria from naturally fermented vegetables". **Microbiologie-Aliments-Nutrition, 8**, 175-179.

Dunne, C, O'Mahony, L, Murphy, L, Thornton, G, Morrissey, D, O'Halloran, S, Feeney,M (2001) " In vitro selection criteria for probiotico bacteria of human origin: correlation with in vivo findings". **Am J Clin Nutr, 73(suppl)**, 386S-92S.

F, Tailliez, R(1997)." Identification and characterization of *Lactobacillus* species isolated from fillets of vacuum-packed smoked and salted herring (*Clupea harengus*)". **J Appl Microbiol, 82**, 722-728.

Garriga, M, Pascual, M, Monfort, JM, Hugas, M (1998) "Selection of *lactobacilli* for chicken probiotics adjuncts". **J Appl Microbiol, 84**, 125-132.

Gilliland, SE, Staley, TE, Bush, LJ (1984). " Importance of bile tolerance of *Lactobacillus acidophillus* used as dietary adjunct". **J Dairy Sci, 12**, 279-285.

Gilliland, SE. (1981) " Enumeration and identification of *lactobacilli* in feed supplements marketed as sources de *Lactobacillus acidophilus"* .En: Oklahoma Agric Exp Sta Misc Publ, 108-161.

Giraud, E, Champailler, A, Raimbault, M (1994). " Degradation of raw starch by a wild amylolytic starin of *Lactobacillus plantarum"*. **Appl Environment Microbiol, 6**, 4319-4323.

Goldin BR, Gorbach SL (1992) "Probiotics for humans". En: Probiotics, the scientific basis. Fuller R, ed.. London: Chapman and Hall, 355–76.

Gorbach, SL (1991) "*Lactobacillus acidophilus* strains". United States Patent Nº 5,032,399.

Guyot, JP, Brizuela, MA, Rodríguez-Sajona, R, Morlon-Guyot, J (2003). " Characterization and differentiation of *Lactobacillus manihotivorans* strains isolated from cassava sour starch". **Int J of Food Microbiol, 87**, 187-192.

Henriksson, A, Khaled AKD, Conway. PL (1999) " *Lactobacillus* colonization of the gastrointestinal tract of mice after removal of the non-secreting stomach region". **Microb Ecol Health Dis, 11**, 96–9.

Huis in't Veld JHJ, Havenaar R, Marteau P (1994). "Establishing a scientific basis for probiotic**". R & D Trends Biotechnol, 12**, 6–8.

Huis In't Veld, JHJ, Shortt, C (1996) "Selection criteria for probiotic microorganisms". **International Congress and Symposium Series. The Royal Society of Medicine. London Press Ltd 219**, 27–36.

Isolauri, E, Juutunen, M, Rautanen, T, Sillanaukee, P, Koivula, T (1991). "A human *Lactobacillus* strain *(Lactobacillus casei* sp. strain GG) promotes recovery from acute diarrhea in children".**Pediatrics, 88**, 90–97.

Jack RW, Tagg JR, Ray B (1995) " Bacteriocins of gram positive bacteria". **Microbiol Rev, 59**, 171–200.

Jacobsen, CN, Rosenfeldt, V, Nielsen, A, Hayford, E, Møller, PL, Michaelsen, KF, Pærregaard, A, Sandstro, M, Tvede, M, Jakobsen, M (1999). "Screening of probiotic activities of forty-seven strains of *Lactobacillus* spp. by in vitro techniques and evaluation of the colonization ability of five selected strains in humans". **Appl Environment Microbiol 65(11)**, 4949–4956.

Johansson, ML, Nobaek, S, Berggren, A, Nyman, M, Bjo ¨rck, I, Ahrne, S, Jeppson, B, Molin, G **(**1998). "Survival of *Lactobacillus plantarum* DSM9843 (299v) and effect on the short-fatty acid content of faeces after ingestion of a rose-hip drink with fermented oats". **Int J Food Microbiol. 42,** 29–38.

Juven, BJ, Meinersmann, RJ, Stern, NJ (1991). "Antagonistic effects of *lactobacilli* and *pediococci* to control iontestinal colonization by human enteropathogens in live poultry". **J Appl Bacteriol 70**, 95-103.

Kandler, O, Weiss, N (1986) En: Bergey´s Manual of Systematic Bacteriology, Vol. 2, Williams & Wilkins (eds), Baltimore, pp 1208-1234.

Kirjavainen, PV, Ouwehand, AC, Isolauri, E, Salminen, SJ **(**1998). "The ability of probiotic bacteria to bind to human intestinal mucus". **FEMS Microbiol Lett, 167,**185–189.

Lee, YK, Salminen S (1995) "The coming age of probiotics". **Trends Food Sci Technol, 6**, 241–5.

Lehto E, Salminen S (1996). "Adhesion of twelve different *Lactobacillus* strains to Caco-2 cell cultures". **Nutr Today, 31**, 49–50.
Lehto E, Salminen S (1997) "Adhesion of two *Lactobacillus* strains, one *Lactococcus*s strain and one *Propionibacterium* strain to cultured human intestinal Caco-2 cell line". **Biosci Microbiota,16**, 13–7.
Linton, AH, Hedges, AJ, Bennet, BM (1988). "Monitoring of resistance during the use of olanquindox as a feed additive on commercial pig farms". **J Appl. Bact, 64**, 311-320.
Marteau, P, Pochart, P, Bouhnik, Y, Rambaud, J-C (1993) "The fate and effects of transiting, nonpathogenic micro-organisms in the human intestine". En: Intestinal flora, immunity, nutrition and health. Simopoulos AP, Corring T, Rérat A, (eds.). World Rev Nutr Diet, 74, 1–21.
Mendoza R (2001) **"**Fermentación de las excretas porcinas y su reciclaje en la alimentación de cerdos". **Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Veterinarias**. Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez"-Instituto de Ciencia Animal-Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
Molin, G, Ahrné, S, Johansson, ML (1996). "Comparative evaluation of plasmid profiling and ribotyping in the analysis of *Lactobacillus plantarum* strain heterogeneity in silage". **J Appl Bacteriol, 80(1)**, 114-116.
Mulder, R (1991). "Probiotics as a tool against *Salmonella* contamination". **World Poultry, 7(3),** 33-37.
Parker, DS, Armstrong, DG (1987). "Antibiotic feed additives and livestock production". **Proc Nutr Soc, 46**, 415-422.
Penna FJ (1998) "Diarrea y Probioticos". **Simposio sobre Utilidad de los probioticos en el manejo de las diarreas. Revista de enfermedades infecciosas en Pediatría,Vol XI, número 6,** p 182.
Pardio Sedas VT (1994). "Los probioticos y su futuro". **Archivos Latinoamericanos de Nutrición. vol 46 N° 1** p 6-10.
Piard, JC, Desmazeaud, M (1991). "Inhibiting factors produced by lactic acid bacteria. 1. Oxygen metabolites and catabolism end-products". **Le Lait, 71**, 525-541. Elsevier/INRA.
Prats, A (1999). "Establecimiento de un protocolo experimental para determinar la adherencia *"in vitro"* de *lactobacilos* a las células intestinales del cerdo". **Tesis presentada en opción al título de Master en Radioquímica**. Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares (ISCTN) Departamento de Radioquímica. Ciudad de la Habana.
Raibaud, P, Raynaud, JP (1989). En: Géme SIMAVIP. Eds: AFMVP. Pp. 9.
Saavedra, JM, Bauman, N, Oung, I, Perman, J, Yolken, R (1994). "Feeding of *Bifidobacterium bifidum* and *Streptococcus thermophilus* to infants in hospital for prevention of diarrhea and shedding of rotavirus". **Lancet, 344**, 1046–9.
Salminen, S, Bouley, C, Bouron-Ruault, MC (1998). "Functional food science and gastrointestinal physiology and function". **Br J Nutr, 80(suppl)**, 147S-71.
Salminen, S, Isolauri, E, Salminen, E (1996). "Clinical uses of probiotics for stabilizing the gut mucosal barrier: successful strains and future challenges". **Antonie Leeuwenhoek, 70**, 347–358.
Salminen, S, Laine, M, von Wright, A, Vuopio-Varkila, J, Korhonen, T, Mattila-Sandholm, T (1996). "Development of selection criteria for probiotico strains to assess their potential in functional foods: a Nordic and European approach". Biosci Microbiota, 15, 61–7.
Saloff- Coste, C (1994). "Lactic Acid Bacteria". **Danone World Newsletter, 5**, 2-6.
Thornton, GM (1996). "Probiotic bacteria. Selection of *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains from the healthy human gastrointestinal tract; characterization of a novel *Lactobacillu*s-derived antibacterial protein. **PhD thesis. National University of Ireland**, Cork, Ireland.
Tuomola, EM, Crittenden, R, Playne, M, Isolauri, E, Salminen, SJ (2001). "Quality assurance criteria for probiotic bacteria". **Am J Clin Nutr, 73(suppl)**, 393S–8S.
Tuomola, EM, Salminen, SJ (1998). "Adhesion of some probiotic and dairy *Lactobacillus* strains to Caco-2 cell cultures". **Int J Food Microbiol, 41**, 45–51.

SELECCIÓN DE UN MEDIO DE CULTIVO PARA LA OBTENCIÓN DE FITASA EMPLEANDO UN DISEÑO ESTADÍSTICO D OPTIMAL

SELECTION OF A CULTURE MEDIA FOR PHYTASE PRODUCTION EMPLOYING A D-OPTIMAL STATISTICAL DESIGN.

León, M., Aguilar, L., Rodríguez, D. E., Delgado, G., Bueno, G., Rodríguez, J. A., Tortoló, K., Ibáñez, M.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICIDCA) Apartado 4026. Ciudad de la Habana. Cuba.
E mail: marticaleo@icidca.edu.cu

Se estableció un medio de cultivo para la obtención de fitasa por fermentación en estado sólido mediante el empleo de la cepa *Aspergillus niger W2*. Para la selección del medio se analizó la influencia de cáscara cítrica, bagacillo y miel final de caña de azúcar como fuentes de carbono y energía a través de un diseño experimental de mezcla D-Optimal con restricciones. Mediante el empleo de la cáscara cítrica se logró obtener 12.7 U/g base seca de la enzima.

Palabras claves: fitasa, fermentación en estado sólido, *Aspergillus níger*, diseño mezcla.

A culture media was established in order to obtain phytase by solid state fermentation. It was studied the influence of citrus dried peel, bagasse and sugar cane molasses as carbon sources employing *Aspergillus niger* W2 strain by a D-Optimal Statistical Design with restrictions. Using citrus dried peel it was reached a enzyme production of 12.7/g dried base.

Keywords: phytase, solid state fermentation, *Aspergillus niger*, optimal design

INTRODUCCION

El empleo de las enzimas como aditivos en la alimentación animal se desarrolla en la actualidad de manera acelerada, teniendo mayor impacto en la producción de animales monogástricos, los cuales carecen o están deficitarios de algunos sistemas enzimáticos imprescindibles para un aprovechamiento eficaz de los elementos nutritivos contenidos en las dietas, particularmente en relación con los materiales fibrosos de estructura compleja como son los polímeros de la pared celular de los vegetales (celulosas, hemicelulosas, ligninas y β-glucanos), así como para contrarrestar el efecto antinutricional o tóxico de otros componentes (fitatos) que impiden un adecuado metabolismo de los alimentos (Bedford, 1996; Partridge y. Wyatt, 1995; Rubingh, 1997).

Desde inicios de la década de los 90, entre las distintas enzimas a utilizar en la alimentación de monogástricos, se ha destacado la fitasa, debido a su efecto positivo, tanto en la disminución de los fitatos en la dieta, como de los requerimientos de adición de fósforo en forma de fosfatos, (Sebastián y otros, 1996; Biehl, y Baker, 1996**;** Han y otros, 1997; Rodehutscord y otros, 1996). Como resultado del empleo de fitasa en la formulación de las dietas se favorece la conversión alimentaria, la ganancia en peso y el comportamiento productivo de los animales, además de proteger el medio ambiente por la disminución del fósforo en las excretas.

El empleo de la fermentación en estado sólido es una forma viable de producción de fitasa teniendo en cuenta el empleo de microorganismos adecuados y la utilización de sustratos disponibles en la agroindustria. El objetivo de este trabajo es analizar la producción de fitasa mediante un diseño de

mezcla, considerando el empleo de cáscara cítrica seca proveniente del proceso industrial de obtención de jugos y concentrados, bagazo y miel final de caña

MATERIALES Y METODOS

Microorganismo: Se empleó la cepa *Aspergillus niger* W-2 de esporulación escasa y tardía perteneciente al cepario del ICIDCA, la cuál es mantenida en Malta-Agar a 4°C.
Tipo de inóculo: La biomasa para el inóculo se obtuvo por fermentación sumergida en zaranda durante 72 h a 30°C en un medio de cultivo formulado a partir de miel de caña y sulfatos de amonio y magnesio.
Medio de fermentación: Los medios a fermentar fueron formulados estableciendo proporciones de bagazo, cáscara cítrica y miel para la síntesis de fitasa mediante un diseño estadístico de mezcla D-Optimal y los datos procesados según el programa Design Expert, versión 5. El diseño fue constreñido de manera que el máximo de miel final en las mezclas no excediera del 30% en peso y que el contenido de bagazo no excediera del 70%. En todos los casos los medios fueron complementados con urea al 2.7% en base seca.
Condiciones de fermentación: El proceso se desarrolló en frascos Omnia de 1 L, a temperatura inicial ambiental no menor a 30°C. El pH inicial se ajustó en todos los casos a 4.8. La humedad inicial fue de 60%. El tiempo de fermentación fue de 130 h.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se reportan los valores obtenidos para la producción de fitasa en función de las distintas mezclas desarrolladas según el plan factorial.

Tabla I. Producción de fitasa en las distintas mezclas analizadas de cáscara cítrica , bagazo y miel final de caña.

Corrida	bagazo %	cáscara cítrica %	miel %	humedad final %	Fitasa U/g (bs)
1	35	65	0	71.47	0.648
2	0	100	0	72.41	12.735
3	0	100	0	73.28	10.605
4	35	65	0	68.17	0.891
5	70	0	30	67.98	0.726
6	52.5	25	22.5	66.81	1.059
7	70	30	0	66.91	0.138
8	17.5	75	7.5	68.66	1.827
9	70	0	30	68.06	1.101
10	23.3	56.7	20	69.56	1.155
11	46.7	43.3	10	68.10	0.836
12	35	35	30	69.07	1.027
13	0	70	30	70.77	8.647
14	70	30	0	65.62	0.726
15	0	85	15	72.23	9.959

Se puede observar que los mejores valores en la producción de fitasa se obtuvieron en presencia de más de un 80 % de cáscara cítrica en la mezcla, alcanzando valores mayores a 8 UI/g bs. En el caso de mezclas con altas concentraciones de miel, se observa que sólo en aquellas que existe un alto contenido de cáscara cítrica, se obtienen producciones relativamente altas de fitasa. Este hecho nos indica la posible presencia de un componente en la cáscara cítrica que favorece la síntesis de la enzima, de tal modo que al disminuir la presencia de la cáscara cítrica en la mezcla decae la síntesis de fitasa.
En la Tabla II y III se reporta el análisis ANOVA y estimación de coeficientes obtenidos a partir del procesamiento de los datos mediante el programa Design Expert para un modelo de mezcla cuadrático.

Tabla II. Análisis ANOVA del D-Optimal para mezcla de cáscara cítrica, bagazo y miel final para un modelo de mezcla cuadrático.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media de Cuadrados	Valor F	Prob >
Modelo	259.40	5	51.88	29.51	*0.0001*
Residual	15.82	9	1.76	--	--
Falta de ajuste	*13.45*	5	2.69	--	0.0838
Error puro	*2.37*	4	0.59	4.54	
				R^2	*0.9425*

Tabla III. Coeficientes estimados y pruebas de significacion de los parametros del modelo cuadratico para la sintesis de fitasa .

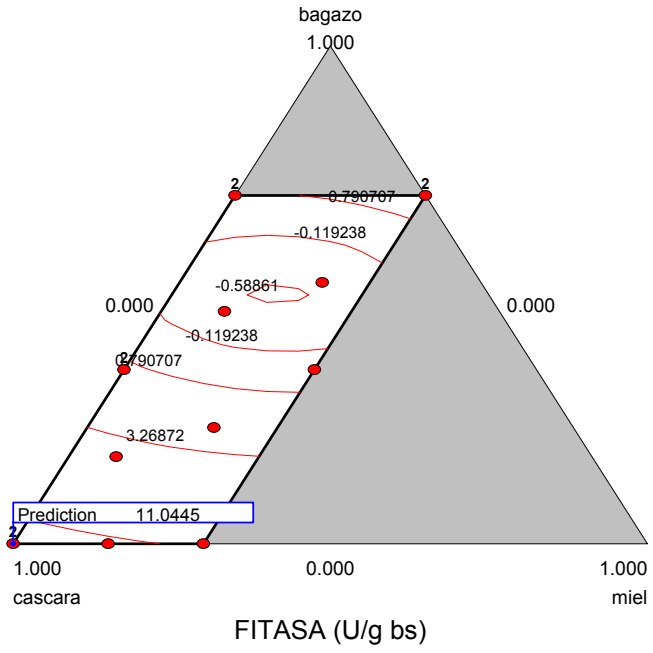
Componente	Coeficientes Estimados	GL	Error Standard	t para H_0 Coef=0	Prob > |t|
A-bagazo	8.38	1	2.70	NA	-
B-cascara	11.04	1	0.85	NA	-
C-miel	11.59	1	30.20	NA	-
AB	-40.03	1	6.59	6.08	0.0002
AC	-37.24	1	41.63	0.89	0.3944
BC	-11.70	1	41.37	0.28	0.7838

Componente	Efectos Ajustados	Error Std Ajustado	Approx t para H0 Efect=0	Prob > |t|
A-bagazo	-8.38	3.05	-2.74	0.0178
B-cascara	7.13	3.12	2.28	0.0416
C-miel	1.45	1.89	0.77	0.4582

FITASA (U7g bs) =8.38 A+11.04 B- 40.03 A B - 37.24 AC - 11.70 BC

En el modelo anterior se destaca que todos los efectos cuadráticos presentan signos negativos y una discriminación de los coeficientes arrojó que las interacciones AC y BC pueden ser despreciables en función de una discriminación del error estándar para cada componente utilizando un test t de hipótesis nula. Mediante el análsis de residuos se comprobó que no existen efectos no aleatorios durante el desarrollo del plan.
En la Figura 1 se reportan los perfiles de síntesis de fitasa en función de los componentes de la mezcla . Como se observa los mayores índices de producción de fitasa se obtienen hacia el componente puro de cáscara cítrica.

Figura 1. Superficie respuesta para la síntesis de fitasa en función de las mezclas de bagazo, cáscara cítrica y miel final de caña como fuente de carbono.



CONCLUSIONES

- ✓ La producción de fitasa por fermentación en estado sólido con la cepa de *Aspergillus níger* W2 se favorece empleando cáscara cítrica como sustrato
- ✓ El diseño de mezcla resulto útil al emplear un mínimo de experimentos en la determinación de las proporciones de los componentes del medio de cultivo en la síntesis de fitasa.

REFERENCIAS

- Bedford, M. R. (1996). Avicultura Profesional 14 (4) 23-29
- Biehl, R. B. y D. H. Baker, (1996) . Poultry Science 76: 355-360
- Han, Y. M.; Fang, A. G, Zhou, E. R.; y otros (1997). J. Anim. Sci. 75: 1017-1025.
- Partridge G. y C. Wyatt, (1995). World Poultry 11 (4) 17-21
- Rodehutscord, M.; M. Faust y H. Lorenz, (1996).. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition - Zeitschrift Fur Tierphysiologie Tierernahrung und Futtermittelkunde 75 (1) 40-48
- Rubingh, D. N., (1997). Current Opinion Biotechnol. 8 (4) 417-422
- Sebastian, S., Touchburn, S.P., Chavez, E.R. y otros (1996). Poultry Science 75 (12) 1516-1523

GUARAPO NATURAL LIQUIDO Y DESHIDRATADO EN POLVO COMO ALTERNATIVAS DE DIVERSIFICACION.

LIQUID NATURAL SUGAR CANE JUICE AND DEHIDRATED IN POWDER AS DIVERSIFICATION ALTERNATIVES

Autores: Felipe Campo, Norge Garrido, Addis Bermello, Julio F. Santo Tomas, Armando Díaz, Angela O. Díaz, Ana Nelis San Juan e Irene Reyes.
Instituto Cubano de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA, Cuba 10).
cuba10@enet.cu

RESUMEN

Teniendo como objetivos estratégicos principales el abaratar los costos de producción de azúcar y hacer mas integral el empleo del guarapo mediante su deshidratación con vistas a obtener refresco instantáneo en polvo, azúcar integral y alimento energético y saborizante animal. En el presente estudio se realizaron experiencias de secado de guarapo natural y concentrado al vacío mediante el empleo de secadores continuos convencionales y en batch de escala de laboratorio y piloto. Variándose parámetros de secado y de adición de agentes de secado.
Para abarcar todas las alternativas se plantea a manera de discusión o análisis argumentos e ideas acerca de la mayor factibilidad de explotación globalizada eficiente y competitiva del guarapo líquido como refresco típico por el MINAZ como entidad empresarial mas indicada de acuerdo a nuestro sistema económico social.
Como resultados se muestran los contenidos de azucares y humedad de productos obtenidos para su comparación satisfactoria con similares obtenidos patentados y/o comercializados y se enumeran las ventajas del guarapo líquido como refresco en comparación con la producción de refrescos embotellados y otros.
Se concluye que tanto la tecnología desarrollada (novedosa para el país), como la comercialización del guarapo líquido mediante el empleo de cadenas de módulos típicos correctamente diseñados y microlocalizados así como con raspadores motrices de caña deben resultar social y económicamente factibles para el MINAZ, población y turismo.
Palabras claves: Guarapo, seco en polvo, comercializar

SUMMARY

The main strategicals objetives in this work were the decreasing costs of sugar production and to make use of sugar cane juice more integral by means of the sugar juice deshidratation to obtain instantaneous soft drinks in powder, integral sugar and animal food. In this study dried experiences of sugar cane juice in natural state and vacuum concentrated were made, using batch and continuos drying system in labs and pilot scales, changing some drying parameters as well as the drying addition.
As a result we show that the sugar composition and humidity of some dehidrated products that we have obtained to compare with similars patented and traded, and we also show the simulations datas of this process.

As conclusion we can say that the new developed technology and the liquid sugar cane juice trade by means of typical chains modules for the trade of this drinks under MINAZ administration, can be feasibles social and economically for the MINAZ, people and tourism.
Key words: Sugar cane juice, dry in powder, trade.

INTRODUCCIÓN

EL GUARAPO. Jugo vegetal de los tallos de la caña de azúcar raspada manualmente para la eliminación de su corteza y extracción del jugo mediante pequeños molinos, constituidos por masas movidas por fuerza motríz denominados comúnmente TRAPICHES, tuvo su mayor auge o popularidad con el desarrollo de dichos trapiches y la producción comercial de hielo, dando lugar al surgimiento de las llamadas GUARAPERAS, establecimientos situados en lugares céntricos de las ciudades para el expendio a ínfimo precio de guarapo natural recién extraído y frío.

Debido a su forma de presentación (jugo natural frío de color amarillo, espumoso y de agradable aroma y sabor), bajos costos y precios. El guarapo natural ha constituido en los países tropicales unas de las bebidas refrescantes no alcohólica de mayor rentabilidad en su venta y demanda popular; ya que es mas natural y saludable, no requiriéndose el empleo de azúcar, saborizantes, colorantes, aromatizantes, preservantes, agua, gas ni envases especiales para su expendio directo, como en el caso de los refrescos y jugos de frutas naturales, dispensados, embotellados o deshidratados. Ahora bien, a pesar de su gran demanda su consumo ha estado LIMITADO solamente a sus lugares de ventas, ya que el mismo debe ser consumido frío e inmediatamente después de su extracción, puesto que de acuerdo a su composición química ocurren rápidamente reacciones de oxidación y transformación de algunos de sus constituyentes en estado natural que oscurecen su coloración y modifican su sabor y aroma original, por lo que dicho jugo no puede ser objeto de oferta para su consumo doméstico, en líneas marítimas y de aviación, o para su exportación a otros países, sin un proceso previo de preservación y envase o de secado y envase. Por otra parte, tanto la composición del jugo, como además el estado físico natural en que se presentan los tallos de cana representan desventajas que LIMITAN la competencia de su consumo no inmediato en su forma líquida natural en relación con los jugos preparados a partir de frutas frescas, las cuales pueden ser adquiridas y transportadas de forma convencional hacia la casa para la posterior extracción del jugo mediante equipos electrodomésticos también convencionales (exprimidores, batidoras y licuadoras) para la preparación de dichos jugos.

Estas limitaciones del guarapo en su forma natural pueden ser eliminadas y aumentar sus formas de presentación y empleos mediante la deshidratación del mismo, acorde con las tendencias mundiales de producción y consumo de productos alimenticios manteniendo su estado natural en lo posible, con la mínima aplicación de procesos químicos o de refinación de los mismos, para evitar pérdidas, desnaturalización o deterioro de los constituyentes nutritivos presentes, así como de otros elementos que pueden facilitar la digestión, todo lo cual contribuye al mantenimiento de la salud humana y a la disminución de los costos de producción.

La industria azucarera cubana ha sido receptiva a esta tendencia, ya que el proceso actual de fabricación de azúcar constituye una tecnología bastante antigua que tuvo su mas reciente modificación alrededor del ano 1960, habiéndose desarrollado muy poco, siendo este proceso ineficiente y muy costosos; puesto que requiere de una gran cantidad de operaciones, equipos, energía y mano de obra. Esto lo hace no competitivo con las nuevas tecnologías desarrolladas de producción de edulcorantes. Todo esto ha provocado que los países productores de azúcar aspiren a recuperar o mantener sus mercados, tratando de reducir los costos de producción mediante la simplificación del proceso tecnológico y eliminando así operaciones unitarias y con ello, equipos, productos químicos y mano de obra, como en los casos de producción de guarapo deshidratado en polvo comercializado en Costa Rica y Brasil; así como el llamado PROCESO SIGALA para la producción de azúcar integral y azúcar líquida, productos naturales en los que principalmente se requiere extracción, concentración y secado, sin empleo de productos químicos ni producción de mieles. Basado en lo anteriormente señalado el objetivo del presente trabajo es contribuir a la diversificación de la presentación, aprovechamiento y empleo mas integrales de los azúcares y de mas constituyentes del guarapo; así como a la reducción de los costos de producción del azúcar mediante la simplificación de dicho proceso. Por medio de la deshidratación en secadores de tambor y spray subutilizados actualmente en algunas plantas de torulas y destilerias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las experiencias de secado de guarapo fueron realizadas empleando caña raspada a mano entre dos machetes de la variedad: C – 1051 - 73; cepa: Frío 2001 de 13 meses de edad y rendimiento: 140800 @/ caballerías del banco de semillas de la ETICA. La extracción del guarapo fue realizada utilizando un trapiche de 3 pares de masas cilíndricas de diferentes tipos de rallados, 100 mm de diámetro y 150 mm de largo, neutralizándose el jugo a pH 7 y filtrándose el mismo a través de una malla de tela de centrífuga.

Se realizaron pruebas de secado de guarapo en su estado natural, así como, guarapo concentrado al vacío en un evaporador con calandria externa y flujo ascendente tipo Anhidro LAB-E que fue operado a 60 - 70 □C y 0.65 Kg/cm^2 de vacío; utilizándose para el secado los siguientes tipos de secadores continuos y en batch: Niro Atomizer Standard Spray Drying a escala piloto (TYPE S - 12, 5 - R de capacidad de evaporación de agua 75 L/h); Single Drum Film Dryer (A. P. V. M ITCHELL (DRYERS) LTD. 1976, ORDER N□ 756-1-77 de velocidad variable 0.5-12 r.p.m.) y Liofilizador de escala laboratorio (EDWARDS HIGT VACUUM, 1976).

Pruebas de secado en Spray con guarapo no concentrado (G.N.C) y concentrado (G.C).

Se realizaron mas de 18 pruebas de screening o barrido, variándose para ello las temperaturas del aire de entrada del secador entre 70 - 240 □C y las de salida entre 70 - 140 □C, empleándose 50 litros de (G.N.C) en cada experimento. También se varió la temperatura de alimentación a 30 y 60 □C. Además se añadió cal y almidón por separado como agentes de secado en proporciones de 0 - 5 %, sobre la base de los sólidos. La cal fue adicionada en forma de lechada al 37 % en peso y el almidón pregelatinizado. Adicionalmente fue variado el diámetro de la boquilla de la turbina.

Con (G.C) se realizaron tres pruebas de secado empleando 25 litros de concentrado en cada caso, para concentraciones de 70 % de sólido con adición de 10 y 40 % base seca de polvo de azúcar, y de 60 % de sólido sin adición de polvo de azúcar, a una temperatura de alimentación de 40 □C y del aire de secado entre 150 y 180 □C a la entrada; y de 85 a 90 □C a la salida.

El polvo de azúcar fue obtenido por batición a altas revoluciones, empleándose para ello una batidora comercial de cuatro litros de volumen.

Pruebas de secado en secador rotatorio de Tambor con (G.N.C) y (G.C)

Se realizó una prueba de secado empleando un litro de (G.N.C) a temperatura ambiente, variándose las revoluciones del tambor entre 0.5 -5 r.p.m.; así como la presión de vapor en el equipo entre 2 –3.5 Kg/cm^2.

Con (G.C) se realizaron 3 pruebas de secado empleando un litro de guarapo con 87 y 89 % de sólido; y adición conjunta de 10 % de polvo de azúcar y 5 % de almidón en base seca, realizándose la mezcla en caliente con la batidora. La presión de vapor en el tambor se varió entre 1.5 y 2.0 Kg/cm^2; y la velocidad entre 0.5 – 3 r.p.m., así como, una prueba de secado con guarapo a 60 □Brix sin adición de agentes de secado.

Pruebas de secado en Liofilizador con (C.N.C) y (G.C)

Se secó una muestra de 30 ml de G.N.C, utilizando una bandeja semicircular de 10 cm de diámetro y 2.5 de altura, congeládose posteriormente hasta -4 □C durante 8 horas y manteniendo el producto durante 24 horas al vacío.

Se hicieron pruebas de secado con G.N.C y G.C de 20 ml cada una utilizando frascos abiertos vacíos de vacunas inyectables a concentraciones del guarapo de 22, 50 y 85% de sólidos, más 5% de polvo de azúcar en este último caso, congelándose previamente las muestras a -70 ^{0}C y secándose durante 24 horas a 760 mm de Hg de vacío empleándose el secador del CENIC.

Determinaciones analítica:

- % de materia seca a 65 □C con vacío durante 24 horas.
- Azúcares Reductores por el método de Eynon Lane modificado en el ICIDCA. Manual de Técnicas Analíticas. ICIDCA, (1979)
- Azúcares por HPLC y caracterización por espectrofometría infrarroja, a una muestra de guarapo en polvo marca Zurita y a una muestra de guarapo secado empleando cal. Santo Tomás, Bermello y Campo (2003)
- Se empleó el areómetro y refractómetro para el control de la materia seca durante la concentración.

Adicionalmente se realizó mediante Prog.base EXCEL la simulación del proceso de extracción, concentración y secado para la obtención de 800 Kg por días de guarapo deshidratado, durante 150 días de operación, empleándose los datos de los equipos seleccionados siguientes:
1 molino de 10 Toneladas/día de capacidad de molida y 46% de extracción.
1 evaporador triple efecto de 10 m^2 de área de transferencia cada evaporador.
1 secador rotatorio de tambor de 1631.63 Kg/día de producto base seca, 1m de longitud y 0.35 m de diámetros de cada rodillo y 1.47 m^2 de área útil.
Determinándose del flujo de caja entre otros los siguientes resultados: Costo de inversión, ganancia, período de retorno, TIR y VAN.

Análisis de la mayor factibilidad de explotación del guarapo líquido como refresco típico por el MINAZ

Como segunda parte del trabajo se realizó un análisis acerca de la factibilidad de explotación comercial del guarapo natural líquido por el MINAZ como bebida típica refrescante para la población y el turismo.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

En la tabla I se muestra la composición química del jugo de caña, pudiéndose observar que la materia seca lo constituyen casi totalmente los azúcares los cuales presentan variación de acuerdo a diversos factores.

Tabla I. Composición química del jugo crudo de caña Honig (1969).

COMPOSICION DEL JUGO CRUDO DE CAÑA DE AZUCAR	
Constituyentes	%
Agua	77 – 88
Sacarosa	8 – 21
Azucares reductores	0.3 – 3.0
Otros compuestos orgánicos	0.5 – 1.0
Compuestos inorgánicos	0.2 – 0.6

El guarapo deshidratado debe presentar similar comportamiento en cuanto a la variación del contenido de azúcares como puede observarse en la tabla II, donde se muestran los contenidos de azúcares de los siguientes productos deshidratados por diferentes procesos y equipos:
Guarapo Deshidratado obtenido por el método patentado de presión en frío comercializado por Intertec S.A en Costa Rica, jugo de caña deshidratado en tambor Herbert and others (1961), Azúcar Integral secada en Spray por Sígala (1962), Azúcar Amorfo (Ehremberg, and others (1990) y Guarapo Natural en Polvo ("Zurita"). Existiendo además ofertas de tecnologías de secado de jugo de caña por Freeze Drying de la NRDC, 2002 y que no aparece en esta tabla por no brindar composición.

Tabla II. Composición de Azucares de Jugos de Caña Deshidratados comercializados y/o patentados.

Productos	Mat. Seca (%)	Polarización	Sacarosa (%)	Azucares Reductores	
				Libres (%)	Totales (%)
J. caña desh. met. presión en frío	97.6	-	84.0	1.69	-
J. caña desh. en tambor	97	82	-	4	86
J. caña desh. en Spray (SIGALA)	99.41	95.12	-	2.22	96
Azúcar Amorfo	-	-	75 - 85	1 - 10	-
Guarapo natural en polvo (ZURITA)	98.89	-	81.4	4.6	-

Resultados de los experimentos de secado en Spray con (G.N.C y G.C)

Estos experimentos mostraron la no-factibilidad técnica de secado del guarapo en su estado natural, ya que en todas las variantes probadas que se muestran resumidas y tabuladas por Campo y otros (2003); el guarapo se pegó a las paredes de la cámara de secado en forma de chicle o goma viscosa; debido a la caramelización de los azúcares por el calor a tan baja concentración; no presentándose en ningún caso el flujo libre y continúo de las partículas en forma de polvo seco hacia la cubeta de recolección, como el caso de la crema de levadura u otros productos de similar concentración. No obstante, mediante estos experimentos se pudo observar que las variantes que presentaron mayor tendencia de secado fueron las efectuadas a temperaturas del aire de secado a la entrada del secador entre 150 y180 □C y de salida entre 85 y 90°C. A dichas temperaturas, a pesar de pegarse el producto se presentó también la formación de película de betas blancas que indicaban sequedad, ya que mediante el contacto manual con la superficie se arrastraban partículas de polvo seco. Estas temperaturas coinciden con las señaladas por Hansen y otros (1976), con guarapo concentrado en Spray.

En estas pruebas se desechó el empleo de la cal, ya que la muestra pegada y raspada del secador mostró baja solubilidad, sabor a cal y destrucción de azúcares debido al elevado valor de pH y al calor; en comparación con el producto Zurita en las determinaciones realizadas por Santo Tomás, Bermello y Campo (2003)

Las pruebas de secado con G.C estuvieron limitadas por el gran volumen de guarapo que es necesario concentrar para alcanzar el volumen de trabajo del equipo y de esa manera trabaje de forma estable (aproximadamente 600 – 800 litros). Lo que quedó demostrado con la realización de estas pruebas en las que el G.C al que se le adicionó 40 % de polvo de azúcar, aunque se pegó a las paredes presentó una mejor factibilidad de secado, ya que formó una película blanca completamente y no caramelizada; a pesar de haberse perdido el control de la temperatura del aire de entrada y salida debido a la tupición de la boquilla que alimenta la turbina de atomización de mezcla líquida. De no haberse presentado esta tupición se estima de acuerdo a lo planteado por Hansen y otros (1976); que el producto hubiera fluido libremente al alcanzarse un espesor de capa determinado que provocaría la caída por gravedad de la misma, estableciéndose así el libre flujo de partículas secas continuamente a través del ciclón separador hacia la cubeta de recolección de producto seco.

De acuerdo a la experiencia planteada y la referencia señalada, así como, las recomendaciones planteadas por Shaw (1994), se estima que debe ser posible el secado a concentraciones de 65 ^{0}Brix o mayores con o sin adición de polvo de azúcar; o retroalimentación de producto final, con este diseño de secador de Spray o sino con alguna de las variantes de secado por atomización diseñados para el secado de productos con características similares. (Flash Dryer o Agitated Flash Dryer)

Pruebas de secado por Liofilización con (G.N.C y G.C)

En estas experiencias sólo secó la muestra con alta concentración y adición de polvo de azúcar envasada en pomo, alcanzándose valores similares de contenido de azucares a los determinados en la muestra de guarapo en polvo Zurita como se puede observar en la tabla III.

Tabla III. Composición de azucares de jugos de caña deshidratados mediante concentración e inyección previa de polvo de azúcar y almidón antes de secado por liofilización y tambor en Cuba 10 ICIDCA.

Tipo de Secador empleado	Mat. Seca (%)	Azucares Reductores			
		Libres		Totales	
		(%)	% base seca	(%)	% base seca
Liofilizadas a escala de laboratorio	98	2.1	2.2	83.4	85.7
Tambor a escala piloto	97	2.9 – 4.2	3.0 – 4.2	75 - 87	76 - 87

Pruebas de secado en Tambor con (G.N.C y G.C)

Las muestras de G.N.C y G.C hasta 60 % de sólidos no secaron, pegándose a la cuchilla debido a la caramelización que se produce a estas concentraciones por el calor; no resultando así en el caso de las muestras más concentradas conteniendo polvo de azúcar y almidón en las cuales el producto se

desprendió de la superficie del tambor en forma de película al completarse el giro del mismo y ponerse en contacto con la cuchilla de raspado próxima al punto de alimentación de la mezcla líquida.
Las muestras de producto seco obtenido deben ser molinadas con un mortero o molino para uniformar el tamaño de partícula. El producto así obtenido fluye libremente y presenta una baja higroscopicidad pero debe ser envasado herméticamente.
En la tabla 3 se muestra el contenido de azucares que como se observa puede variar, en lo que puede influenciar la manipulación del producto líquido antes y durante el secado y es comparable con el obtenido por Herbert y otros (1961) en tambor, así como al del azúcar amorfo y al guarapo en polvo Zurita. (Tabla II).
La baja presión de vapor requerida para el secado de este producto en este tipo de secador, así como la no contaminación del producto seco final por gases de secado deben hacer este proceso técnica y económicamente factible para la alimentación humana y animal, mediante el empleo de vapor de escape de las máquinas de vapor del tandem y de los turbo generadores de la planta eléctrica del central para la concentración y secado de guarapo, debiendo ser sustituida la inyección y mezclado de polvo de azúcar por la retroalimentación y mezclado de producto final.
Adicionalmente mediante la simulación del proceso de deshidratación en secador de tambor se obtuvieron los siguientes resultados preliminares (Tabla IV)

Tabla IV. Datos obtenidos del flujo de caja mediante la simulación del proceso empleando prog. Base EXCEL.

Costo de inversión en $	$ 27, 148.32
Ganancias $/años	$ 12, 416.57
Período de retorno (años)	2.35
TIR	76.13 %
VAN	$ 4, 462.34 a partir del tercer año

Los resultados de la tabla IV muestran que el TIR es mayor del 15%; así como un tiempo de recuperación menor de 3 años, lo que nos muestra que es factible económicamente el proceso, no obstante la escala de producción ser pequeña, afectada por tanto por la llamada economía de escala.
Análisis de la mayor factibilidad de explotación del guarapo líquido como refresco típico por el MINAZ, como segunda parte de este estudio.
De acuerdo al alto contenido de humedad del guarapo natural se estima que lo mas aconsejable debe ser el empleo preferencialmente en esta forma líquida como la más natural, saludable y ECONÓMICA para su expendio directo como bebida fría típica refrescante para la población y el turismo de acuerdo a nuestro clima tropical que permite la cosecha de caña y oferta de jugo durante todo el año; así como a su comparación económica ventajosa con refrescos embotellados y jugos de frutas. No obstante lo señalado anteriormente, la explotación del guarapo en esta forma más factible, rudimentaria y rentable, solo es aprovechada principalmente por particulares, cooperativas y en menor grado por la gastronomía estatal, los cuales brindan un servicio poco estable e ineficiente; no satisfaciendo todos en su conjunto la demanda potencial de la población en moneda nacional y no atendiéndose la posible demanda del turismo en hoteles, playas y centros de recreación en moneda convertible. De acuerdo a estas realidades y al cambio de estructura actual del MINAZ se estima que esta entidad es la más indicada para poder brindar un servicio globalizado más eficiente, estable, rentable y competitivo, al disponer la misma, de caña, tierras, talleres, transporte, trapiches (IPROYAZ), y fuerza de trabajo en exceso, incrementándose de esta forma con este nuevo renglón las fuentes de trabajo y los ingresos financieros y brindándose un servicio óptimo y estable a la población y el turismo.
Para lograr estos propósitos se debe realizar un estudio o proyecto que incluya en ruta crítica entre otros los siguientes aspectos:
Microlocalizaciones de acuerdo a la demanda de guarapo de los establecimientos o módulos* de la cadena de ofertas o expendio de guarapo y de los correspondientes campos de caña, centros de raspado y plantaciones de limón para la preservación y saborizado del guarapo.

Determinaciones de las variedades y cantidades de caña, extensiones de siembra necesarias, cantidad y capacidad de centros de raspado, cantidades de jugo de limón, de transporte y fuerza de trabajo de producción y administrativa; así como los medios para la promoción.
Estudios de conservación de guarapo a diferentes tiempos y temperaturas de enfriamientos con y sin adición de jugo de limón.
Diseño, construcción y montaje de cepillos de raspado** , trapiches y cajas de refrigeración según el tiempo de enfriamiento para la conservación del guarapo sin depender del hielo.
*Establecimientos o módulos de expendio: contenedores o locales situados en lugares céntricos con las condiciones sanitarias adecuadas y correctamente diseñados de forma típica y de acuerdo a la demanda de extracción, enfriamiento, lavados de vasos y expendio del guarapo frío.
**Raspadores circulares de alambre movidos por fuerza motriz: raspadores de caña recientemente ideados por un campesino que permite una mayor capacidad, productividad, calidad y humanización de este trabajo comparado con el raspador convencional manual entre dos filos de machetes flexibles. Siendo además recuperables estos cepillos

CONCLUSIONES

- ◊ Para la deshidratación o secado de guarapo en tambor se hace imprescindible la previa concentración y adición de polvo de azúcar o retromezclado del producto seco final obtenido como soporte o núcleo de cristalización, así como la adición de almidón para disminuir la higroscopicidad del producto seco final obtenido; impidiéndose así la caramelización y pegado del producto a la cuchilla del equipo por la cristalización y secado violento que tiene lugar a esa alta concentración de la mezcla (90 – 95^{0}Brix), que no obstante fluye bien y se mantiene homogénea a 60^{0}C; cristalizando y tornándose heterogénea a temperatura ambiente.
- ◊ En el caso de secadores Spray deben realizarse pruebas con cantidades mayores de producto concentrado, variándose la adición de la cantidad de polvo de azúcar en base a los sólidos totales, así como disminuir el tamaño de partícula de dicho polvo al mínimo permisible para evitar la tupición de la turbina del Spray, debiéndose variar también la humedad relativa del aire de secado a la entrada.
- ◊ El secado de guarapo realizado en tambor debe constituir una novedosa tecnología técnica y económicamente factible para el país, al poderse emplear vapor de escape para la concentración y secado, evitándose al mismo tiempo la contaminación del producto final por los gases de secado como en el caso del Spray; y disminuyéndose la inversión en equipos y energía al poderse emplear los evaporadores múltiple efecto del central de alta eficiencia de evaporación, así como los secadores tambor y Spray de algunas destilerías y plantas de torula anexas a centrales azucareros.
- ◊ El empleo de los cepillos raspadores de caña elimina el cuello de botella en el expendio del guarapo natural satisfaciéndose de esta forma la demanda potencial de guarapo durante todo el año, con una mayor capacidad de raspado, productividad y limpieza o calidad del raspado.

RECOMENDACIONES

1. Los resultados del presente estudio se corresponde con los objetivos planteados, debiéndose dirigir RACIONALMENTE la oferta o comercialización del guarapo de acuerdo a su forma de presentación y conservación (LÏQUIDO o DESHIDRATADO) y teniendo en cuenta el tipo de consumo a que va ser destinado; así como la estimada posible demanda nacional o internacional en cada caso:

   GUARAPO LIQUIDO:

- Preferencialmente para su consumo nacional inmediato como refresco típico natural para la población y el turismo.
- Limitadamente para su consumo nacional e inmediato como energético en la alimentación de cerdos, bovinos, caprinos y equinos.

   GUARAPO DESHIDRATADO:

- Preferencialmente para su exportación a países no productores de caña, para su consumo como refresco típico natural instantáneo en polvo, como azúcar natural integral mas saludable y de menor costo, y como alimento energético y saborizante para su inclusión total o parcial en los piensos de acuerdo a la especie animal.
- Limitadamente para consumo nacional de acuerdo a las demandas y conveniencias comerciales coyunturales para los mismos tipos de consumos anteriores.

2. El expendio de guarapo para el turismo puede realizarse en hoteles, playas y centros de recreación en general, debiéndose ofertar para su mejor presentación en vasos de cristal en formas de canutos de caña pudiéndose ofertar además en el mismo establecimiento guarapo deshidratado en sobres y diferentes tipos de rones producidos por el MINAZ.
3. El jugo de limón debe adicionarse al guarapo como saborizante y preservante natural, suministrándose de esta forma al mismo tiempo vitamina C a la población.
4. El expendio de guarapo líquido frío como bebida típica refrescante para la población y el turismo debe ser priorizado debido al bajo costo de inversiones y altas demandas y rentabilidad y ser realizado por el MINAZ como entidad productora y comercializadora más indicada, mediante cadenas de ofertas.

REFERENCIAS

1. Campo, F., Coronado, C. (2003), Reseña bibliográfica. Deshidratación de jugo de caña y jugos de frutas. Aspectos técnicos, económicos y de mercado. Informe Interno, Biblioteca ICIDCA.
2. Ehremberg, J., Tobe, P. (1990), Sugar and Method for its manufadorc. Patent R.F.A DE-3842751, Pp. 05, 07, 90) ref: S.I.A- 1994, V56 No. 3, 585.
3. FAO Tropical Feeds. Referencias útiles 9 y 295. Internet.
4. Hansen, and others (1978), Method of evaporating and spray drying of sucrose solution. Patent Núm. 4099982. July14, 1978. United States.
5. Herbert, G. (1961) Patent 946841. “Improvents in or relating to the production of dried vegetable juices”.
6. Honig, P. (1969), Principios de Tecnología Azucarera. Editorial Ciencia y Técnica, Instituto del Libro, La Habana. Tomo I, 438
7. INTERTEC, S.A. (2002) http://www. Intertec.co.cr/esp/quienes.htm/
8. ICIDCA, (1979), Manual de Técnicas Analíticas. ICIDCA.
9. NRDC Technology offer. (2002). FRUIT JUICE POWDER BY FREEZE DRYING. Internet 5-04-02. 1-3.web site: wwwnrdcindia.com mail: into @nrdcindia.com
10. Sigala, R. (1992), Nuevo proceso de Elaboración de Azúcar “PROCESO SÍGALA”. ATALAC. Vol. 6, No. 1, julio 1992. Trabajo presentado en el II congreso de la ATALAC.
11. Santo Tomas, J., Bermello, A y Campo, F. (2003). "Jugo de caña de azúcar deshidratado: Análisis de azúcares por cromatografía líquida de alta eficacia y expectometría infraroja". Cuba Azúcar. 32, 34-38.
12. Shav, F. (1994). Chemical engineering. 76 – 84.

FACILIDADES DE LA PLANTA PILOTO CUBA 10 PARA LA OBTENCION DE PRODUCTOS USADOS EN DIFERENTES INDUSTRIAS.

FACILITIES OF THE CUBA 10 PILOT PLANT TO OBTAIN PRODUCTS USED IN DIFFERENT INDUSTRIES.

Autores: Pastor López Martínez. Armando Díaz Concepción.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
E. mail. pastor@icidca.edu.cu

SUMMARY.

Cuba 10 Pilot Plant equipments to obtain products used in the agriculture as pest control and animal feedding such us fodder additive produced in the biotechnology or chemistry way are presented. In addition the facilities of the pilot plant to make studies of scale up and down stream process is also demonstrated.
Beside that, the proposal scheme to obtain the license of the plant to produce bioproducts is presented as well as the scheme under construction of demonstrative plant to produce multinutritional blocks.
Key word: Pilot plant, animal feeding, pest control

RESUMEN.

Se presenta el equipamiento de la planta piloto Cuba 10 para la obtención de productos usados en la agricultura, alimento animal u otras, tales como controladores de plagas, aditivos para piensos, etc tanto por vía biotecnológica o química, así como las facilidades de la planta para el estudio de escalado y recuperación de productos.
También se presenta el esquema propuesto para el licenciamiento de la planta, así como el esquema de una planta demostrativa de producción de bloques multinutricionales en fase de construcción.
Palabras claves: Planta piloto, alimento animal, control biológico.

INTRODUCCIÓN.

Para llevar la investigación básica hasta un producto final determinado es de vital importancia tanto en los procesos químicos o biotecnológico, el escalado, como fase intermedia entre el estudio de banco y el proceso industrial..
El diseño de los reactores involucrados en la escala comercial que evidentemente es el centro del proceso debe estar acompañado al menos por los resultados a nivel de laboratorio y planta piloto, lo cual requiere acercamientos sucesivos en el cual el tamaño del reactor se incrementa sucesivamente.
No pocos errores se han cometido en llevar los resultados obtenidos a nivel de laboratorio directamente a escala comercial y en el mejor de los casos la eficiencia del proceso se ha visto afectada grandemente.
En nuestro país en la década del 80 se produjo un incremento considerable en los procesos biotecnológicos, debido fundamentalmente por el interés del estado en crear las condiciones materiales y humanas para desarrollar las biotecnologías, debido fundamentalmente a las perspectivas que esta rama de la ciencia tiene en el mundo actual.
Un aspecto importante en el desarrollo de los procesos biotecnológicos lo tiene el poder eliminar la obtención de muchos productos que se obtienen por vía química de mayor impacto en el medio ambiente, no obstante, a las bondades de estos procesos es necesario tener presente que se propagan diferentes

microorganismos que se vierten al medio ambiente como es el caso de los controladores biológicos y que hay que prestar atención.
En este trabajo se presenta el equipamiento con que cuenta las instalaciones de la Planta Piloto Cuba 10 puesta en marcha a mediados de los 80s para el desarrollo de proceso biotecnológicos y químicos en la obtención de productos utilizados en diferentes industrias.

DESARROLLO.

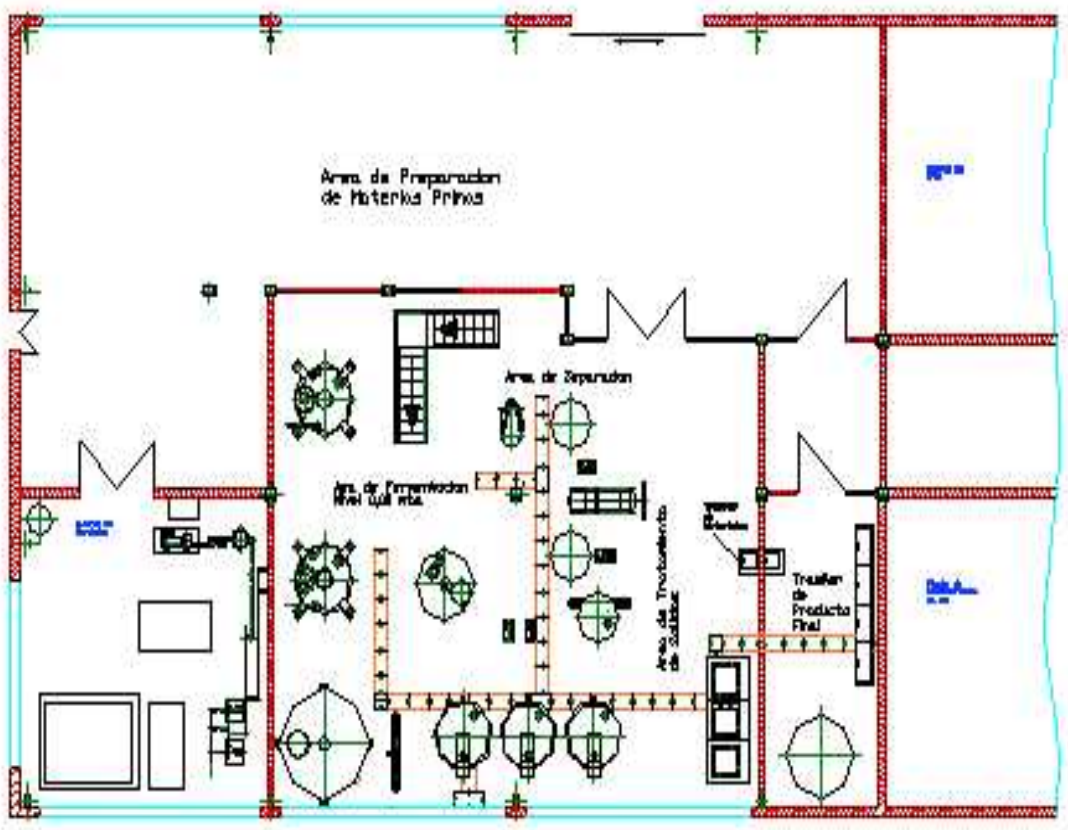
La Planta Piloto Cuba 10 está ubicada en áreas que ocupaba el Central Azucarero "Pablo Noriega", Municipio de Quivicán, a unos 50 kms al sur de Ciudad Habana, Cuba.
Ocupa un área de 10 000 m^2 y lo constituyen dos naves de 100 x 14 m y 50 x 14 m donde se encuentran las plantas pilotos.
Se dedica al desarrollo de procesos biotecnológicos y alimento animal, trabajando fundamentalmente en la investigación, prestación de servicios a la investigación y producciones demostrativas. Cuenta con 8 investigadores, 24 técnicos de nivel medio, 11 obreros calificados, personal de servicios administrativos, para un total de 49 trabajadores.
Sus instalaciones lo conforman dos plantas pilotos y un área de tratamiento de residuos fibrosos, así como con un laboratorio de microbiología, 2 laboratorios de análisis químico, taller de mecánica, taller electrónica, salón de reuniones, teatro y oficinas.
El equipamiento de la planta piloto Cuba 10 es el siguiente.
<u>Fermentación:</u>
Fermentador 10 litros "Marubishi".
Fermentador 25 litros construcción nacional.
Fermentador 50 litros "Biolafite".
Fermentador 100 litros construcción nacional.
Fermentador 500 litros "Marubishi".
Fermentadores 5 000 litros.
<u>Separación:</u>
Centrifuga continua de disco "Alfa Laval" de 5 m^3 capacidad.
Centrifuga semicontinua "Sharpless" 17 000 rpm. Capacidad del canasto 6 kg
Centrifuga de canasto 5 kg de capacidad.
Filtro prensa 40 x 40 cm placas.
Filtro prensa 20 x 20 cm placas.
Ultrafiltro de cartucho.
Ultrafiltro membrana.
<u>Secado:</u>
Secador "spray" 20 kg/h de capacidad
Secador tipo tambor 10 kg/h de capacidad.
Secador de lecho fluidizado 0.5 kg de capacidad.
<u>Reactores:</u>
Reactor vidriado, agitación, hermeticidad, 100 litros capacidad.
Reactor acero inoxidable, agitación , hermeticidad, 5 m^3.
<u>Mezclado:</u>
Mezclador de sólidos turbulento marca "DRAIS" 30 litros.
Mezclador de sólidos turbulento marca "DRAIS" 2 m^3.
<u>Molinos:</u>
Molino de martillo 200 kg/h.
Molino de cuchilla 200 kg/h.
Molino pulverizador 50 kg/h
<u>Servicios auxiliares:</u>
Máquinas de enfriamiento de agua. Capacidad total de 16 ton, 10 m^3de agua a 10 ^oC.
Aire comprimido 8 atm.

Sopladores de aire 2 - 5 m^3/h.
10 m^3 Gas licuado.
Cámara de congelación y mantenimiento.
Generador de vapor.
Este equipamiento permite el estudio de escalado y recuperación de diferentes productos que se pueden obtener tanto por procesos biotecnológico y/o químico.
A continuación se enumeran diferentes estudios de escalado realizado en esta planta que han tenido han tenido diferentes grados de introducción en la industria.

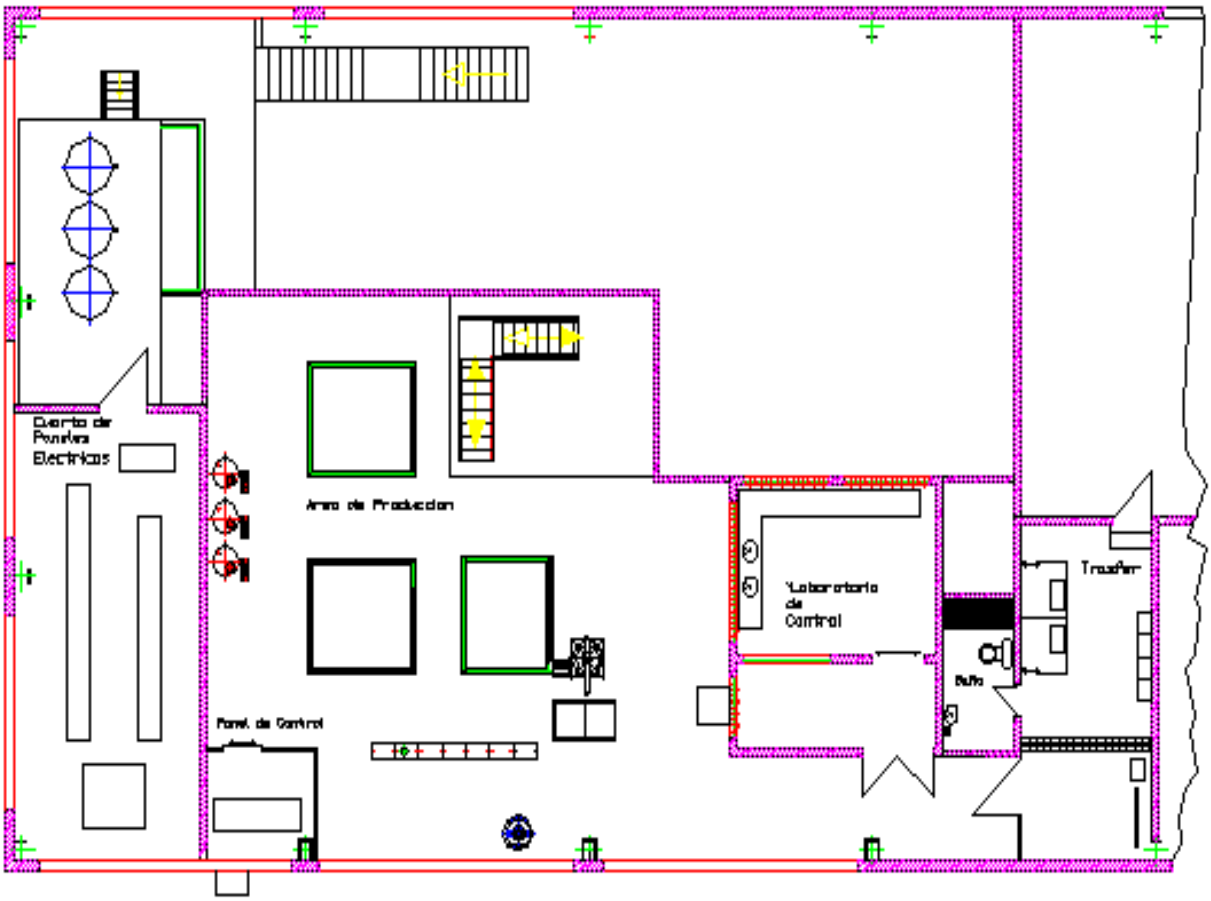
- Estudio de los parámetros industriales en la producción de Levadura para el Consumo Humano.
- Escalado de diferentes productos biológicos usados en la agricultura a partir de *Beauveria Bassiana, Paecilomyces lilacinus y fumosoroseus, Verticillium lecanii, Bacillus thuringiensis, Azotobacter, Pseudomonas fluorescenses.*
- Estudios de parámetros biotecnológicos para la obtención de levadura rica en proteína y grasa microbial a partir de *Rhodotorula*.
- Obtención de enzimas tales como: invertasa, dextranasa, proteasas, $\propto$ amilasa, utilizadas en diferentes industrias.
- Producción de hongo *Pleurotus* para la alimentación humana.
- Obtención de productos para la alimentación animal tales como: Bloques multinutricionales, bagazo hidrolizado, miel deshidratada, enriqueciendo proteico utilizando la fermentación en estado sólido, diferentes nombres de productos han surgido a partir de estos productos, como por ejemplo, Miel proteica, PREDICAL, CITROÍNA, PROBICID, etc.
- Otros productos como inhibidor enzimático utilizado en el manejo mecánico del procesamiento de la caña denominado IFOPOL, Celulosa Mmicrocristalina utilizado en diferentes industrias tales como: fabricación de cremas, formulaciones farmacéutica, fabricación de helados, etc,

Detalles de estos productos aparecen en Manual de los Derivados de la caña de Azúcar (2000).
En este momento se ha elaborado la documentación para poder trabajar bajo condiciones de licenciamiento, lo cual ha requerido el levantamiento de la instalación actual y las modificaciones requeridas, aspecto de vital importancia debido a las regulaciones medioambientales para la producción de cualquier producto microbiológico regulado en el país..
El esquema simplificado de la planta para trabajar en condiciones de licenciamiento es el siguiente.

Esquema I. Disposición de áreas y equipamiento de la planta piloto para obtener el licenciamiento para la producción de productos biológicos. Nivel 0,00



Esquema Ia. Disposición de áreas y equipamiento de la planta piloto para obtener el licenciamiento para la producción de productos biológicos. Nivel +4.00.



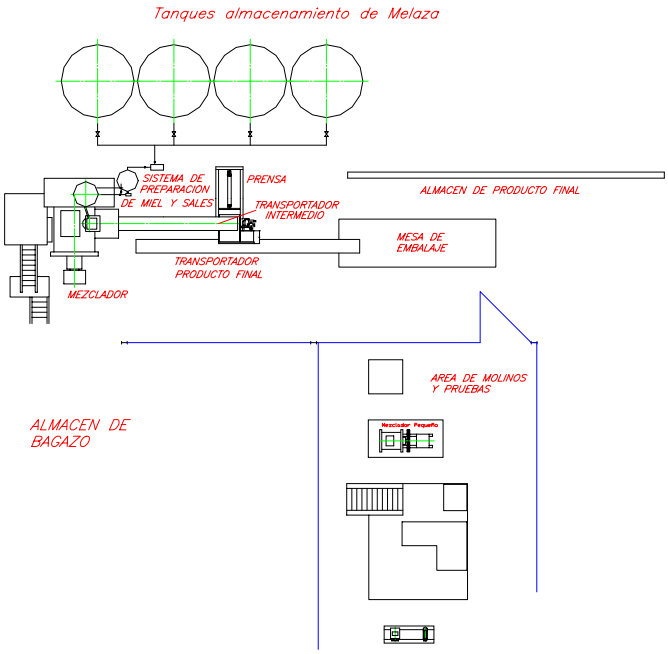
Una vez realizada la remodelación, la planta tendrá nuevas características constructivas.
El área de producción contará de dos niveles: el nivel 0,00 m (Figura I), con un área de 225 m^2 donde estarán ubicados los equipos fundamentales que intervienen en el proceso como son fermentadores de 2 y 5 m^3 volumen total, los tanques necesarios en el proceso, centrifuga y filtros prensa, así como todo los sistemas de bombeo. También se encontrara el área de almacén de producto final y el nivel + 4,00 metros (Figura Ia), con un área de 120 m^2, desde el cual se operarán los fermentadores de 3,5 m^3 y 0,12 m^3 (volumen de trabajo) así como la centrifuga continua de disco continua. El laboratorio de control se encontrará ubicado dentro esta misma área, pero como un cuarto independiente y el panel de control de proceso.
También en el nivel 0,00 m encontramos el área de preparación de las materias primas las cuales serán suministradas al área de producción a través de bombas.
La carpintería que delimitará cada área entre sí, estará conformada de aluminio lacado blanco, con vidrio bronce y melanina; materiales probados para estos tipos de usos; ya que cumplen los requisitos de resistencia a temperaturas y limpiezas químicas necesarias.

En cada una de estas áreas, las divisiones serán de paño fijo con vidrio superior y melanina inferior con excepción del área de almacén, la cual será de paño fijo con vidrio superior y melanina superior e inferior. También, de acuerdo al área que lo requiera, existirá un módulo de dos ventanas correderas de dos hojas con paños fijos laterales y central; además una puerta de una hoja de apertura con vidrio superior y melanina inferior.
Todo el acceso a la planta se realizará a través del transfer que el mismo estará situado en el nivel + 4.00 m. El personal primeramente debe pasar por el baño para limpieza de las manos, después podrá cambiarse la ropa por la vestimenta propia de trabajo. La ropa individual será guardada en las taquillas independientes, las que estarán habilitadas para guardar ropas y zapatos. A continuación se sentará en el banco de cambio de calzado, y estará habilitado una percha para las batas y cubre bocas, así como un depósito para el desecho de la vestimenta usada. Todo este proceso será de obligatorio cumplimiento para todo el personal que por cualquier motivo debe entrar a la planta.

La planta constará en el nivel 0.00 m de una doble puerta para ser solamente utilizada en casos extremos por personal de mantenimiento y nunca estando en producción la misma.

El sistema de ventilación será centralizado, que incluye un sistema de inyección y extracción para cada área en particular.
El sistema de iluminación está diseñado sobre la base de lograr un nivel de iluminación próximo a 400-500 Lux. , valores apropiados para estas plantas.
El tratamiento de los residuales líquidos serán vertidos en un mismo punto que posteriormente pasarán a un pozo o piscina de control, la cual tiene un volumen de 8 m^3 y un sistema de agitación por recirculación, así como, suministro de vapor; con el objetivo de eliminar cualquier contaminación presente en dichos efluentes. Esta piscina tiene controles de seguridad de mínimo y máximo nivel, con el objetivo de evitar el retorno por máximo nivel. Una vez tomadas las muestras y comprobado la ausencia de contaminación, los mismos son dirigidos a la conductora principal a través de una bomba.
Las diferentes soluciones constructivas y de diseño están dadas debido a los requerimientos necesarios a cumplir en plantas para la producción de productos biológicos del Riesgo II y aprobadas por el Centro Nacional de Seguridad Biológicas y registradas en Decreto Ley No 190 y la Resolución 103/2002 y Resolución No 8/2000.
A continuación se presenta el esquema simplificado de la planta de bloques multinutricionales en fase de construcción. Este es un alimento que se utiliza en la alimentación animal que permite el suplemento de diferentes sales nutrientes deficitarias en el pastoreo fundamentalmente en la época de seca.
Información acerca de este producto se puede encontrar en www.icidca.cu al igual que en los reportados por López (2002).

Esquema II. Planta de Bloques Multinutricionales.



La planta para la producción de Bloques Multinutricionales en fase de construcción, Esquema II contará con los equipos principales involucrados en el proceso (mezclador y prensa), la misma cuenta con un área de 60 m^2, la alimentación a la prensa, así como, la extracción del producto final hacia la sección de embalaje es a través de equipos transportadores; no siendo así la alimentación al mezclador turbulento, el cual debe realizarse manualmente, debido al alto costo que implicaría un equipo de pasaje intermedio; aunque no se descarta contar en un futuro con uno de estos equipos.

El proceso de suministro de las sales y demás productos, serán mezclados en el tanque de preparación de miel, lográndose con esto aumentar la calidad del mezclado de las mismas. La cal también se irá dosificando a través de una tolva al mezclador, evitando en la mayor medida posible el contacto de los operadores con los gases que despide la reacción del proceso.

El sistema de prensado esta compuesta por una o mas prensas hidráulicas, lo que trae como ventaja obtener un producto final capaz de cumplir con los requerimientos de compactación necesaria, garantizándose así, una excelente calidad y acabado en el producto final.

También cuenta con un área donde se procesa el producto final de acuerdo a los requerimientos del cliente, donde se podrán almacenar el producto por un periodo de tiempo de 24 horas después de producidos.

Análoga a dicha planta es encuentra un área destinada a molinos capaces de poder satisfacer diferentes necesidades y requisitos solicitados por los clientes así como equipos para poder conformar diferentes prototipos de bloques de acuerdos a la utilización de distintas materias primas.

CONCLUSIONES.

- Esta planta permite estudios de escalado y recuperación de productos en la rama de la biotecnología , así como su equipamiento permite la producción de otros productos utilizados en otras industrias.
- Los trabajos propuestos para trabajar en condiciones de licenciamiento son de vital importancia para el control de la calidad del producto terminado y la conservación del medio ambiente.
- La planta demostrativa para la producción de bloques multinutricionales es un prototipo que se puede instalar en áreas de cualquier cooperativa pecuaria o cercana a una industria de la producción de azúcar que genere bagazo y melaza.

REFERENCIAS

- López, P. (2001), Escalado de procesos biotecnológicos y medio ambiente.), Trabajo para optar por categoría científica. Facultad Post grado. Universidad de la Habana. Cuba.
- Sasson, A. (1985), Las biotecnologías desafíos y promesas, CIB. UNESCO. Cuba.
- Cabello, A. (2002), Los sistemas agroalimentarios actuales y la caña de azúcar: un análisis comparativo. La Habana: ICIDCA pp. 156.
- Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. (2000), Ciudad Habana, Cuba pp. 485.
- López, P., Campo, F., Echevarria, J. (2002, Memorias Tomo II. Congreso Internacional sobre azúcar y derivados de la caña. La Habana Cuba pp. 310-313.

GUIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INTERNO DE PROPIEDAD INTELECTUAL EN EL INSTITUTO CUBANO DE INVESTIGACIONES DE LOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR.

GUIDE TO IMPLEMENT AN INTERNAL SYSTEM OF INTELLECTUAL PROPERTY AT CUBAN RESEARCH INSTITUTE OF SUGAR CANE BY-PRODUCTS (ICIDCA).

Chateloin Vivian, Meneses Gisela, Fundora Norka

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
Email: vivian@icidca.edu.cu

RESUMEN
La legislación cubana sobre Propiedad Intelectual se proyecta sobre un conjunto de regulaciones amparadas por el Estado. El sistema de Propiedad Intelectual debe ser utilizado por las empresas nacionales cuyas actividades fortalecen la economía y la infraestructura tecnológica nacional.
El objetivo de este trabajo es presentar las acciones para la implementación de un sistema de Propiedad Intelectual en el ICIDCA con una estructura específica y los lineamientos internos que regirán las conductas y acciones de las diferentes áreas del Instituto, tanto en su acontecer interno como en su interrelación con terceros. Este sistema además permite, lograr que se conozcan las responsabilidades del representante designado para la atención de la actividad, proteger la Propiedad Intelectual, evitar violaciones de derechos de Propiedad y mantener una constancia en toda la actividad organizacional.

Palabras claves: Propiedad industrial, sistema, propiedad intelectual, derecho de autor

ABSTRACT
Cuban legislation about intellectual property is based on a group of regulations issued by the Cuban state. The Intellectual Property System must be used by national enterprises in their commitment of making Cuban economy and its technological infrastructure stronger.
The objective of this paper is to present the actions for establishing of an intellectual property system in the Cuban Research Institute of Sugar Cane By-Products (ICIDCA), with a specific structure and internal guidelines to control the procedures and the actions of different Institute areas either in their internal work or in their relations with partners. This system, should also permit to know the role of the legal representative to take care of this activity, to protect intellectual property of the institute, to prevent violations of intellectual property legislation and to keep organizational dynamics.

Key Words: Industrial Property, system, intellectual property, royalties

INTRODUCCIÓN

El ingreso de Cuba en la Organización Mundial del Comercio (OMC) en abril de 1995, y con ello la aceptación entre otros del marco normativo que impone el acuerdo sobre los aspectos de los derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el comercio (acuerdos sobre los ADPIC) supone tanto retos como oportunidades para el devenir tecnológico, comercial y socioeconómico general de nuestra nación.

La Propiedad Intelectual se refiere a las creaciones de la mente: invenciones, obras literarias y artísticas, así como símbolos, nombres e imágenes utilizadas en el comercio y comprende la Propiedad Industrial y el Derecho de Autor.

Proteger la Propiedad Intelectual significa brindar abrigo a las creaciones del intelecto de nuestros trabajadores, desde un obrero, un técnico, un investigador en los trabajos del Forum de Ciencia y Técnica, de las innovaciones y racionalizaciones, la labor de las BTJ, es decir nuestras investigaciones, tecnologías, marcas u otros signos distintivos y demás modalidades de la Propiedad Intelectual para evitar que sean utilizadas por otras personas naturales o jurídicas en su beneficio económico sin ser ellos los verdaderos titulares de estos derechos.

La finalidad de este trabajo es presentar las actividades para la implementación de un Sistema Interno de Propiedad Intelectual en el ICIDCA (SIPI- ICIDCA) y su acertada utilización como estimulo a la actividad creadora y refuerzo de su posición competidora en los mercados nacionales e internacionales, factores estos esenciales para el desarrollo.

DESARROLLO

A partir de la Resolución No. 21/2002 de fecha 28 de febrero del 2002, aprobada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente sobre el establecimiento del Sistema Nacional de Propiedad Industrial, se trazan los lineamientos a seguir con el objetivo de que cada organismo o entidad implemente su Sistema de Propiedad Industrial.

Este trabajo es una guía de las actividades en materia de Propiedad Intelectual ya que incluye la Propiedad Industrial (Resolución No 21, 2002) y el Derecho de Autor (Ley No. 14, 1977), que resultan de interés no solo para el ICIDCA, sino también para otras entidades de I + D del sector azucarero.

Esta guía está integrada por 6 procedimientos.

1- Obtener asesoramiento mediante contrato con la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial (OCPI) sobre el Sistema Nacional de Propiedad Industrial.

En esta etapa se asesoró a la Jefa del Departamento de Información Científica, a la representante Legal del ICIDCA ante la OCPI; y a una Especialista del área de Investigación en los aspectos básicos para el diseño del sistema, a saber: fundamentos legales del sistema, lineamientos para su estructuración, principales actividades a ejecutar.

2- Obtener asesoramiento del Centro Nacional de Derecho de Autor (CENDA) sobre Derecho de Autor.

A Partir de estos asesoramientos se obtuvo la Resolución No. 21/2002 que ampara el Sistema Nacional de Propiedad Industrial con sus objetivos, principios generales, lineamientos metodológicos y la guía para el diagnóstico y controles, así como la Ley No. 14/1977 sobre el Derecho de Autor.

3- Desarrollar la propuesta del SIPI, documento que será avalado oficialmente por la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial (OCPI) para la implementación del Sistema.

3.1- Contenido de la propuesta.

a. Resolución que pone en vigor el procedimiento a seguir por el ICIDCA para aplicar el Sistema Interno de Propiedad Intelectual.

b. Ámbito de acción que contempla un SIPI.

Este aspecto incluye una serie de definiciones: Invención, información secreta o know how, Derecho de Autor, Propiedad Industrial, es decir todas las creaciones del intelecto afines con la actividad de la Institución.

En el caso específico del ICIDCA el ámbito de acción se circunscribe a las actividades que aparecen en las tablas No. 1 y 2.

Tabla 1. AMBITO DE ACCION DERECHO DE AUTOR
- Manuales - Monografías - Catálogos y Revistas - Compendios - Softwares

Tabla 2. AMBITO DE ACCION PROPIEDAD INDUSTRIAL
- Invenciones - Marcas - Nombres comerciales - Emblema empresarial

c. Caracterización del Centro con su misión, objetivos estratégicos, estructura y principales actividades de Propiedad Intelectual.

d. Diagnóstico del Sistema actual de Propiedad Intelectual: Autodiagnóstico con respecto a la eficiencia y eficacia de las actividades de Propiedad Intelectual del Centro.

En la Resolución No. 21/ 2002 aparecen relacionadas las actividades y los índices de desempeño para desarrollar este punto.

Resulta importante señalar que la Propiedad Intelectual en el ICIDCA ha estado encaminada solamente a las actividades de tramitación en este sentido no contemplando otras acciones reflejadas dentro de los principios generales del Sistema Nacional de Propiedad Industrial (Resolución 21/2002).

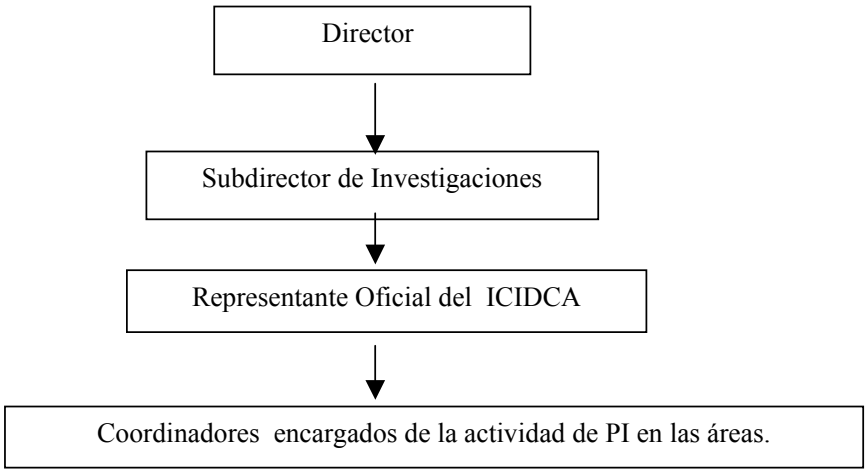
e. Definir la política de Propiedad Intelectual que ampara las acciones que adoptará la Organización para la aplicación del Sistema, por ejemplo:

"El Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA, tomando en cuenta su papel como parte integrante del Sistema Nacional de Propiedad Industrial establece, en el límite de sus facultades y competencia, el obligatorio cumplimiento de los Lineamientos Internos (Resolución No.21/2002) que regirán las conductas y acciones de las áreas que integran nuestro Instituto, tanto en su acontecer interno como en su interrelación con terceros a fin de lograr la implantación del Sistema Interno de Propiedad Intelectual, el cual propiciará el empleo correcto de las actividades de Propiedad Intelectual como instrumentos de gestión empresarial."

Lo anterior es sólo un ejemplo, pues cada Centro redactará su política de acuerdo a lo que más se ajuste a sus características.

f. Definición de la estructura del SIPI en la Organización.

La estructura organizativa del Sistema Interno de Propiedad Intelectual se concibe de manera que facilite la interacción de la Representante Legal con la actividad inventiva real y potencial de las diferentes áreas del Centro y que cumpla con los objetivos estratégicos establecidos por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. En la Figura 1 se representa la estructura del SIPI en el ICIDCA.



Entre los objetivos a cumplir se relacionan los siguientes:

I. Fomentar la cultura sobre Propiedad Intelectual.

II. Fomentar la utilización de la Propiedad Intelectual en el quehacer Institucional aprovechando sus ventajas con el fin de:

- Amparar Jurídicamente nuestros resultados en la actividad creadora.
- Garantizar que los términos y condiciones sobre la Propiedad Industrial en los acuerdos de licencias de las diferentes modalidades respalden, adecuada y oportunamente nuestros intereses económicos.
- El apoyo de los proyectos de ciencia e innovación tecnológica, Foros de Ciencia y Técnica, Movimientos de Innovadores y Racionalizadores y Brigadas Técnicas y Juveniles de Trabajo.
- El apoyo a la implementación de un Sistema de Gestión de la Calidad en el Instituto.
- Garantizar que se proteja nuestro patrimonio tecnológico y marcario en los acuerdos de colaboración científico-técnico.

III. Estructurar e implementar las actividades de Propiedad Intelectual en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.

IV. Evitar las violaciones de derechos en las diferentes modalidades de la Propiedad Industrial y de Derecho de Autor.

g. Reflejar los lineamientos metodológicos para el diseño y la implementación de un SIPI (Resolución 21/2002)

De los lineamientos generales se derivan las responsabilidades funcionales del grupo coordinador en cada organización, las cuales deberán incluir las siguientes:

- Elaborar e implementar la política y estrategia de Propiedad Intelectual en la Organización.

- Promover y controlar el desarrollo y aplicación del SIPI del Centro en correspondencia con las características especificas del mismo.
- Mantener actualizado el SIPI, en cuanto a legislación vigente y/o nuevas actividades que se deriven del propio desarrollo de la institución.
- Promover y coordinar las actividades de capacitación y desarrollo (participación en eventos, conferencias, y otras actividades) en materia de Propiedad intelectual en el Centro.
- Ejecutar la debida observancia, en ferias, eventos y exposiciones, como garantía de los derechos de Propiedad Intelectual propios y de terceros.
- Gestionar y controlar el presupuesto anual de los recursos necesarios para la protección legal y mantenimiento de los derechos de Propiedad Intelectual, así como para la capacitación , participación en Eventos y otras actividades.
- Mantener actualizado el SIPI y a sus coordinadores dentro de las entidades en cuanto a legislación vigente y/o nuevas actividades que se deriven del propio desarrollo de la materia.
- Disponer el establecimiento de controles internos, pormenorizados y actualizados, de las solicitudes de registros y de los derechos adquiridos por la entidad.

4- Añadir un glosario donde aparezcan los términos utilizados en materia de Propiedad Intelectual.

5- Entregar la propuesta del SIPI al Departamento de Desarrollo y Comercio (DESCOM) de la Oficina Cubana de Propiedad Industrial para su aprobación.

6- Establecer un cronograma de actividades para la implementación del SIPI.

CONCLUSIONES

- Este trabajo facilita el proceso para llegar a la implementación del Sistema Interno de Propiedad Intelectual (SIPI), pues contempla la Propiedad Industrial (Resol. No. 21/2002) y el Derecho de Autor (Resol. No. 14/ 1977).

- Fue redactado siendo consecuente con los principios, objetivos y lineamientos reflejados en la Resolución No. 21/2002 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

- Esta guía puede ser extensiva a todos los Centros de I+D de la Industria Azucarera.

AGRADECIMIENTOS:

Queremos agradecer la asesoría brindada por la Lic. Casrmen Ross Fonseca, especialista del Departamento de Desarrollo y Comercio de la Oficina Cubana de Propiedad Industrial en materia de Sistema Nacional de Propiedad Industrial.

BIBLIOGRAFÍA

- Resolución No. 21 /2002.Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Gaceta Oficial . Enero 7/ 2003.
- Ley 14/1977. Asamblea Nacional del Poder Popular. Gaceta Oficial, ed. Ordinaria No. 9. Diciembre 30/1977.

EVOLUTION OF THE BRAZILIAN SUGAR AND ALCOHOL SECTORS: AN INPUT-OUTPUT ANALYSIS

EVOLUCIÓN DE LOS SECTORES DEL AZÚCAR Y ALCOHOL BRASILEÑOS: UN ANÁLISIS DEL INPUT-OUTPUT

Pery Francisco Assis Shikida

Professor of Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Brasil.
Researcher of CNPq and GEPEC (Group of Research in Agribusiness and Regional Development).
Rua da Faculdade, 645.
Toledo, Paraná – Brasil.
CEP: 85.903-000
E-mail: pfashiki@unioeste.br

ABSTRACT: Using input-output analysis this paper presents for 1975, 1980, 1985, 1992 and 1995 a comparative analysis of the Sugar and Alcohol sectors for the Brazil. As corollary, it was verified that the Sugar and the Alcohol sectors present low contribution for the other sections of the economy. As insight of this study, the inclusion of two years - 1992 and 1995 - allows, in terms of sectors multipliers and effect of the variations in the final demand, the consistency of the results obtained with the reality in these sectors: the sugar cane industry has been affected by the favorable behavior of the sugar market and unfavorable in terms of alcohol market. However, in 1975, 1980 and 1985, the scenery was of structuring of the alcohol combustible in Brazilian matrix energetic and of crisis of the sugar economy.

KEY-WORDS: Input-output, Sugar, Alcohol, Brazil, Evolution

RESUMEN: Usando un análisis de input-output, este trabajo presenta para 1975, 1980, 1985, 1992 y 1995 un cuadro comparativo de los sectores del Azúcar y Alcohol en Brasil. Como resultado, se verificó que los sectores del Azúcar y Alcohol presentan contribución baja para las otras áreas de la economía. Como visión de este estudio, la inclusión de los años 1992 y 1995 permite, en los términos de multiplicadores de los sectores y efecto de las variaciones en la demanda final, mostrar la consistencia de los resultados obtenidos con la realidad de esos sectores: la industria de la caña de azúcar ha sido afectada por la conducta favorable del mercado azucarero y desfavorable en términos de mercado del alcohol. Sin embargo, en 1975, 1980 y 1985, el cuadro era de estructuración del combustible de alcohol en la matriz energética brasileña y de crisis en la economía azucarera.

PALABRAS CLAVE: input-output, Azúcar, Alcohol, Brasil, Evolución

1 INTRODUCCIÓN/FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El azúcar es una *commodity* agrícola consumida y comercializada tanto en el mercado interno como en el externo. Obtenido a través del tratamiento industrial del zumo de la caña de azúcar, el azúcar común se presenta bajo forma de cristales, siendo producidos varios tipos de azúcar, tales como: cristal, demerara, refinado y refinado amorfo (Açúcar, 2001). El azúcar generalmente no posibilita grandes oportunidades para explotación de marcas; las estrategias más comunes de comercialización son la calidad del producto y garantía del proveedor (Pessanha *et al.*, 2000). Las industrias de alimentos y bebidas son las mayores demandantes de esta *commodity*.

El alcohol es un producto químico orgánico que encuentra varias aplicaciones industriales en la manufactura de materiales diversos, como cosméticos, solventes, bebidas, además de ser utilizado como combustible en el segmento de vehículos automotores, sea sustituyendo la gasolina (alcohol etílico hidratado carburante) o aun como aditivo (alcohol etílico anhidro carburante) (Álcool, 2001). En la comercialización del alcohol combustible se plantea un mercado de tipo oligopsónico, en que figuran

pocas distribuidoras (pequeño número de compradores), para un gran número de usinas y destilerías proveedoras de alcohol, es decir, gran número de vendedores.

En Brasil, la producción de caña de azúcar, azúcar y alcohol estuvieron, hasta el inicio de los 90, bajo el control del gobierno. Las prácticas de intervención en el sector fueron varias, con destaque para la determinación de las cuotas de producción y comercialización, volcadas para el equilibrio del mercado. Con la extinción del Instituto del Azúcar y del Alcohol (IAA), a través de la Medida Provisoria nº151 (15/03/1990), la agroindustria de la caña, de modo general, pasó a convivir con un ambiente de gradual desregulamentación del sector (Shikida, 1998a).

En las décadas de 60, 70, 80 y 90, la economía de la caña de azúcar nacional pasó, según Shikida (1998a), por cuatro distintos momentos: entre 1965/69 y 1971, ocurrió lo que Queda (1972) nombró fase tecnológica, cuando, en nombre de una mayor competitividad sectorial, se promocionaron políticas de incentivo a las fusiones e incorporaciones de usinas, mejoras en las áreas de investigación agronómica e industrial de la agroindustria de la caña del país, culminando, en 1966, con la creación del Programa Nacional de Mejoramiento de la Caña-de-Azúcar - *PLANALSUCAR*. A propósito, es a partir de 1971 que se registra la instauración de la política de subsidio de ecualización de costo, en la que la diferencia de costo entre los productores del Norte/Nordeste y Centro-Sur sería cubierta por un subsidio pagado por el gobierno (Lima, 1992).

Desde 1975 hasta 1979, en medio a las frecuentes crisis de la economía azucarera (dada por la competencia con sucedáneos del azúcar y elevación de la oferta mundial) y frente a la primera crisis del petróleo, hubo la creación del *PROÁLCOOL*. En esa época, la "orquestación" de intereses para viabilizar el *PROÁLCOOL* involucró a los empresarios de las usinas y destilerías, el Estado, el sector de máquinas y equipamientos, además de la industria automovilística; se trataba, pues, de diversificar la producción, de crear un nuevo mercado para la economía de la caña – en ese período el alcohol anhidro tuvo acelerada expansión.

Entre 1980 y 1985, hubo la confirmación del *PROÁLCOOL* como la opción energética más adecuada para la sustitución de derivados del petróleo, sobreponiéndose a programas como el de aceites vegetales y de florestas energéticas – en esa fase hubo un direccionamiento hacia la producción de alcohol hidratado, estimulando concomitantemente la demanda de coches movidos exclusivamente a alcohol. En 1985 el porcentaje de venta de automóviles a alcohol en el mercado interno llegó a su valor máximo, el 92,17%.

Durante el período entre 1986 y 1995, el *PROÁLCOOL* se presentó, inicialmente, dentro de un panorama de desaceleración y luego de crisis. Hubo una considerable reducción en la participación de las inversiones públicas en el Programa y desequilibrio entre la oferta y la demanda de alcohol combustible, lo que trajo como consecuencia la reducción del interés en producirse (en la visión de la industria automovilística) y en comprar vehículo a alcohol (en la visión del consumidor). El Estado, ahora revestido de una tendencia neoliberal y afectado por una grave crisis fiscal y financiera, juntamente con la industria automovilística, disminuyen las ventajas antes concedidas para el *PROÁLCOOL*. No obstante, el mercado azucarero internacional comienza a dar señales de revitalización. En 1995 el porcentaje de venta de automóviles a alcohol en el mercado interno fue de 3,05%.

El pos 1995 aún se presenta un escenario de crisis para la agroindustria de la caña, consubstanciada en gran parte por la indefinición en cuanto a los rumbos del *PROÁLCOOL* y por el ambiente de desregulamentación sectorial. Para Bray *et al.* (2000), aún persiste la indefinición del alcohol combustible en el contexto de la matriz energética del país. El desempeño de la agroindustria de la caña ha sido afectado por el comportamiento favorable del mercado azucarero y desfavorable en términos de mercado de alcohol.

Son varios los estudios que analizan estos dos importantes sectores, entre los que se pueden citar: Belik (1992) que, a partir del enfoque neo-corporativo, buscó explicar cómo el Estado ha operado sus políticas públicas, interactuando con grupos privados, de forma a buscar atender a los diversos intereses que han gravitado en torno de la agroindustria de la caña; y, Moraes (2000) que, a partir del enfoque de la organización industrial y de la nueva economía de las instituciones, buscó explicar el proceso de desreglamentación del sector alcohol-azucarero en Brasil y sus efectos sobre la economía de la caña de azúcar. Sin embargo, un trabajo que busque analizar, bajo la óptica del instrumental insumo-producto, el desempeño de los sectores de la industria del azúcar y del alcohol en 1975 (inicio de la 1ª fase del *PROÁLCOOL* y crisis de la economía azucarera), 1980 (inicio de la fase de expansión acelerada

del *PROÁLCOOL*), 1985 (ápice del *PROÁLCOOL*), 1992 y 1995 (fase de desaceleración y crisis del *PROÁLCOOL* y de mejor situación relativa de los precios del azúcar) se justifica por la importancia de actualización de esa evolución sectorial. Se torna interesante analizar no sólo la evolución de los sectores industriales del azúcar y del alcohol, como también las principales interacciones sectoriales de estas áreas productivas, o aun como las estrategias de inversiones en los sectores nombrados anteriormente afectaron a los otros sectores de la economía, de acuerdo con sus momentos históricos de mayor relieve. De esta forma, las preguntas que emergen son: ¿Cuáles fueron las vicisitudes y comportamientos de los sectores de la industria del azúcar y alcohol durante sus principales momentos históricos? ¿Son estos sectores, de hecho, claves para la economía brasileña? ¿Cuáles son sus principales interacciones sectoriales?

Teniendo por base las matrices insumo-producto de Brasil para 1975, 1980, 1985, 1992 y 1995, este trabajo tiene por meta destacar un panorama evolutivo de los sectores industriales del azúcar y alcohol en estas economías. Como objetivos específicos están: verificar, por medio del modelo de Leontief, el comportamiento de los coeficientes técnicos del azúcar y del alcohol de modo a analizar sus principales interacciones sectoriales; a partir de los conceptos de índices de relaciones hacia atrás y hacia delante; dentro de la tradición de Hirschman/Rasmussen, definir los sectores-clave de las economías en estudio, a partir del concepto de campo de influencia, confirmar o no los sectores-clave de las economías en estudio apuntados anteriormente; y, analizar, a partir de estrategias sectoriales basadas en el análisis de multiplicadores, cuáles son los sectores que más interactúan con los sectores industriales del azúcar y del alcohol.

Además de esa introducción, este trabajo presenta otras cuatro secciones. En la segunda se hace una breve revisión de la literatura, mientras que en la tercera son expuestos los procedimientos metodológicos que nortean el presente estudio. La cuarta sección contempla los resultados y discusiones derivados de los trabajos efectuados en las matrices insumo-producto de Brasil para 1975, 1980, 1985, 1992 y 1995. Las consideraciones finales se agregarán a esta investigación.

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

Según Pina (1972, p.11), "*la historia de Brasil se encuentra tan íntimamente ligada al cultivo de la caña-de-azúcar que se torna imposible una disociación, bajo pena de incurrirse en una falsedad*." De hecho, varios abordajes académicos han apuntado la importante participación de la caña-de-azúcar en la formación económica del país. Entre ellas están: Prado Júnior (1981) y Ramos (1991).

Con relación al Estado y la caña de azúcar se destacan temas como la ideología, el Estado y la acción empresarial en esa agroindustria (Gnaccarini, 1972; Queda, 1972); la legislación azucarera (Pina, 1972); el planeamiento de la agroindustria de la caña de azúcar (Szmrecsányi, 1979); y el actual proceso de desregulamentación del sector (Moraes, 2000).

Sobre los aspectos de la evolución diferenciada, Ricci *et al.* (1994) coloca que el patrón tecnológico del sector azúcar-alcoholero es definido en São Paulo porque es donde el sector logró convertirse en un Complejo Agroindustrial completo. Para Szmrecsányi (1979), la agroindustria de la caña de azúcar de São Paulo figura como la más dinámica del país debido a la mayor proximidad a los grandes centros consumidores nacionales, condiciones edafo-climáticas favorables y una mayor concentración económica y considerable aporte de tecnología en torno a esa agroindustria. Segundo Lima & Melo (1989), de la agroindustria de la caña del nordeste brasileño se sobresale el atraso tecnológico y la consecuente baja productividad del sector. Shikida & Bacha (1999) ponen de relieve que la crisis del *PROÁLCOOL* contribuye para abultar la diferenciación existente en la agroindustria de la caña, en que algunas empresas menos preparadas en términos de capacitación tecnológica terminaron sus actividades o fueron incorporadas por las más dinámicas.

En el caso del azúcar, existen varios trabajos que tratan sobre este *commodity*: sea en términos de análisis de mercado (Burnquist, 1996; Burnquist & Bacchi, 1996); en la cuestión del subsidio de ecualización (Lima, 1992); o en la competencia y complementariedad en el sector azucarero (Szmrecsányi, 1989).

En lo que se relaciona a la literatura del alcohol, específicamente sobre las perspectivas de este combustible en Brasil, se puede hacer referencia al trabajo, por ejemplo, de Fernandes & Coelho (1996) y Bray *et al.* (2000); en el caso de la evaluación económica del alcohol anhidro e hidratado se pueden citar, entre otros, Pelin (1983) y Melo & Pelin (1984); las evaluaciones generales del *PROÁLCOOL* también pueden ser encontradas en Melo & Fonseca (1981) y Magalhães *et al.* (1991).

De hecho, el *PROÁLCOOL* tuvo énfasis sobre el alcohol anhidro a partir de año 1975 y a partir de 1980 se dirigió hacia la producción de alcohol hidratado. Este Programa contribuyó para la ocurrencia de una gama de modificaciones en la estructura física, económica y política de la agroindustria de la caña brasileña, arrastrando atrás de sí varias innovaciones – "nuevo" producto (como alcohol combustible); modernas técnicas de producción; "nuevo" mercado criado y nuevas composiciones agroindustriales instituidas (destilerías anexas y autónomas); además del "nuevo" motor. Como resultado de ese Programa, la producción de alcohol creció 1.830,7% entre 1975 y 1985, siendo que la producción de vehículos automotores movidos exclusivamente a alcohol ascendió de 33.898 unidades en 1979 para 646.200 unidades en 1985, un crecimiento del orden de 1.806,3% (Shikida & Guilhoto, 1996).

Específicamente sobre el azúcar y el alcohol, existen pocos trabajos que utilizan el instrumental de las matrices insumo-producto. Sin embargo, este método es de gran importancia para situar, en números absolutos y relativos, el desempeño de un determinado sector *vis-à-vis* a los otros, tanto a jusante como a montante, es decir, insumos y comercialización. Se puede dimensionar, entre otros, el impacto que la demanda de un valor extra, en un cierto tipo de producto, puede provocar no sólo en su sector como en toda la economía.

En este contexto, Shikida & Guilhoto (1996) fueron los primeros en trabajar la cuestión de los panoramas evolutivos de las industrias del azúcar y del alcohol utilizando el instrumental insumo-producto (Minas Gerais y Brasil fueron comparados, con base en las matrices de 1980 para esa región y país). Este estudio ha permitido concluir que "*los sectores del azúcar y alcohol, en Minas Gerais, no se encuadran en la categoría de sectores-clave. El sector industrial del azúcar, en Brasil, sería una excepción en este caso. Con todo, los sectores industriales del azúcar y del alcohol, en Minas Gerais y en Brasil, son importantes demandantes de insumos de los demás sectores*" (Shikida & Guilhoto, 1996, p.253). La limitación de este trabajo, aunque haya cotejado dos importantes matrices (Brasil y Minas Gerais), fue la estática temporal, dada por la evaluación de solamente un año (en la época, no obstante, sólo era posible esta construcción, dada la existencia de solamente una matriz – la de 1980 – para Minas Gerais).

Posteriormente, Shikida & Alves (1997), a partir de las matrices insumo-producto del Nordeste para 1980 e 1985, situaron las industrias del azúcar y del alcohol del nordeste brasileño en el escenario regional. Como corolario de este estudio, se puede inferir "*que los sectores industriales del azúcar y alcohol (...) apenas se encuadran en la categoría de sector-clave de la economía en la hipótesis de 'relajación' de ese concepto. Además, tales sectores fueron destaques como demandantes de insumos de otros sectores*" (Shikida & Alves, 1997, p.347).

Otro estudio (y por lo que se sabe ha sido el último) hecho por Shikida (1998b) buscó verificar los sectores industriales del azúcar y alcohol en Brasil en las décadas de los 70 y los 80, a partir de las matrices insumo-producto en Brasil de 1975, 1980 y 1985. Los resultados de esta investigación, como en las anteriores, han señalado que la industria del azúcar y alcohol, en este orden, apenas se encuadran en la categoría de sector-clave de la economía en la hipótesis de "relajación" de ese concepto. Asimismo, esos sectores fueron otra vez apuntados como demandantes de insumos. Hubo, en ese estudio, avances en términos de un análisis evolutivo, dado mediante los tres años estudiados.

Con todo, un análisis que avance hacia períodos posteriores a 1985 se hace necesario, consideradas las vicisitudes ocurridas en la agroindustria de la caña, con destaque para el panorama de desregulamentación sectorial, mejora de la economía azucarera y crisis del *PROÁLCOOL*. Siendo así, un estudio que busque evidenciar lo que ocurrió con los sectores industriales del azúcar y alcohol, también en la década de 90, podrá complementar aquellos relatados en esa revisión. Se sabe, según Shikida (2000), que el ímpetu del *PROÁLCOOL* disminuyó en esa década y el precio del azúcar en el mercado internacional mostró un escenario más estable, invirtiendo las posiciones de importancia, donde, en parte de la década del 70 y 80 el alcohol tuvo una importancia mayor que el azúcar. Por otro lado, la crisis del *PROÁLCOOL* está también asociada al arrefecimiento de la intervención estatal en la agroindustria de la caña. Esto, vale decir, en una coyuntura neoliberal del Estado brasileño, afectada por una seria crisis fiscal y financiera, en las que los años de 1992 y 1995 se encajan perfectamente. En este sentido, se justifica un estudio que venga a mostrar el desempeño de los sectores industriales del azúcar y alcohol a partir de la inclusión de algunas matrices de la década del 90, considerados los cambios ora citados.

3 PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

Las informaciones básicas serán extraídas de los datos del IBGE (1987, 1989, 1996), respectivamente para los años de 1975, 1980, 1985, para Brasil, y las matrices elaboradas por Guilhoto (2001), para los años de 1992 y 1995, también para Brasil.

Para la obtención de la matriz inversa de Leontief, serán utilizadas las matrices de producción (a precio básico, en millones de cruzeiros de 1975 y 1985, y a precio aproximadamente básico, en millones de cruzeiros de 1980) e insumo de las actividades y demanda final (a precio básico, en millones de cruzeiros de 1975 y 1985, y a precio aproximadamente básico, en millones de cruzeiros de 1980), agregadas en 19 sectores [lo que, vale citar, se distingue de los trabajos efectuados por Shikida & Guilhoto (1996) – cuya agregación se dio para 22 sectores, Shikida & Alves (1997) – agregadas en 20 sectores, y Shikida (1998b) – agregadas también en 20 sectores], destacando el azúcar y el alcohol por separado.

De acuerdo con Leontief (1951), la matriz insumo-producto es un instrumental que sirve para medir la actividad económica de un país, estado u otra región cualquiera, dado que representa toda la estructura de la economía, cuantificando lo que cada sector vende y compra a otros sectores.

En el caso de una división de la economía en n sectores de producción, se representa por X_i el valor de la producción anual del sector i. Una parte de esa producción es demandada por varios sectores de la economía nacional como medio de producción (demandas intersectoriales). Parte del producto X_i, distribuido en los varios sectores de producción es representado por X_{i1}, X_{i2},... X_{in}, y parte de la producción es destinada directamente al consumo final.

En términos matemáticos, el análisis del insumo-producto es representado por funciones de producción lineares, que retratan las relaciones entre todos los sectores de la economía, como en el ejemplo que sigue:

$$X_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + ... + a_{1n}X_n + Y_1$$
$$X_n = a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + ... + a_{nn}X_n + Y_n$$

donde X_1 representa el producto del *iésimo* sector de la economía; donde a_{ij} representa la cantidad del *iésimo* producto usado en la producción de una cantidad del producto j; e Y_1 representa la demanda final del *iésimo* producto. De esta forma, la producción total del *iésimo* sector es subdividida en cantidades usadas en la producción de todos los otros productos, que son consumidos.

Elucidando mejor, en una dada economía, los flujos intersectoriales pueden ser determinados por factores tecnológicos y económicos descriptos por un sistema de ecuaciones simultáneas, así representado:

$$X = AX + Y \qquad (1)$$

donde X es un vector (nx1) con el valor de la producción total por sector, Y es un vector (nx1) con los valores de la demanda final sectorial, y A es una matriz (nxn) con los coeficientes técnicos de producción (Leontief, 1951). En este modelo, el vector de demanda final es generalmente tratado como exógeno al sistema, siendo el vector de producción total determinado únicamente por el vector de demanda final:

$$X = BY \qquad (2)$$

$$B = (I - A)^{-1} \qquad (3)$$

donde B es una matriz (nxn) conteniendo la matriz inversa de Leontief.

Los coeficientes de la matriz inversa de Leontief captan los efectos directos e indirectos de modificaciones exógenas a la demanda final sobre el nivel de producción de los sectores; siendo que cada coeficiente de esta matriz retracta el aumento de producción del sector en la línea necesario para atender a un aumento de una unidad monetaria en la demanda final del sector indicado en la columna (IBGE, 1987).

No obstante, a partir de la expresión (2) se puede evaluar el impacto de diferentes estrategias sectoriales como, por ejemplo, cuál será el efecto que un determinado estímulo en la demanda final tendrá sobre la producción total. Este procedimiento es así expresado:

$$\Delta X = B\Delta Y \qquad (4)$$

donde ΔY es un vector (nx1) que muestra la estrategia sectorial es ΔX es un vector (nx1) que muestra el impacto de la estrategia sectorial sobre el nivel de producción total.

El índice de relación hacia atrás (ILT), que denota cuánto un sector demanda de los otros sectores, y el índice de relación hacia adelante (ILF), que denota cuánto un sector es demandado por los otros sectores, pueden ser obtenidos a partir del modelo descrito anteriormente (Rasmussen, 1956; Hirschman, 1958). Con esto, es posible determinar los sectores que tendrán mayor poder de encadenamiento dentro de la economía, donde aquellos con valores superiores a 1 - tanto del índice de relación hacia atrás como hacia adelante - indicarán sectores superiores al promedio, siendo, de esta forma, considerados sectores-clave para el crecimiento de la economía (McGilvray, 1977).

De este modo, a partir de la ecuación (3), se define b_{ij} como siendo un elemento de la matriz inversa de Leontief B; B^* como siendo el promedio de todos los elementos de B; y B_{*j}, B_{i*} como siendo respectivamente la suma de una columna y de una línea típica de B, se encuentra entonces que los índices serán:

ILT: $U_j = \left[B_{*j} / n\right] / B^*$ (5) ILF: $U_i = \left[B_{i*} / n\right] / B^*$ (6)

El índice de dispersión (Bulmer-Thomas, 1982) complementa los índices de relaciones hacia atrás y hacia adelante en la medida en que posibilita interpretar cómo un impacto sectorial se distribuye para los otros sectores, en el caso del índice de relación hacia atrás; y cuánto un dado sector es demandado por los otros, en el caso del índice de relación hacia adelante. La ocurrencia de un bajo valor para una determinada dispersión del índice de relación hacia atrás implica en decir que el impacto de una variación de la producción en el sector estimula a los otros sectores de modo uniforme. Al contrario, es decir, considerándose un valor alto, el estímulo se concentrará en pocos sectores. Para el caso de una determinada dispersión del índice de relación hacia adelante, un valor alto de dispersión significa que la demanda por ese sector se concentrará en unos pocos sectores, mientras que un valor bajo significa que ese sector es demandado de manera uniforme.

Las dispersiones de los índices de relaciones hacia atrás y hacia adelante son determinados, respectivamente, a través de las siguientes expresiones:

$$V_j = \frac{\sqrt{\dfrac{\sum_i^n (b_{ij} - \frac{B_{*j}}{n})^2}{(n-1)}}}{\dfrac{B_{*j}}{n}} \quad (7) \qquad V_i = \frac{\sqrt{\dfrac{\sum_j^n (b_{ij} - \frac{B_{i*}}{n})^2}{(n-1)}}}{\dfrac{B_{i*}}{n}} \quad (8)$$

Los principales elementos de relación dentro de la economía, es decir, cuáles son los coeficientes que, si alterados, tendrán un mayor impacto en el sistema como un todo, no son retratados a través de los índices de relaciones mencionados. El concepto de campo de influencia (Sonis & Hewings; 1989 y 1995), complementariamente a los índices de relaciones, permite determinar cuáles son las relaciones entre los sectores más importantes dentro del proceso productivo en estudio.

El procedimiento para el cálculo del campo de influencia requiere la matriz de coeficientes directos $A = \left|a_{ij}\right|$ y es necesario definir la matriz de variaciones aumentativas en los coeficientes directos de insumo $E = \left|\varepsilon_{ij}\right|$. Las correspondientes matrices inversas de Leontief son dadas por $B = \left[I - A\right]^{-1} = \left|b_{ij}\right|$ y por $\beta(\varepsilon) = \left[I - A - \varepsilon\right]^{-1}$. Según Sonis & Hewings (1989 y 1995), caso la variación sea pequeña y sólo ocurra en un coeficiente directo, es decir:

$$\varepsilon_{ij} = \begin{cases} \varepsilon & i = i_1, \quad j = j_1 \\ 0 & i \neq i_1, ou \quad j \neq j_1 \end{cases} \quad (9)$$

se tiene que el campo de influencia de esta variación puede ser aproximado por la expresión:

$$F\left(\varepsilon_{ij}\right) = \frac{\left[B\left(\varepsilon_{ij}\right) - B\right]}{\varepsilon_{ij}} \qquad (10)$$

donde $F(\varepsilon_{ij})$ es una matriz (nxn) del campo de influencia del coeficiente a_{ij}.

De modo que para determinarse cuáles serían los coeficientes que poseen el mayor campo de influencia, es necesario asociarse a cada matriz $F(\varepsilon_{ij})$ un valor; de esta forma, se tiene que este valor es dado por:

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n}\left[f_{kl}\left(\varepsilon_{ij}\right)\right]^2 \qquad (11)$$

donde S_{ij} es el valor asociado a la matriz $F(\varepsilon_{ij})$, por lo tanto los coeficientes directos que posean los mayores valores de S_{ij} serán aquellos con el mayor campo de influencia dentro de la economía como un todo.

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

La matriz de los coeficientes técnicos intersectoriales retrata el impacto (demanda), en función, por ejemplo, del aumento de una unidad monetaria en la producción, que cada sector indicado en las columnas ejerce sobre sí mismo y sobre los demás sectores productivos indicados en las líneas (IBGE, 1987). La Tabla 1 presenta los coeficientes técnicos del sector alcohol y del sector industrial del azúcar para Brasil en 1975, 1980, 1985, 1992 y 1995. Se observa que la demanda directa que el sector alcohol ejerció fue mayor en el sector 1 (agricultura) y en el sector 13 (industria del azúcar), esto para los cuatro últimos años analizados. Para 1975 ocurrió lo contrario, o sea, la demanda directa que el sector alcohol ejerció fue mayor en el sector 13 y 1, respectivamente. Cabe destacar otros sectores con valores relativamente significativos para los coeficientes técnicos intersectoriales del alcohol. Son ellos: sector 10 (química), sector 18 (transporte y margen de comercio) y 5 (mecánica). Para el sector industrial del azúcar, los mayores coeficientes técnicos intersectoriales ocurrieron en el sector 1 (agricultura) y en la propia industria del azúcar. Otros valores relativamente significativos para este caso fueron encontrados en el sector 18 (transporte y margen de comercio), sector 5 (mecánica) y sector 12 (textil, otros artículos). Por lo tanto, el impacto provocado por el aumento de una unidad monetaria en la producción del alcohol y azúcar fue sentido con mayor intensidad en la agricultura – con tendencia creciente para el alcohol (hasta 1985) y decreciente para el azúcar (0,5529 en 1975 a 0,3199 en 1995) – y en el propio sector azucarero – con tendencia decreciente para el alcohol (hasta 1985) y con oscilaciones en el azúcar. Esto equivale a decir que el alcohol puede afectar intersectorialmente al azúcar, pero lo contrario ocurrió de manera casi inexpresiva (véanse coeficientes técnicos para el azúcar referentes al sector alcoholero).

Tabla 1 - Matriz de los Coeficientes Técnicos Intersectoriales (Matriz A) para Brasil en 1975, 1980, 1985, 1992 y 1995

Sectores	Coeficientes Técnicos Intersectoriales para el Alcohol					Coeficientes Técnicos Intersectoriales para el Azúcar				
	1975	1980	1985	1992	1995	1975	1980	1985	1992	1995
1 Agricultura	0.0685	0.3356	0.4532	0.3894	0.3965	0.5529	0.3695	0.3645	0.3446	0.3199
2 Minería	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	-0.0001	0.0001	0.0002	0.0010	0.0004	0.0000
3 Minerales no Metálicos	0.0003	0.0009	0.0000	0.0002	0.0010	0.0025	0.0032	0.0024	0.0004	0.0037
4 Siderurgia y Metalurgia	0.0049	0.0017	0.0005	0.0060	0.0061	0.0029	0.0028	0.0089	0.0095	0.0109
5 Mecánica	0.0280	0.0196	0.0237	0.0244	0.0213	0.0264	0.0324	0.0449	0.0465	0.0519
6 Material Eléctrico	0.0034	0.0009	0.0003	0.0013	0.0015	0.0031	0.0011	0.0022	0.0022	0.0033
7 Material de Transporte	0.0011	0.0012	0.0002	0.0012	0.0007	0.0006	0.0015	0.0016	0.0019	0.0015
8 Maderero, Inmob. Celulosa, Editorial y Gráfico	0.0052	0.0012	0.0001	0.0020	0.0017	0.0099	0.0079	0.0103	0.0106	0.0119

9 Alcohol	**0.0260**	**0.0199**	**0.0004**	**0.0047**	**0.0036**	**0.0001**	**0.0010**	**0.0011**	**0.0009**	**0.0010**
10 Química	0.0425	0.0144	0.0343	0.0388	0.0284	0.0197	0.0218	0.0291	0.0299	0.0300
11 Plástico	0.0024	0.0003	0.0001	0.0003	0.0000	0.0013	0.0021	0.0025	0.0027	0.0029
12 Textil, Otros Artículos*	0.0029	0.0013	0.0005	0.0010	0.0003	0.0311	0.0388	0.0350	0.0316	0.0375
13 Industria del Azúcar	**0.2529**	**0.1587**	**0.0717**	**0.0694**	**0.0712**	**0.1535**	**0.1424**	**0.1749**	**0.1650**	**0.1726**
14 Otros Alim.,Tab.y Bebidas	0.0504	0.0096	0.0059	0.0083	0.0020	0.0039	0.0008	0.0009	0.0010	0.0006
15 Diversos	0.0204	0.0150	0.0000	0.0061	-0.0045	0.0192	0.0172	0.0086	0.0125	0.0017
16 Energía, Agua, Sanea-miento y Comunicación	0.0210	0.0106	0.0107	0.0472	0.0206	0.0120	0.0102	0.0140	0.0326	0.0212
17 Construcción Civil	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0027	0.0000	0.0000	0.0040	0.0037	0.0055
18 Transporte y Margen de Comercio	0.0325	0.0169	0.0187	0.0281	0.0256	0.0482	0.0269	0.0525	0.0524	0.0575
19 Servicios	0.0002	0.0095	0.0002	0.0123	0.0216	0.0005	0.0170	0.0240	0.0254	0.0357

Fuente: datos de la investigación

* otros artículos incluyen vestimentas en general, cueros y calzados

Los multiplicadores de Leontief (o sea, la suma de las columnas de la matriz inversa de Leontief) son expuestos en la Tabla 2. Con esos multiplicadores se puede verificar el efecto de variaciones en la demanda final sobre el nivel de producción total (en cada uno de los sectores). Según datos observados en esa Tabla, en el caso del alcohol para el año de 1975, el aumento de 1a unidad monetaria en la demanda final sobre su producción, por ejemplo, implicaría en un aumento total en la producción de la economía de 2,1717 unidades monetarias. En esa misma línea, en 1980, 1985, 1992 y 1995, el aumento total en la producción de la economía sería de 2,1873, 2,1395, 2,2116 y 2,0396 unidades monetarias, respectivamente. Para el azúcar, en esa misma delimitación temporal, el aumento de 1a unidad monetaria en la demanda final sobre su producción implicaría un aumento total en la producción de la economía de 2,5071, 2,3278, 2,5340, 2,5282 y 2,4282 unidades monetarias, respectivamente. Luego, el efecto de una variación en la demanda final sobre el nivel de producción total fue mayor para el caso del azúcar *vis-à-vis* el alcohol – vale recordar que la industria alcoholera surgió a partir de la agroindustria azucarera, de ahí el mayor peso de esta última.

Tabla 2 - Multiplicadores de Leontief para Brasil en 1975, 1980, 1985, 1992 y 1995

Sectores	Multiplicadores de Leontief 1975	Multiplicadores de Leontief 1980	Multiplicadores de Leontief 1985	Multiplicadores de Leontief 1992	Multiplicadores de Leontief 1995
1 Agricultura	1.4662	1.7206	1.7008	1.7936	1.6117
2 Minería	1.6537	1.5148	1.5827	1.8558	1.9725
3 Minerales no Metálicos	1.5863	1.7770	2.1537	1.8225	1.9086
4 Siderurgia y Metalurgia	2.0098	2.4853	2.5233	2.4265	2.3145
5 Mecánica	1.8554	2.0625	2.0923	1.8869	1.7645
6 Material Eléctrico	1.7575	1.9769	2.0580	2.0360	1.9092
7 Material de Transporte	2.3426	2.4103	2.4693	2.3743	2.1895
8 Mad, Mob, Pap, Edit y Gráf.	1.7708	1.9880	2.0999	2.2548	2.0682
9 Alcohol	**2.1717**	**2.1873**	**2.1395**	**2.2116**	**2.0396**
10 Química	1.6682	1.8082	1.9862	1.9855	1.8950
11 Plástico	1.8055	1.9966	2.1528	2.0838	1.9394
12 Textil, Otros Artículos*	2.2070	2.2868	2.2775	2.3190	2.1986
13 Industria del Azúcar	**2.5071**	**2.3278**	**2.5340**	**2.5282**	**2.4282**
14 Otros Alim., Tabaco y Bebidas	2.1638	2.4299	2.4612	2.3979	2.3280
15 Diversos	2.0377	1.9787	1.8713	1.9738	1.9131
16 Energético, Água, San. y Com.	1.2817	1.6947	1.7482	1.6442	1.5798
17 Construcción Civil	1.9263	2.0606	2.0435	1.8131	1.6136
18 Transp. y Margen de Comercio	1.2612	1.6245	1.6406	1.6583	1.5954
19 Servicios	1.2611	1.6228	1.4704	1.3235	1.3934

Fuente: datos de la investigación

La inclusión de dos años más en el presente estudio, 1992 y 1995, permite revelar, en términos de multiplicadores sectoriales, que el efecto de variaciones en la demanda final sobre el nivel de producción total, en el caso del Azúcar, fue mayor en los dos últimos años analizados (1992 y 1995, con un promedio de 2,4782 unidades monetarias), en comparación con los dos primeros años (1975 y 1980, con un promedio de 2,4175 unidades monetarias). Al contrario, para el caso del Alcohol, en los dos

últimos años analizados (1992 y 1995), el promedio fue de 2,1256 unidades monetarias, menor que el promedio de los dos primeros años (1975 y 1980), cuyo valor fue de 2,1795 unidades monetarias. Estos resultados son consistentes con lo que ha estado ocurriendo en el sector, o sea, el desempeño actual de la agroindustria de la caña ha sido afectado por el comportamiento favorable del mercado azucarero y desfavorable en términos de mercado alcoholero. Sin embargo, en 1975 y 1980, el escenario era de definición del alcohol combustible en el contexto de la matriz energética del país y de crisis de la economía azucarera.

Las Tablas 3a y 3b presentan los índices de relaciones hacia atrás y hacia adelante propuestos (Rasmussen/Hirschman). Los índices de relaciones hacia atrás retratan la importancia de los diferentes sectores como demandantes de insumos de los demás sectores de la economía. Para los cinco años aquí enfatizados, el alcohol presentó valores de los índices de relaciones hacia atrás que posibilitaron el ajuste de ese sector, respectivamente, en la 4ª, 6ª, 8ª y 7ª posiciones (que se repite en 1992 y 1995); este hecho denota una cierta importancia de ese sector (como demandante de insumos) dentro de la economía brasileña. Hubo, en ese cuadro coyuntural, una mayor posición relativa verificada en términos de demanda de insumos de otros sectores de la economía referente a 1975 (año del inicio del *PROÁLCOOL*) en comparación con 1980, y de este año en comparación con 1985; después ocurre un descenso de posición. Análogamente, las posiciones relativas del azúcar correspondieron a la 1ª, 4ª y 1ª (1985, 1992 y 1995) posiciones, respectivamente. En este contexto, el azúcar fue más dependiente de insumos del resto de la economía que el alcohol. Vale destacar que las unidades productoras de la agroindustria de la caña son las usinas (produciendo azúcar), usinas con destilerías anexas (produciendo azúcar y alcohol) y destilerías autónomas (produciendo alcohol), siendo la segunda denominación más expresiva en términos de número de establecimientos y producción.

Tabla 3a - Índices de Relaciones de Rasmussen/Hirschman para Brasil en 1975, 1980, 1985, 1992 y 1995

Sectores	Índices de Relaciones hacia atrás					Índices de Relaciones hacia delante				
	1975	1980	1985	1992	1995	1975	1980	1985	1992	1995
1 Agricultura	0.802	0.861	0.829	0.888	0.835	1.787	1.627	1.596	1.516	1.633
2 Minería	0.905	0.758	0.771	0.919	1.022	0.638	0.606	0.941	0.613	0.679
3 Minerales no Metálicos	0.868	0.890	1.049	0.902	0.989	0.833	0.885	0.779	0.696	0.918
4 Siderurgia y Metalurgia	1.099	1.244	1.229	1.201	1.199	1.934	1.981	1.907	1.736	1.711
5 Mecánica	1.015	1.033	1.019	0.934	0.914	0.847	0.914	0.939	0.981	0.861
6 Material Eléctrico	0.961	0.990	1.003	1.008	0.989	0.831	0.705	0.700	0.701	0.678
7 Material de Transporte	1.282	1.207	1.203	1.175	1.135	0.886	0.773	0.771	0.739	0.741
8 Mad, Mob, Pap, Edi, Gráf	0.969	0.995	1.023	1.116	1.072	0.960	0.920	0.900	0.884	0.908
9 Alcohol	**1.188**	**1.095**	**1.042**	**1.095**	**1.057**	**0.568**	**0.538**	**0.531**	**0.537**	**0.548**
10 Química	0.913	0.905	0.968	0.983	0.982	1.887	2.048	2.209	2.279	2.060
11 Plástico	0.988	0.999	1.049	1.031	1.005	0.687	0.663	0.634	0.650	0.672
12 Textil, Otros Artículos*	1.207	1.145	1.109	1.148	1.139	1.119	0.990	0.925	0.885	0.917
13 Industria del Azúcar	**1.371**	**1.165**	**1.234**	**1.251**	**1.258**	**0.836**	**0.702**	**0.654**	**0.656**	**0.687**
14 Otros Alim., Tab y Beb.	1.184	1.216	1.199	1.187	1.207	0.802	0.817	0.751	0.797	0.798
15 Diversos	1.115	0.991	0.912	0.977	0.992	0.725	0.674	0.605	0.874	0.599
16 Ener., Ág., San. Y Com.	0.701	0.848	0.852	0.814	0.819	0.743	0.842	0.945	1.168	1.042
17 Construcción Civil	1.054	1.032	0.995	0.897	0.836	0.550	0.579	0.568	0.565	0.594
18 Transp. y Marg.de Com.	0.690	0.813	0.799	0.821	0.827	1.670	1.289	1.459	1.425	1.458
19 Servicios	0.690	0.812	0.716	0.655	0.722	0.698	1.445	1.189	1.300	1.496

Fuente: datos de la investigación

Tabla 3b – Orden de los Índices de Relaciones de Rasmussen/Hirschman para Brasil en 1975, 1980, 1985, 1992 y 1995

Sectores	Orden de los Índices de Relaciones hacia atrás					Orden de los Índices de Relaciones hacia adelante				
	1975	1980	1985	1992	1995	1975	1980	1985	1992	1995
1 Agricultura	16	15	16	16	16	3	3	3	3	3
2 Minería	14	19	18	13	8	17	17	7	17	14
3 Minerales no Metálicos	15	14	7	14	12	10	9	11	14	7
4 Siderurgia y Metalurgia	7	1	2	2	3	1	2	2	2	2
5 Mecánica	9	7	10	12	14	8	8	8	7	10
6 Material Eléctrico	12	12	11	9	11	11	13	14	13	15
7 Material de Transporte	2	3	3	4	5	7	12	12	12	12
8 Mad, Mob, Pap, Edi, Gráf	11	10	9	6	6	6	7	10	9	9
9 Alcohol	**4**	**6**	**8**	**7**	**7**	**18**	**19**	**19**	**19**	**19**

10 Química	13	13	13	10	13	2	1	1	1	1
11 Plástico	10	9	7	8	9	16	16	16	16	16
12 Textil, Otros Artículos*	3	5	5	5	4	5	6	9	8	8
13 Industria del Azúcar	**1**	**4**	**1**	**1**	**1**	**9**	**14**	**15**	**15**	**13**
14 Otros.Alim., Tab. y Beb.	5	2	4	3	2	12	11	13	11	11
15 Diversos	6	11	14	11	10	14	15	17	10	17
16 Ener., Ág., San. y Com.	17	16	15	18	18	13	10	6	6	6
17 Construcción Civil	8	8	12	15	15	19	18	18	18	18
18Transp. y Marg. de Com.	18	17	17	17	17	4	5	4	4	5
19 Servicios	18	18	19	19	19	15	4	5	5	4

Fuente: datos de la investigación

Los índices de relaciones hacia adelante revelaron otro aspecto de los segmentos productivos en estudio. Es decir, el alcohol y el azúcar, en ese orden, con valores menores que 1, fueron relativamente poco demandados por los demás sectores. Asimismo, de entre los sectores cuyas producciones fueron altamente utilizadas por los otros se destacaron: sector 10 (química), 4 (siderurgia y metalurgia), 1 (agricultura) y 18 (transporte y margen de comercio).

Para efecto de comparación con trabajos anteriores, en lo que se refiere a los índices de relaciones hacia atrás y hacia adelante (Rasmussen/Hirschman), se observa que los resultados de las matrices de 1992 y 1995 (Guilhoto, 2001) prácticamente mantienen la misma consistencia con los resultados de las matrices de IBGE (1987, 1989, 1996), considerando sus respectivos órdenes (véase Tabla 3b).

En cuanto a la dispersión de los índices de relaciones hacia atrás y hacia adelante, conforme observado en las Tablas 4a y 4b, el azúcar y el alcohol presentaron valores bajos de dispersión para el caso de los índices de relaciones hacia atrás. Entonces, un impacto de una variación de producción en estos sectores estimularía a los demás de manera uniforme.

Tabla 4a - Dispersión de los Índices de Relaciones hacia atrás y hacia adelante para Brasil en 1975, 1980, 1985, 1992 y 1995

Sectores	Dispersión dos Índices de Relaciones hacia atrás					Dispersión dos Índices de Relaciones hacia adelante				
	1975	1980	1985	1992	1995	1975	1980	1985	1992	1995
1 Agricultura	3.430	3.021	3.034	2.909	3.217	1.824	1.850	1.853	1.924	1.865
2 Minería	2.899	3.035	2.835	2.476	2.400	4.166	3.843	2.290	3.752	3.645
3 Minerales no Metálicos	3.153	2.929	2.488	2.374	2.719	3.296	2.941	3.382	3.083	2.923
4 Siderurgia y Metalurgia	3.338	3.117	3.043	2.950	3.072	1.913	1.973	1.963	2.030	2.146
5 Mecánica	2.652	2.544	2.449	2.567	2.601	3.072	2.734	2.533	2.349	2.669
6 Material Eléctrico	2.941	2.602	2.491	2.473	2.542	3.372	3.648	3.562	3.561	3.726
7 Material de Transporte	2.664	2.470	2.409	2.393	2.532	3.777	3.787	3.711	3.783	3.862
8 Mad, Mob, Pap, Edi, Gráf	3.119	2.833	2.627	2.472	2.625	3.132	3.057	2.977	3.121	3.088
9 Alcohol	**2.099**	**2.160**	**2.247**	**2.106**	**2.295**	**4.308**	**4.130**	**3.989**	**4.034**	**4.135**
10 Química	3.236	3.165	2.964	3.055	3.115	1.486	1.329	1.242	1.254	1.423
11 Plástico	2.635	2.473	2.338	2.380	2.512	3.674	3.499	3.518	3.488	3.529
12 Textil, Otros Artículos*	3.123	3.024	2.945	2.817	2.971	3.363	3.503	3.548	3.678	3.718
13 Industria del Azúcar	**2.333**	**2.280**	**2.162**	**2.124**	**2.216**	**3.431**	**3.637**	**3.928**	**3.931**	**3.964**
14 Otros Alim., Tab. y Beb.	2.529	2.368	2.286	2.312	2.409	3.526	3.275	3.413	3.308	3.447
15 Diversos	2.174	2.235	2.319	2.478	2.359	3.325	3.279	3.540	2.759	3.972
16 Ener., Ág., San. y Com.	3.602	3.138	3.218	3.084	3.657	3.379	3.138	2.865	2.066	2.821
17 Construcción Civil	2.256	2.195	2.215	2.449	2.759	4.335	3.966	3.947	3.962	3.938
18 Transp. y Mar. de Com.	3.579	2.932	2.892	2.838	2.974	1.359	1.734	1.459	1.510	1.566
19 Servicios	3.592	3.169	3.259	3.554	3.527	3.555	1.679	1.872	1.688	1.593

Fuente: datos de la investigación

Tabla 4b – Orden de la Dispersión de los Índices de Relaciones hacia atrás y hacia adelante para Brasil en 1975, 1980, 1985, 1992 y 1995

Sectores	Orden da Dispersión de los Índices de Relaciones hacia atrás					Orden da Dispersión de los Índices de Relaciones hacia adelante				
	1975	1980	1985	1992	1995	1975	1980	1985	1992	1995
1 Agricultura	4	7	4	5	3	17	16	17	16	16
2 Minería	11	5	8	10	16	3	3	14	5	8
3 Minerales no Metálicos	7	9	11	16	9	13	13	10	11	12

4 Siderurgia y Metalurgia	5	4	3	4	5	16	15	15	15	15
5 Mecánica	13	12	12	8	11	15	14	13	13	14
6 Material Eléctrico	10	11	10	11	12	10	5	5	7	6
7 Material de Transporte	12	14	13	14	13	4	4	4	4	5
8 Mad, Mob, Pap, Edi, Gráf	9	10	9	12	10	14	12	11	10	11
9 Alcohol	**19**	**19**	**17**	**19**	**18**	**2**	**1**	**1**	**1**	**1**
10 Química	6	2	5	3	4	18	19	19	19	19
11 Plástico	14	13	14	15	14	5	8	8	8	9
12 Textil, Otros Artículos*	8	6	6	7	7	11	7	6	6	7
13 Industria del Azúcar	**16**	**16**	**19**	**18**	**19**	**8**	**6**	**3**	**3**	**3**
14 Otros Alim., Tab. y Beb.	15	15	16	17	15	7	10	9	9	10
15 Diversos	18	17	15	9	17	12	9	7	12	2
16 Ener., Ág., San. y Com.	1	3	2	2	1	9	11	12	14	13
17 Construcción Civil	17	18	18	13	8	1	2	2	2	4
18 Transp. y Mar. de Com.	3	8	7	6	6	19	17	18	18	18
19 Servicios	2	1	1	1	2	6	18	16	17	17

Fuente: datos de la investigación

Con respecto a los coeficientes de dispersión de los índices de relaciones hacia adelante, se observó que el alcohol presentó valores elevados de dispersión, significando que la demanda por este sector se concentró en pocas áreas. Ya el azúcar se encuadró en posiciones intermediarias y con tendencia creciente, respectivamente, 8ª, 6ª y 3ª posiciones.

Otra vez se observa que los resultados de las matrices de 1992 y 1995 (Guilhoto, 2001), en lo que se refieren a los coeficientes de los índices de dispersión hacia atrás y hacia adelante, prácticamente mantienen la misma consistencia con los resultados de las matrices del IBGE (1987, 1989, 1996), puestos sus respectivos órdenes (véase Tabla 4b).

Si se considera en este trabajo el sector-clave como aquél que presenta tanto el índice de relación hacia atrás como hacia adelante con valores mayores que 1 (McGilvray, 1977), apenas el sector 4 (siderurgia y metalurgia) sería encuadrado en este aspecto (véase Tabla 3a).

En la hipótesis de "relajación" de ese concepto (Guilhoto & Picerno, 1995), donde se define sector-clave como aquél que presenta un índice de relación hacia atrás o un índice de relación hacia adelante con valores mayores que 1, y donde son seleccionados, en el presente estudio[1], los 9 mayores índices de relaciones hacia adelante y hacia atrás de esa muestra (incluso aquél seleccionado en la restricción anterior). En este caso se observará, evidentemente, una mayor gama de sectores que se colocan en esta clasificación, siendo ellos: sector 10 (química), sector 12 (textil, otros artículos), 1 (agricultura), 18 (transporte y margen de comercio), 14 (otros alimentos, tabaco y bebidas), 7 (material de transporte), 13 (industria del azúcar) y 9 (alcohol) (véase Tabla 3a). De esta forma, solamente en la condición de "relajación", el azúcar y el alcohol, en ese orden, podrían encuadrarse en el perfil de sector-clave.

El concepto de campo de influencia complementa la noción de los índices de relaciones y de sectores-clave, en la medida que permite verificar cuáles serían los coeficientes que si alterados tendrían un mayor impacto en el sistema como un todo. Se observa a través de las Figuras 1, 2, 3, 4 y 5 (en la ordenada y abscisa están dispuestos los 19 sectores estudiados) que las relaciones en la economía brasileña fueron dominadas, básicamente, por los sectores 4 (siderurgia y metalurgia), 12 (textil y otros artículos) y 10 (Química), lo que corrobora algunas aserciones anteriores. Los sectores industriales del azúcar, como alcohol, en este contexto del campo de influencia, no presentaron destaque alguno. No obstante, se constata que el sector alcohol no aparece en ningún momento en la Figura 1, fase del inicio del *PROÁLCOOL* (1975). En 1980 y 1985, el sector alcohol ya aparece interrelacionado con el sector 4 (siderurgia y metalurgia), lo mismo ocurriendo para el sector azúcar. En 1992 y 1995, fase de declinación del *PROÁLCOOL*, el alcohol ya no despunta en ningún momento, según lo expuesto en las Figuras 4 y 5;

[1] No existe un criterio generalmente aceptado para la definición de sectores-clave de la economía, siendo utilizado con más frecuencia el de McGilvray. No obstante, la alternativa de componer los sectores-clave con sectores importantes en términos de proveimiento de insumos y/o venta de productos (Guilhoto & Picerno, 1995), se adecua al análisis más amplio de insumo-producto, por lo tanto se permite incluir en esa definición sectores que a causa de uno u otro valor, a veces mínimo, no se encuadrarían en la hipótesis restricta de McGilvray.

la única interrelación existente en el caso de los sectores enfatizados fue para el azúcar, interrelacionado con la siderurgia y metalurgia (sector 4) y química (sector 10).

Figura 1 - Campo de Influencia, 1975

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1																			
2																			
3																			
4	O			O			O	O		O		O							
5				O															
6				O															
7	O			O			O			O		O							
8				O								O							
9																			
10				O								O							
11																			
12	O			O			O	O		O		O							
13	O			O			O					O							
14	O			O								O							
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			

Fuente: datos de la investigación

Figura 2 - Campo de Influencia, 1980

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1				O															
2																			
3				O															
4	O		O	O			O	O		O		O		O		O			O
5				O															
6				O															
7				O								O							
8				O															
9				O															
10				O															
11				O															
12	O			O						O		O							
13				O															
14				O								O							
15																			
16				O															
17																			
18				O															
19				O															

Fuente: datos de la investigación

Figura 3 - Campo de Influencia, 1985

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1				O															
2																			
3				O															
4	O		O	O			O	O		O		O		O		O			
5				O															
6				O															
7	O			O						O		O							
8				O															
9				O															
10				O						O									
11				O															
12	O			O						O		O							
13				O															
14				O						O									
15																			
16				O															
17																			
18																			
19																			

Fuente: datos de la investigación

Figura 4 - Campo de Influencia, 1992

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1				O															
2																			
3																			
4	O			O			O	O		O		O		O					
5				O															
6				O															
7				O						O		O							
8				O						O									
9																			
10	O			O						O		O							
11				O															
12	O			O						O		O							
13				O						O									
14				O						O									
15				O															
16				O															
17																			
18																			
19																			

Fuente: datos de la investigación

Figura 5 - Campo de Influencia, 1995

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1				O															
2																			
3				O															
4	O			O			O	O		O		O		O		O			
5																			
6																			
7				O						O									
8				O															
9																			
10	O			O						O		O							
11				O															
12	O			O						O		O				O			
13				O						O									
14				O						O		O							
15																			
16				O						O									
17																			
18																			
19																			

Fuente: datos de la investigación

En lo que se relaciona a las estrategias sectoriales, se definen en este trabajo dos tipos de impacto: uno de 1.000 unidades monetarias (en la época del año en cuestión) sobre el volumen de la producción del sector alcohol - siendo que en los demás sectores nada fue invertido; y otro, también de 1.000 unidades monetarias (en la época del año en cuestión) sobre el volumen de la producción del sector industria del azúcar - siendo que en los demás sectores nada fue invertido.

En caso del azúcar, al compararse los resultados con relación a cuánto alteró la producción total (por unidad monetaria), en consecuencia de la estrategia mencionada, se observó que las mayores respuestas ocurrieron en el propio sector donde se verificó el impacto, como era de esperarse (Tabla 5). Sin embargo, otros sectores también sufrieron relativos impactos, como en el caso de los sectores 1 (agricultura), 10 (química) y 18 (transporte y margen de comercio), donde las variaciones fueron más significativas. En lo que concierne al alcohol, ocurrió lo mismo que con el azúcar, o sea, las mayores respuestas ocurrieron en el propio sector donde se verificó el impacto. En este caso, los otros sectores que respondieron con variaciones significativas frente a esta estrategia, fueron: el sector 1 (agricultura), 13 (industria del azúcar) y 10 (química).

Tabla 5 - Variaciones en la Demanda Final de las Estrategias Sectoriales para Brasil en 1975, 1980, 1985, 1992 y 1995

Sectores	Impactos para el caso del Azúcar (aumento de 1.000 unidades monetarias en este sector)					Impactos para el caso del Alcohol (aumento de 1.000 unidades monetarias en este sector)				
	1975	1980	1985	1992	1995	1975	1980	1985	1992	1995
1 Agricultura	769,5	526,8	537,0	506,7	475,2	314,1	504,7	584,4	514,0	515,5
2 Minería	0,7	2,0	3,0	5,4	4,2	0,9	1,6	24,9	4,2	3,0
3 Minerales no Metálicos	8,8	14,0	9,0	16,5	19,3	6,2	9,8	4,0	15,1	12,3
4 Siderurgia y Metalurgia	33,3	41,1	62,0	56,0	55,2	39,8	31,2	26,0	36,3	28,8
5 Mecánica	39,9	52,4	75,0	76,3	74,2	45,6	37,0	40,0	44,0	33,0

6 Material Eléctrico	9,2	5,1	9,0	9,5	8,8	10,7	4,1	4,0	7,0	4,4
7 Material de Transporte	6,8	7,4	10,0	9,2	8,1	6,9	5,8	5,0	6,1	4,3
8 Mad, Mob, Pap, Edi, Gráf	23,1	21,8	28,0	28,0	28,9	18,3	11,3	9,0	12,4	10,1
9 Alcohol	**0,6**	**2,9**	**5,0**	**4,4**	**3,4**	**1.027,1**	**1.021,9**	**1.003,0**	**1007,1**	**1.005,0**
10 Química	147,9	146,3	180,0	187,6	144,5	123,4	121,3	163,0	175,1	119,5
11 Plástico	5,2	8,3	10,0	10,2	9,7	6,3	4,9	4,0	5,4	3,8
12 Textil, Otros Artículos*	67,7	79,8	74,0	63,9	73,5	28,1	20,1	11,0	11,1	9,0
13 Industria del Azúcar	**1.182,4**	**1.167,5**	**1.213,0**	**1.198,9**	**1.209,6**	**308,1**	**190,1**	**88,0**	**84,7**	**87,1**
14 Otros Alim., Tab. y Beb.	33,3	46,2	31,0	38,5	29,6	74,8	53,6	37,0	45,5	30,5
15 Diversos	26,8	25,6	16,0	30,8	4,5	30,7	22,7	4,0	19,3	-3,1
16 Ener., Ág., San. y Com.	19,8	24,0	38,0	74,1	4,9	30,8	22,9	25,0	79,6	39,6
17 Construcción Civil	0	2,5	8,0	7,1	9,5	0	2,0	2,0	4,4	4,9
18 Transp. y Mar. de Com.	116,0	82,1	128,4	126,6	124,9	90,9	66,2	74,0	86,1	71,9
19 Servicios	16,0	72,0	72,0	78,6	96,1	9,0	56,2	32,0	54,1	60,0

Fuente: datos de la investigación

Por lo tanto, la inclusión de dos años más (1992 y 1995) en este estudio, reveló que las variaciones en la demanda final, en el caso del impacto de 1.000 unidades monetarias en el Azúcar, fueron mayores en los dos últimos años analizados (promedio de 1.204,25), en comparación con los dos primeros años (promedio de 1.174,95). Al contrario, en el caso del impacto de 1.000 unidades monetarias en el Alcohol, las variaciones en la demanda final en este sector, en los últimos años, presentó valor promedio de 1.006,05, para los dos primeros años este valor promedio fue de 1.024,5. Esta constatación nuevamente refuerza lo que ha estado ocurriendo en esas actividades, es decir, los sectores analizados pasan por un comportamiento favorable del mercado azucarero y desfavorable en términos de mercado alcoholero; en 1975 y 1980 el escenario era de definición del alcohol combustible en el contexto de la matriz energética del país y de crisis de la economía azucarera.

CONSIDERACIONES FINALES

Como corolario, se verificó que tanto el azúcar como el alcohol presentan baja contribución en los demás sectores de la economía. Tales sectores, en la hipótesis de "relajación" del concepto de McGilvray, consiguieron encuadrarse en la categoría de sector-clave. No obstante, por el enfoque del campo de influencia se corroboró no sólo el hecho de que los sectores estudiados no presentasen destaque (según esta metodología), como también la importancia de los sectores 4 (siderurgia y metalurgia), 12 (textil, otros artículos) y 10 (química) dentro de la estructura insumo-producto de la economía brasileña. Además, los índices de relaciones hacia atrás revelaron destaques del azúcar y el alcohol como segmentos demandantes de insumos. Este hecho ya no se verificó para el proveimiento de insumos a los demás sectores de la economía, teniendo en cuenta que los coeficientes de los índices de relaciones hacia adelante de esos sectores sean relativamente bajos, lo que atesta algunas aserciones realizadas por estudios anteriores.

Como *insight* de este estudio, se plantea que la inclusión de dos años más, 1992 y 1995 - lo que actualiza los trabajos hasta entonces efectuados para el sector - permite revelar, generalmente en términos de multiplicadores sectoriales y de efecto de variaciones en la demanda final sobre el nivel de producción total, la consistencia de los resultados obtenidos con lo que viene ocurriendo en este sector, o sea, el desempeño actual de la agroindustria de la caña ha sido afectado por el comportamiento favorable del mercado azucarero y desfavorable en términos de mercado alcoholero. Entre tanto, en 1975 y 1980 ocurría lo contrario, es decir, había un escenario de pérdida de importancia relativa del mercado azucarero, que pasaba por una coyuntura de crisis (provocada por fuerte competencia con sucedáneos del azúcar y elevación de la oferta mundial), *pari passu* a una fase de estructuración del alcohol combustible mientras componente de la matriz energética de Brasil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLCOOL. Disponível em: <http://www.alcopar.org.br/produtos/alcool.htm>. Acceso en: 01/09/2001.

AÇÚCAR. Disponível em: <http://www.alcopar.org.br/produtos/acucar.htm> Acceso em: 01/09/2001.

BELIK, W. Agroindústria processadora e política econômica. Campinas, 1992. 219p. Tesis de doctorado) – IE/UNICAMP.

BRAY, S. C.; FERREIRA, E. R.; RUAS, D. G. G. *As políticas da agroindústria canavieira e o Proálcool no Brasil*. Marília : UNESP-Marília-Publicações, 2000. 104p.

BULMER-THOMAS, V. *Input-output analysis in developing countries: source, methods and applications.* New York : Wiley, 1982.

BURNQUIST, H. L. Açúcar e álcool: 1996/97. *Preços Agrícolas,* n. 117, p. 6-9, out. 1996.

BURNQUIST, H. L.; BACCHI, M. R. P. Sazonalidade no mercado de açúcar. *Preços agrícolas,* v.10, n.115, p. 6-9, maio 1996.

FERNANDES, E. S. L.; COELHO, S. T., orgs. *Perspectivas do álcool combustível no Brasil.* São Paulo: USP - IEE, 1996. 166p.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) *Matriz de relações intersetoriais Brasil - 1975.* Rio de Janeiro, IBGE, 1987. 565p.

_____. *Matriz de insumo-produto. Brasil, 1980.* Rio de Janeiro, IBGE, 1989. (Série Relatórios Metodológicos, 7.) 203p.

_____. *Matriz de insumo-produto. Brasil, 1985.* Rio de Janeiro, IBGE, 1996. 14p.

GNACCARINI, J. C. Estado, ideologia e ação empresarial na agroindústria açucareira do Estado de São Paulo. São Paulo, 1972. 250p. Tesis (Doctorado) – FFLCH/USP.

GUILHOTO, J. J. M. Matriz insumo-produto – Brasil – 1992 e 1995. São Paulo, 2001. 1 disquete 3¹/²

GUILHOTO, J. J. M.; PICERNO, A. E. Estrutura produtiva, setores-chave e multiplicadores setoriais: Brasil e Uruguai comparados. *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, v.24, n.2, p.287-314, ago. 1994.

HIRSCHMAN, A. O. *The strategy of economic development.* New Haven, Yale University Press, 1958.

LEONTIEF, W. *The structure of the american economy.* 2ed. New york, Oxford University Press, 1951.

LIMA, J. C. de S. A intervenção governamental no setor açucareiro: ênfase à problemática do subsídio de equalização. São Paulo, 1992. 118p. (Tesis de Doctorado) – FEA/USP.

LIMA, J. P. R.; MELO, L. C. P. de Cana-de-açúcar no Nordeste; ostracismo tecnológico, caminhos alternativos e rebatimentos regionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 17., Fortaleza, 1989. *Anais.* Brasília: ANPEC, 1989. p. 1287-1301.

MAGALHÃES, J. P. de A.; KUPERMAN, N.; MACHADO, R. C. *Proálcool: uma avaliação global.* Rio de Janeiro: Astel, 1991. 197p.

McGILVRAY, J. Linkages, key sectors and development strategy. In: LEONTIF, W. (ed.). *Structure, system and economic policy.* Cambridge, University Press, 1977. p.49-56.

MELO, F. H. de; FONSECA, E. G. da *Proálcool, energia e transportes.* São Paulo: FIPE/PIONEIRA, 1981. 163p.

MELO, F. H. de; PELIN, E. R. *As soluções energéticas e a econonomia brasileira.* São Paulo: HUCITEC, 1984. 146p.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. *Input-output analysis: foundations and extensions.* New Jersey: Prentice-Hall, 1985. 464p.

MORAES, M A. F. D. de *A desregulamentação do setor sucroalcooleiro do Brasil*. Americana (SP) : Caminho Editorial, 2000. 238p.

PELIN, E. R. Avaliação econômica do álcool hidratado carburante no curto e médio prazo. São Paulo, 1983. 361p. (Tesis de Doctorado) – FEA/USP.

PESSANHA, L. D. R.; FERNANDES, T.; PROCHNIK, V. Oportunidades de investimentos na cadeia sucroalcooleira do Nordeste. In.: HAGUENAUER, L.; PROCHNIK, V. (Edit.) *Identificações de cadeias produtivas e oportunidades de investimento no Nordeste*, Fortaleza (CE) : Banco do Nordeste, 2000. p.205-287.

PINA, H. *A agroindústria açucareira e sua legislação.* Rio de Janeiro: APEC, 1972. 364p.

PRADO JÚNIOR, C. *História econômica do Brasil*. 26.ed. São Paulo: Brasiliense, 1981. 364p.

QUEDA, O. A intervenção do Estado e a agroindústria açucareira paulista. Piracicaba, 1972. 173p. Tese (Doutorado) – ESALQ/USP.

RAMOS, P. Agroindústria canavieira e propriedade fundiária no Brasil. São Paulo, 1991. 331p. Tesis de Doctorado) – EAE/FGV-SP.

RASMUSSEN, P. N. *Studies in inter-sectoral relations.* Amsterdam, North-Holland, 1956.

RICCI, R., coord. *Mercado de trabalho do setor sucroalcooleiro no Brasil.* Brasília: IPEA, 1994. 176p. (Estudos de Política Agrícola, n.15).

SHIKIDA, P. F. A. *A evolução diferenciada da agroindústria canavieira no Brasil de 1975 a 1995.* Cascavel: Edunioeste, 1998a. 149p.

_____. Um panorama dos setores indústria do açúcar e álcool no Brasil nas décadas de 70 e 80: estruturas comparadas. *Caderno de Administração Rural*, Lavras, v.10, n.1, p.01-14, jan./jun. 1998b.

_____. Evolution and phases of PROÁLCOOL. *Lehrstuhl Für Volkswirtschaftslehre Insb. Wirtschaftspolitik.* Kaiserslautern (Germany), February, 2000.

SHIKIDA, P. F. A.; ALVES, A. F. Um panorama dos setores indústria do açúcar e álcool no Nordeste em 1980 e 1985: estruturas comparadas. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza (CE), v.28, n.3, p.347-357, jul./set. 1997.

SHIKIDA, P. F. A.; BACHA, C. J. C. Evolução da agroindústria canavieira brasileira de 1975 a 1995. *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, v.53, n.1, p.63-83, jan./mar. 1999.

SHIKIDA, P. F. A.; GUILHOTO, J. J. M. Um panorama das indústrias do açúcar e do álcool em 1980: Minas Gerais e Brasil comparados. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v.34, n.1/2, p.253-284, jan./jun. 1996.

SONIS, M.; HEWINGS, G. J. D. *Fields of influence in input-output systems.* Urbana, University of Illinois, Regional Economics Applications Laboratory, 1995, mimeo.

SONIS, M.; HEWINGS, G. J. D. Error and sensitivity input-output analysis: a new approach. In: MILLER, R. E., POLENSKE, K. R., ROSE, A. Z. (eds.). *Frontiers of input-output analysis.* New York, Oxford University Press, 1989.

SZMRECSÁNYI, T. *O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil (1930-1975*). São Paulo : HUCITEC/UNICAMP, 1979. 540p.

_____. Concorrência e complementaridade no setor açucareiro. *Cadernos de Difusão de Tecnologia,* v.6, n.2/3, p. 165-182, maio/dez 1989.

FAVORECIMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE XILITOL A PARTIR DE HIDROLIZADO HEMICELULÓSICO DE BAGAZO DE CAÑA EN PRESENCIA DE GLUCOSA DURANTE EL CULTIVO DE INÓCULO DE CANDIDA GUILLIERMONDII

IMPROVEMENT OF XYLITOL PRODUCTION BY CANDIDA GUILLIERMONDII FROM SUGARCANE BAGASSE HEMICELLULOSIC HYDROLYSATE BY THE PRESENCE OF GLUCOSE DURING INOCULUM CULTIVE

Débora Danielle V. Silva, Maria de las Graças A. Felipe, Martha L.Villarreal Morales, Rita C. L. B. Rodrigues

Departamento de Biotecnologia – Faculdade de Engenharia Química de Lorena
Rod. Itajubá-Lorena, km 74,5, Campinho, Lorena, SP – Brasil – Caixa Postal 116, CEP 12600-970
e-mail: mgafelipe@debiq.faenquil.br

RESUMEN

La influencia de la presencia de glucosa en el medio de cultivo del inóculo de *Candida guilliermondii* sobre la bioconversión de xilosa en xilitol fue estudiada durante fermentaciones de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña. En las condiciones experimentales empleadas, se verificó que el uso de inóculo cultivado en medio conteniendo apenas glucosa, como fuente de carbono, favoreció la producción de xilitol. Los máximos valores de rendimiento (0,56g/g) y productividad (0,43g/L.h^{-1}) se alcanzaron a las 48h de fermentación, lo que resultó en una eficiencia de conversión del substrato en producto de 61,07%. Por otra parte, la presencia de xilosa junto a glucosa durante el cultivo del inóculo favoreció el consumo de xilosa y arabinosa por la levadura, conllevando a un aumento de la formación de biomasa y de glicerol como subproducto.

Palabras clave: hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña, xilitol, *Candida guilliermondii*, glucosa

ABSTRACT

The influence of the presence of glucose during inoculum cultive of *Candida guilliermondii* on xylose to xylitol bioconversion was evaluated during fermentations of sugarcane bagasse hemicellulosic hydrolysate. Under the experimental conditions used, employing inoculum cultivated in medium containing only glucose as carbon source improved xylitol production, resulting in maximum xylitol yield (0.56g/g) and productivity (0.43g/L.h) at 48h of fermentation, corresponding to a conversion efficiency of the 61.07%. Nevertheless, inoculum cultivated on mixed sugars (glucose and xylose) improved xylose and arabinose consumption by yeast, increasing biomass formation and glycerol concentration.

Keywords: sugarcane bagasse hemicellulosic hydrolysate, xylitol, *Candida guilliermondii*, glucose

INTRODUCCIÓN

Una de las fuentes de materia orgánica más abundantes del planeta la constituyen los materiales lignocelulósicos que contienen celulosa y hemicelulosa, como el bagazo de caña de azúcar. Cada día se hace más necesario tecnologías alternativas capaces de reutilizar estas fuentes renovables de materia orgánica con el objetivo de obtener nuevos productos y disminuir el impacto ambiental negativo que causa su acumulación. La proporción de la fracción hemicelulósica en el bagazo de caña y la elevada concentración de xilosa en la misma es uno de los principales factores que estimulan el aprovechamiento del bagazo en diferentes procesos de bioconversión (Fig. 1).

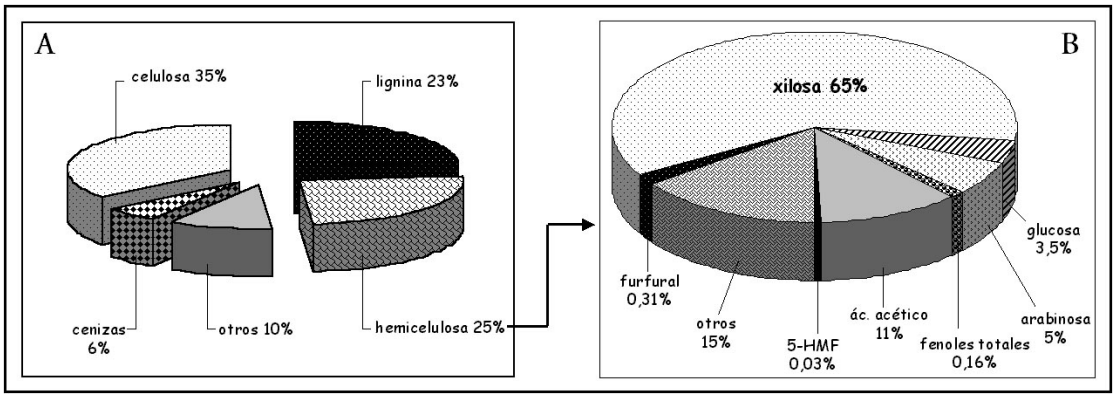


Fig. 1 A-Composición química del bagazo de caña "in natura" y **B**-Composición parcial del hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar (fuente: Rodrigues *et al.* 2001)

Entre los diferentes productos obtenidos de la fermentación de los hidrolizados hemicelulósicos, se encuentra el xilitol, un edulcorante anticariogénico (Makinen *et al*., 2001) de poder endulzante equivalente al de la sacarosa (Manz *et al.*, 1973; Fatibello-Filho *et al*., 1996), recomendado en la dieta de diabéticos y obesos (Manz *et al*., 1973; Pepper, Olinger, 1988), y recientemente indicado en la prevención de enfermedades como otitis (Uhari *et al.*, 2000), osteoporosis (Matilla *et al.*, 2001) y enfermedades respiratorias (Zabner *et al.*, 2000). Debido a las diversas aplicaciones del xilitol, a cada día aumentan los estudios con relación a su obtención por vía biotecnológica, proceso alternativo al método químico por el cual el xilitol es producido en escala industrial (Melaja, Hämäläinen, 1977). El proceso químico es considerado de elevado costo, debido principalmente a las etapas de obtención de la xilosa de alta pureza a partir de hidrolizados hemicelulósicos y de la recuperación y purificación del xilitol que encarecen el proceso (Winkelhausen *et al*., 1998).

La viabilidad del proceso biotecnológico se debe a la capacidad de algunos microorganismos, en particular la levadura *Candida guilliermondii*, de convertir a xilosa en xilitol. Los pasos iniciales de este metabolismo ocurren a partir de la síntesis de las enzimas xilosa reductasa (E.C. 1.1.1.21) y xilitol desidrogenasa (E.C.1.1.1.9), inducidas en presencia de xilosa y xilitol, respectivamente. La xilosa es reducida a xilitol por la xilosa reductasa (XR) dependiente de NADPH y el xilitol oxidado a xilulosa por la xilitol deshidrogenasa dependiente de NAD^+ (Hahn-Hangerdal *et al.*, 1994, Silva *et al.*, 1996). Este metabolismo puede ser influenciado por la glucosa, la cual puede inhibirlo o inducirlo dependiendo de la concentración en que se encuentra en el medio de fermentación (Felipe *et al*., 1993, Sugai, Delgenes, 1995; Rosa *et al.,* 1998). La inhibición de la bioconversión de xilosa en xilitol por la glucosa se debe, segundo LEE *et al.* (1996), a la represión catabólica de las principales enzimas involucradas en este bioproceso. Sin embargo, algunos estudios indican que la presencia de glucosa en el medio, a bajas relaciones glucosa/xilosa, favorecen la formación de xilitol (FELIPE *et al*., 1993, Yahashi *et al.*, 1996, Meinander y Hahn-Hangerdal, 1997, Rosa *et al.,* 1998).

Teniendo en cuenta la presencia de glucosa en el hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña y que su efecto sobre la bioconversión de xilosa en xilitol todavía no está totalmente elucidado, este trabajo

tiene como objetivo estudiar el metabolismo de xilosa por *C. guilliermondii* en hidrolizado de bagazo de caña en función de la presencia de glucosa durante el cultivo del inóculo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparo del Hidrolizado Hemicelulósico

El bagazo de caña de azúcar fue hidrolizado conforme metodología establecida por Pessoa Júnior *et al.* (1997), bajo las siguientes condiciones: temperatura de 121°C, por 20 minutos, empleando 100mg de H_2SO_4 por gramo de materia seca (relación sólido-líquido de 1:10). El hidrolizado fue filtrado y concentrado a vacío a 70°C (para aumentar en 3 veces la concentración inicial de xilosa) conforme establecido por Rodrigues *et al.* (2001). Posteriormente el hidrolizado fue sometido a un tratamiento para la remoción de compuestos tóxicos, según metodología establecida por Marton (2002), que consiste en adicionar al hidrolizado (pH=0,43), óxido de calcio (CaO) hasta pH 7,0, seguido de la reducción del pH para 2,5 con ácido fosfórico (H_3PO_4). Luego del ajuste de pH, fue adicionado carbón activado (1%) al hidrolizado bajo agitación (200rpm, 60°C, 30min.). En cada etapa de alteración de pH y adición de carbón el hidrolizado fue filtrado en papel de filtro Whatmann para la remoción del precipitado formado. El hidrolizado fue autoclavado a 111°C por 15min.

Microorganismo y Preparo del Inóculo

Fue empleada la levadura *Candida guilliermondii* FTI 20037 conservada a 4°C en agar extracto de malta.

Los inóculos fueron obtenidos de células cultivadas en medios que contenían apenas glucosa (30g/L) y una mezcla de xilosa (30g/L) y glucosa (2g/L), complementados con extracto de salvado de arroz (20g/L), $(NH_4)_2SO_4$ (2g/L) y $CaCl_2.2H_2O$ (0,1g/L). Fue también realizado un experimento control con medio conteniendo apenas xilosa (30g/L) y nutrientes. Los cultivos fueron realizados en frascos Erlenmeyer (125mL) conteniendo 50mL de los medios e incubados a 200rpm, 30°C por 24h. La concentración inicial de inóculo en las fermentaciones fue de 1,0g/L de células.

Medio y Condiciones de Fermentación

Las fermentaciones fueron realizadas empleando hidrolizado de bagazo de caña concentrado y tratado (xilosa: 45g/L, glucosa: 1,75g/L, arabinosa: 2,50g/L, ácido acético: 1,99g/L, furfural: 0,011g/L, hidroximetilfurfural: 0,004g/L) en fermentador de 2L de volumen total KLF2000 Bioengineering (500rpm, k_La de $17h^{-1}$, 30°C) conteniendo 1600mL de hidrolizado (pH inicial = 5,5) complementado con los mismos nutrientes utilizados en la preparación del inóculo.

Métodos Analíticos

D-glucosa, D-xilosa, L-arabinosa, xilitol, ácido acético, glicerol y etanol fueron cuantificados por cromatografía líquida de alta resolución (Waters, Milford, MA) bajo las siguientes condiciones: columna Bio-Rad Aminex HPX-87H a 45ºC; detector de índice de refracción; eluente H_2SO_4 0.01N; flujo de 0.6mL/min. Para la cuantificación de furfural y hidroximetilfurfural fue usada una columna Hewlett-Packard RP 18 a 25°C; detector de ultravioleta / visible (SPD-10^A UV-VIS); eluente acetonitrilo:agua (1:8) y ácido acético 1%; flujo de 0.8mL/min. El crecimiento celular fue seguido por la medida de la absorbancia a 600nm (espectrofotómetro Beckman-DU 640B) y la concentración celular calculada por una curva padrón que correlaciona la absorbancia a 600nm y el peso seco de las células. El K_La fue determinado por la metodología de "gassing-out" (Pirt, 1975).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las fermentaciones del hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar fueron realizadas a partir de inóculos de *C. guilliermondii* cultivados en medios conteniendo como fuentes de carbono glucosa y una mezcla de glucosa y xilosa. También fue realizada una fermentación control empleando un inóculo de células cultivadas apenas en xilosa como fuente de carbono. Los resultados de

las fermentaciones en función del medio de cultivo del inóculo son presentados en la Figura 2. La utilización del inóculo de células cultivadas en medio conteniendo la mezcla de xilosa y glucosa favoreció el consumo de xilosa, encontrándose para los tiempos de fermentación de 24h y 48h valores de velocidad de consumo de 1,16g/L.h y 0,90g/L.h, lo que representa aumentos de 29% y 7% respectivamente, con relación a las condiciones en que el inóculo fue cultivado solamente en xilosa o en glucosa como fuentes de carbono. En caso del cultivo en medio conteniendo xilosa o glucosa prácticamente no tuvo diferencias ya que después de 48h de fermentación se observó la misma velocidad de consumo (0,84g/L.h) de esta pentosa.

En la Fig. 2B se observa que la presencia de glucosa junto a xilosa, durante el cultivo del inóculo, también favoreció la asimilación de arabinosa. Este hecho es comprobado por el consumo 2,87 y 1,20 veces mayor de arabinosa, a las 48h, en comparación con lo obtenido a cuando el inóculo fue cultivado apenas en xilosa o en glucosa, respectivamente. Por otro lado, independiente del azúcar empleado para el cultivo del inóculo, se puede notar una asimilación lenta de la arabinosa (promedio de $0{,}03 g/L.h^{-1}$), cerca de 90% menor que la velocidad de consumo de la xilosa (Fig. 2B). La lenta asimilación de arabinosa por *C. guilliermondii* fue igualmente constatada por Sene *et al.* (2001) y Rodrigues *et al.* (2003) en fermentaciones de hidrolizado de bagazo de caña y por Gírio *et al*., (2000) empleando *Debaryomyces hansenii* en medio sintético. Según estos últimos autores, el lento consumo de la arabinosa en medio conteniendo xilosa sugiere la existencia de un efecto de represión catabólica de la xilosa sobre la arabinosa.

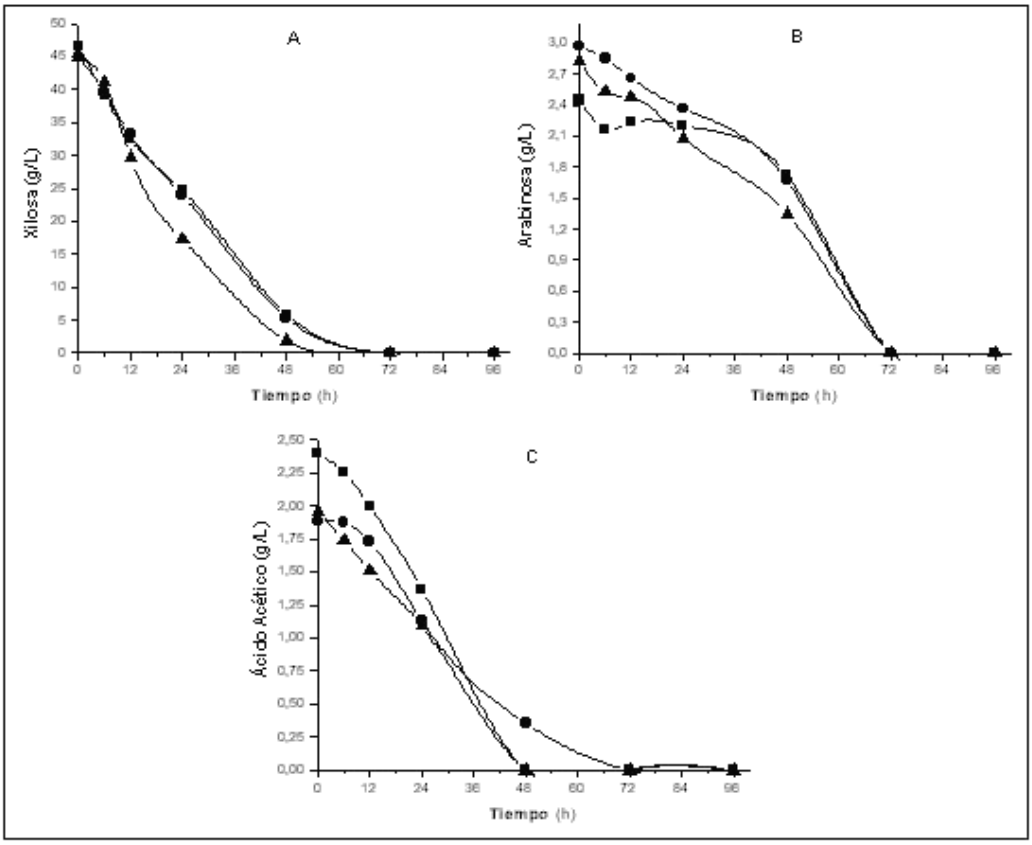


Fig. 2 Concentraciones de xilosa (**A**), arabinosa (**B**) y ácido acético (**C**) durante las fermentaciones de hidrolizado de bagazo de caña por *C. guilliermondii* en función del cultivo del inóculo en medio conteniendo xilosa (■), glucosa (●) y una mezcla de glucosa y xilosa (▲).

La glucosa presente en el hidrolizado, en baja concentración (1,75g/L), fue totalmente consumida en las primeras 6h de fermentación (datos no presentados).

Además de los azúcares, la levadura también asimiló el ácido acético durante las fermentaciones del hidrolizado de bagazo de caña. Fue observado un consumo total de este ácido al final de las fermentaciones (Fig. 2C), si bien de una forma lenta al igual que la arabinosa. Por otro lado el cultivo del inóculo apenas en glucosa perjudicó la asimilación de este ácido, verificándose, a las 48h de cultivo, una disminución de 25% y 40% en la velocidad de consumo en comparación a los resultados obtenido con inóculos cultivados en mezcla de los azúcares o solamente en xilosa, respectivamente. El consumo del ácido acético por *C. guilliermondii* fue acompañado por el aumento del pH del medio de fermentación, conforme con lo observado anteriormente por Morita *et al.* (2000) y Silva *et al* (2003) en trabajos con esta misma levadura cultivada en hidrolizado de bagazo de caña.

La presencia de glucosa favoreció la formación de biomasa de forma similar a lo encontrado para el consumo de azúcares y de ácido acético. Se observó un aumento del 12% de la biomasa después de 96h, con la utilización de células pre-cultivadas en glucosa y xilosa en comparación a lo obtenido cuando se empleó inóculo cultivado apenas en presencia de xilosa (Fig. 3A).

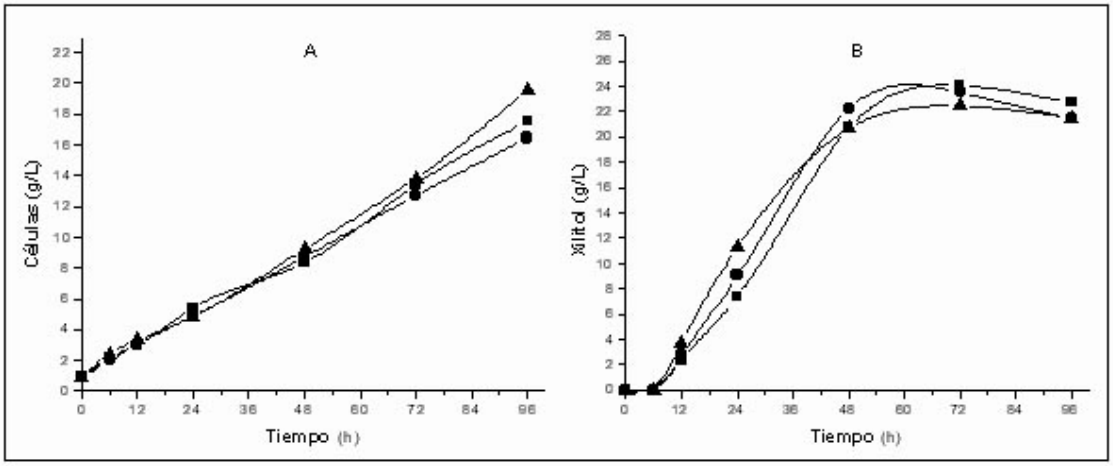


Fig. 3 Crecimiento celular (**A**) y formación de xilitol (**B**) durante las fermentaciones de hidrolizado de bagazo de caña por *C. guilliermondii* en función del cultivo del inóculo en medio conteniendo xilosa (■), glucosa (●) y una mezcla de glucosa y xilosa (▲).

La formación de xilitol también fue favorecida por la presencia de glucosa en el medio de cultivo del inóculo (Fig. 3B). La concentración de xilitol aumentó en 52,77% con la utilización de la mezcla de azúcares en las primeras 24h, en comparación a la fermentación control, aunque este aumento no se mantuvo a lo largo de la fermentación. Contrario a lo observado en este trabajo, Kastner *et al.* (2001) encontraron una disminución del 5% en el consumo de xilosa y de 7% en la formación de xilitol en fermentaciones de medio sintético por *C. tropicalis* pre-cultivada en glucosa con relación a las pre-cultivadas en xilosa.

En la Figura 3B también se puede observar la disminución de la concentración de xilitol, después de 72h de fermentación, independientemente del azúcar empleado en el cultivo del inóculo, en función de su consumo por la levadura. Este hecho también fue observado por Palladino *et al*. (2003) durante el cultivo de *C. guilliermondii* en medio sintético, indicando que el xilitol puede ser utilizado como fuente de carbono para el crecimiento celular.

Los máximos valores de rendimiento (0,56g/g) y productividad (0,46g/L.h) de xilitol fueron alcanzados a las 48h de fermentación, con el cultivo del inóculo en medio conteniendo apenas glucosa (Figura 4). Estos valores representan un aumento del 9,80% y 6,98% respectivamente, en comparación al inóculo cultivado en xilosa, y de 16,6% y 6,98% respectivamente, con relación al cultivo del inóculo en mezcla de azúcares.

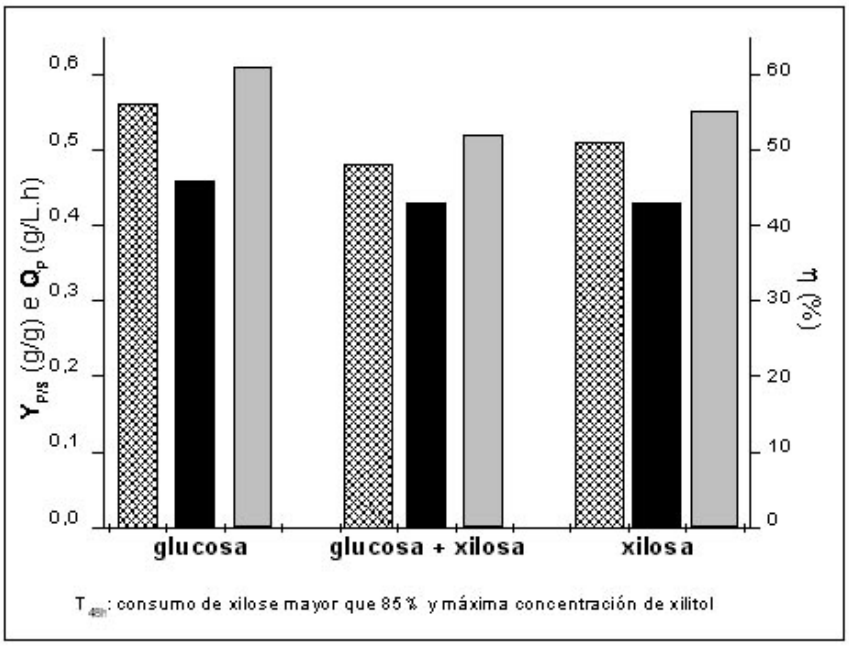


Fig. **4** Rendimiento ($Y_{P/S}$ □), Produtividad (Q_P ■) de xilitol y Eficiencia de conversión (η■) a las 48h de fermentaciones de hidrolizado de bagazo de caña por *C. guilliermondii* en función del medio de cultivo del inóculo.

Durante las fermentaciones también se identificó la formación de glicerol y etanol como subproductos (Fig. 5). Observase, que la formación de glicerol se ve favorecida por la utilización del inóculo cultivado en mezcla de azúcares (Fig. 5A), con una formación 26,3% mayor comparada a lo obtenido con inóculo cultivado apenas en xilosa. Ya la utilización de células obtenidas de inóculo cultivado apenas en glucosa resultó en una disminución de la formación de glicerol de un 44% y 55% en comparación a las del inóculo cultivado en xilosa o en mezcla de azúcares, luego de 48h de fermentación. La formación de etanol por *C. guilliermondii* no fue favorecida por el cultivo del inóculo en la mezcla de azúcares (Fig. 5B). Se encontró una reducción de 73,7% y 4,57% en las fermentaciones con inóculo cultivado en medio conteniendo mezcla de azúcares y apenas glucosa respectivamente, con relación al inóculo cultivado en medio conteniendo apenas xilosa, luego de 48h de fermentación.

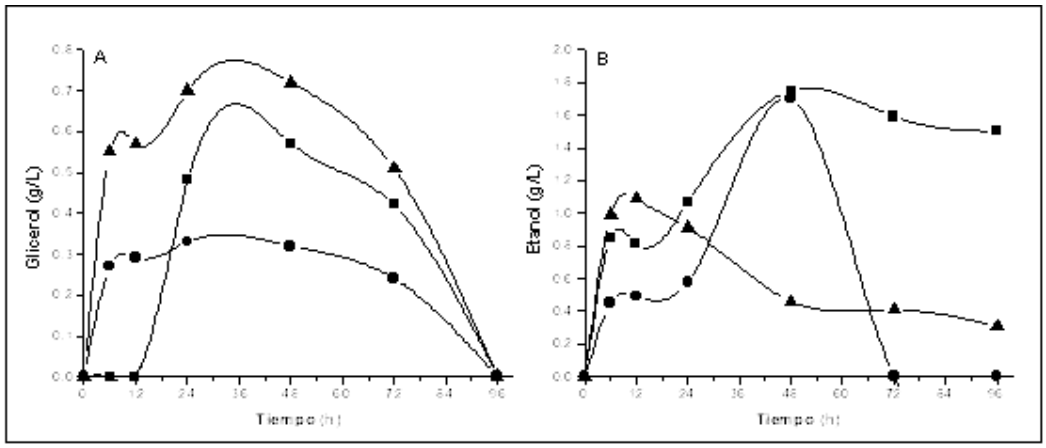


Fig. 5 Formación de los subproductos glicerol (**A**) y etanol (**B**) durante as fermentaciones de hidrolizado de bagazo de caña por *C. guilliermondii*, en función del inóculo cultivado en xilosa (■), en glucosa (●) y en mezcla de glucosa y xilosa (▲).

Tanto el glicerol cuanto el etanol fueron lentamente asimilados por *C. guilliermondii*, de forma similar a lo observado para el xilitol, principalmente luego de 72h de fermentación cuando los azúcares y el ácido acético habían sido consumidos totalmente. Esto indica que tales compuestos pueden ser utilizados por la levadura como fuentes de carbono para la formación de biomasa pudiéndose verificar, para todas las condiciones, un aumento de la concentración celular incluso después del agotamiento de la xilosa en el medio (Fig. 3A). Según Flores *et al*. (2000), el glicerol y etanol pueden ser utilizados como fuentes de carbono y energía por muchas levaduras.

La formación de estos subproductos durante la fermentación de xilosa por *C. guilliermondii* también fue observada en hidrolizado de bagazo de caña (Matos *et al.*, 2003) e hidrolizado de cáscara de avena (Felipe *et al.,* 2003).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos sugieren el favorecimento del metabolismo de xilosa, con aumento de la formación de xilitol, durante las fermentaciones en hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar cuando es empleado inóculo de *C. guilliermondii* cultivado en presencia de glucosa.

AGRADECIMENTOS

Los autores agradecem a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) y a CAPES (Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por el auxílio financeiro.

REFERENCIAS

Felipe, M. G. A.; Mancilha, I. M.; Vitolo, M.; Roberto, I. C.; Silva, S. S.; Rosa, S. A. M. (1993), *Arq Biol Tecnol* 36 (1), 103-114.

Felipe, M. G. A., Hauly, M. C. O., Canettieri, E. V., Cândido, E. J., Tamanini, C. (2003), in XIV Simpósio Nacional de Fermentações, Anais do XIV SINAFERM 2003. 1 CD-Rom.

Flores, C. L., Rodriguez, C., Petit, T., Gancedo, C. (2000), *FEMS Microb Reviews*, 24, 507-529.

Gírio, F. M., Amaro, C., Azinheira, H., Pelica, F., Amaral-Collaço, M. T. (2000), *Bioresour Technol*, 71, 245-251.

Hahn-Hägerdal, B., Jeppsson, H., Skoog, K., Prior, B. A. (1994), *Enzyme Microb Technol*, 16, 933-943.

Kastner, J. R., Eitman, M. A., Sarah, A. L. (2001), *Biotecnol Letters*, 23, 1663-1667.

Lee, H.; Sopher, C. R.; Yau, Y. F. (1996), *J Chem Technol Biotechnol*, 65 (4), 375-379.

Makinen, K. K., Isotupa, K. P., Kivilompolo, T., MakineN, P. L., Toiveanen, J., Soderling, E. (2001), *Caries Research*, 35 (2), 129-135.

Manz, V., Vanninen, E., Voirol, F. (1973), *Food R.A. Symp. Sugar and Sugar Replacements*. Oct.

Marton, J. M. Avaliação de diferentes carvões ativos e das condições de adsorção no tratamento do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana para obtenção biotecnológica de xilitol. *Dissertação de*

Mestrado. Faculdade de Engenharia Química de Lorena. Departamento de Biotecnologia. Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial. Lorena. São Paulo, 2002.

Matilla, P. T., Svanberg, M. J., Knuuttila, M. L. E. (2001), *Gerontology*, 47 (6), 300-305.

Matos, G. S., Felipe, M. G. A., Silva, S. S. (2003), in XIV Simpósio Nacional de Fermentações, Anais do XIV SINAFERM 2003. 1 CD-Rom.

Meinander, N. Q., Hahn-Hängerdal, B. (1997), *Biotechnol Bioengineer,* 54 (4), 391-399.

Melaja, J., Hämäläinen, L. *Process for Making Xylitol*. US n.4.008.285. 15 fev, 1977.

Morita, T. A., Silva, S. S. Felipe, M. G. A. (2000), *Appl Biochem Biotechnol*, 84-86, 751-759.

Paladino, F. Silva,; D. D. V.; Felipe, M. G. A. (2003), in XIV Simpósio Nacional de Fermentações, Anais do XIV SINAFERM 2003. 1 CD-Rom.

Pepper, T., Olinger, P.M. (1988), *Food Technol,* 42, 98-106.

Pessoa Jr, A. (1997), *Braz J Chem Engineer,* 14 (03), 291-297.

PIRT, S.J. (1975), Principles of Microbe and Cell Cultivation (Oxford: Blackwell Scientific Publications).

Rodrigues, R. C. L. B.; Felipe, M. G. A.; Almeida e Silva, J. B.; Vitolo, M., Gómez, P. V. F. (2001), *Braz J Chem Engineer*, 18, 229-311.

Rodrigues, R. C. L. B.; Felipe, M. G. A.; Almeida e Silva, J. B.; Vitolo, M. (2003), *Process Biochem,* 38, 1231-1237.

Rosa, S. M. A.; Felipe, M. G. A.; Silva, S. S.; Vitolo, M. (1998), *Appl Biochem Biotechnol,*. 70-72, 127-135.

Sene, L., Vitolo, M., Felipe, M. G. A., Silva, S. S. (2001), *Appl Microbiol Biotechnol,* 57, 738-743.

Silva, S.S., Vitolo, M., Pessoa Jr., A., Felipe, M. G. A. (1996), *J Basic Microbiol,* .36 (3), 187-191.

Silva, D. D. V., Felipe, M. G. A., Mancilha, I. M., Luchese, R. H. (2003), in XIV Simpósio Nacional de Fermentações, Anais do XIV SINAFERM 2003. 1 CD-Rom.

Sugai, J. K, Delgenes, J. P. (1995), *Current Microbiol,* 31, 239-244.

Uhari, M., Tapiainen, T. Kontiokari, T. (2000), *Vaccine*, 8 (19), 144-147.

Winkelhausen, E., Kyzmanova, S. (1998), *J Ferment Biotechnol*, 86 (1), 1-14.

Yahashi, Y., Horitsu, H., Kawai, K., Suzuki, T., Takamizawa, K. (1996), *J Ferment Bioengineer,* 81 (2), 148-152.

Zabner, J., Seiler, M. P., Launspach, J. L., Karp, P. H., Kearney, W. R., Look, D. C., Smith, J. J., Welsh, M. J. (2000), Proc Natl Acad Sci USA, 97 (21), 11614-11619.

ESTUDIOS DE LAS CONDICIONES DE HIDROLIS DE LA FRACCIÓN CELULOSICA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR UTILIZANDO DISEÑO DE EXPERIMENTOS

STUDY OF DILUTED ACID HYDROLYSIS OF CELLULOSE FROM SUGARCANE BAGASSE EMPLOYING EXPERIMENTAL DESIGN

[1]Alves, L.A., [2]Almeida y Silva, J.B., [3]Nápoles, A.I.,[2] Felipe, M.G.A., [1]Giulietti, M., [3]Viñals, M., [3]Manganelli, E., [3]Gonzalez, M.

[1] Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, Brasil
[2] Departamento de Biotecnologia, Faculdade de Engenharia Química de Lorena - FAENQUIL, Lorena, Són Paulo, Brasil – E-mail: l_a_alves@yahoo.com.br
[3]Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Cana de Azucar – ICIDCA, Habana, Cuba

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo el estudio de condiciones de hidrólisis del residuo de celulignina, proveniente de la pré-hidrólisis del bagazo de caña de azúcar, con vista a una utilización integral de esta biomasa. El propósito principal es el aprovechamiento de la celulosa presente en el bagazo de caña para la obtención de un sirope de glucosa, que una vez purificado, puede ser utilizado como substrato para la obtención de etanol extrafino. El bagazo fue pré-hidrolizado y el residuo resultante (celulignina) fue sometido a un hidrólisis ácida, variándose la concentración ácida (1, 2 y 3%), la relación sólido:líquido (1:6, 1:8 y 1:10), la temperatura de hidrólisis (155, 165, 175 °C) y el tiempo de reacción (20, 30, 40min). El desempeño del proceso hidrolítico fue evaluado con base al rendimiento en glucosa, para las diferentes condiciones de hidrólisis empleadas. Los experimentos fueron realizados de acuerdo con un diseño factorial fraccionario, 2^{4-1} con 3 repeticiones en el punto central. Los resultados obtenidos indican que todos los factores evaluados presentan un efecto significativo en el rendimiento de hidrólisis, dentro del intervalo estudiado. El máximo rendimiento en glucosa (12%) fue obtenido con una concentración ácida de 3%, relación sólido:líquido de 1:6, temperatura de 175 °C y tiempo de reacción de 20 min. Adicionalmente fue evaluado el escalado del proceso, indicando que la obtención del hidrolizado a mayor escala es viable.

Palabras clave: Bagazo de caña de azúcar, celulosa, hidrólisis, glucosa,

ABSTRACT

This work deals with the study of dilute sulphuric acid hydrolysis of the cellulosic fraction of sugarcane bagasse in order to integral utilization of this biomass. The hydrolysis of the cellulose by sulphuric acid was performed in laboratory (180mL) and semi-pilot (50L) reactors under different conditions of temperature (155, 165 and 175 °C), time (20, 30, 40min), acid concentration (1, 2 and 3%) and solid:liquid ratio (1:6, 1:8 and 1:10). The experiments were carried out the according 2^{4-1} fractionary factorial design with three replicates at the center point, and the results indicated that the all factors available showed significant effect on the hydrolysis yield. The maximum yield glucose (12%) was obtained using acid concentration of the 3%, 1:6 solid:liquid ratio, temperature of the 175 °C and 20min of time reaction. The scale-up process was available too indicating that is possible to attain the hydrolysate in large scale.

Key words: Sugarcane bagasse, cellulose, hydrolysis, glucose

INTRODUCION

La utilización de residuos provenientes de la biomasa lignocelulósica, para la obtención de bioproductos es una alternativa a la necesidad de producción de energía y de alimentos. La madera y los residuos de la agroindustria constituyen reservas naturales renovables disponibles en grandes cantidades en la naturaleza y representan una importante fuente de materias-primas que pueden ser utilizadas en procesos químicos el biotecnológicos.

La compleja estructura de la lignocelulosa en plantas crea una barrera de protección primaria que previene la destrucción de las células por bacterias y hongos. A fin de romper esa estructura para la conversión de esta biomasa, los materiales lignocelulósicos tienen que ser fraccionados en sus correspondientes monómeros (azúcares). Los tres principales procesos que permiten el rompimiento de la estructura lignocelulósica en sus principales fracciones componentes son: *i)* la hidrólisis con ácido diluido; *ii)* hidrólisis con ácido concentrado e *iii)* hidrólisis enzimática (IRANMAHBOOB y otros, 2002). La hidrólisis ácida ha sido empleada frecuentemente, siendo eficiente en la separación de azúcares (LEE *y otros*, 1978; du TOIT *y otros*, 1984; PESSOA Jr., 1997) por su parte, la hidrólisis enzimática, a pesar de presentar altos rendimientos, requiere de un pre-tratamiento de la materia-prima, la producción de enzimas y su recuperación, lo que hace esa opción económicamente inviable (IRANMAHBOOB *y otros*, 2002).

El bagazo de caña de azúcar se destaca por ser una materia-prima lignocelulósica barata, abundante y renovable (AGUILAR *y otros*, 2002). Su almacenamiento tiene bajo valor económico y

constituye un problema ambiental, especialmente debido al riesgo de combustión espontánea (LAVARACK *y otros*, 2000). Una tendencia creciente viene siendo observada en los últimos años para la utilización más eficiente de este residuo (PANDEY *y otros*, 2000) y esfuerzos considerables se realizan en el estudio de la hidrólisis catalizada por ácidos, con el objetivo de romper los enlaces internos de las cadenas de hemicelulosa y celulosa del bagazo para producir cantidades comerciales de xilosa, glucosa y otros azúcares (LAVARACK *y otros* 2000).

Han sido identificados diferentes factores que afectan la hidrólisis de la celulosa entre ellos están la porosidad del material (área superficial accesible), la cristalinidad de la fibra celulósica y el contenido de hemicelulosa y de lignina (McMILLAN, 1994). La presencia de hemicelulosa y lignina dificulta el acceso a la celulosa reduciendo, por tanto, la eficiencia de hidrólisis. De esta forma la remoción de estos compuestos, la reducción de la cristalinidad de la celulosa y el aumento de la porosidad, obtenidos a través de procesos denominados de pré-tratamiento, poden mejorar significativamente el proceso de hidrólisis (SUN, CHENG, 2002).

El pré-tratamiento de la biomasa con ácido sulfúrico diluido a altas temperaturas puede disolver la hemicelulosa eficientemente. Entre algunas de las ventajas del pré-tratamiento con ácido sulfúrico diluido se pueden citar, altas velocidades de reacción (comparadas con el proceso enzimático), bajo costo del ácido sulfúrico (comparado con pré-tratamientos catalizados con bases) y bajo consumo de ácido (GROHMANN *y otros*, 1985, KIM, LEE, 1987, PARISI, 1989, TORGET *y otros*, 1990, GRETHLEIN, CONVERSE, 1991, DORAN *y otros*, 1994).

Así, el proceso de fraccionamiento en dos pasos de materiales lignocelulósicos es el más indicado para el aprovechamiento total de esta biomasa, ya que, previo a la utilización de la fracción celulósica como substrato, es necesario separarla de la hemicelulosa y de la lignina, como también aumentar su área superficial (DUFF, MURRAY, 1996). En el primer paso, puede ser utilizado ácido diluido como catalizador de una hidrólisis limitada, denominada pré-hidrólisis, que consiste en la hidrólisis de la fracción hemicelulósica, siendo que la celulosa y la lignina remanecientes, permanecen casi inalteradas (AGUILAR *y otros*, 2002).

La hidrólisis cuantitativa de la hemicelulosa puede ser realizada prácticamente sin ningún daño a la celulosa por tanto, en la pré-hidrólisis se obtiene un residuo sólido formado por celulosa y lignina del bagazo de cana de azúcar (AGUILAR *y otros*, 2002). Ese residuo puede ser utilizado en la producción de siropes de glucosa para obtener etanol o ácido láctico por fermentación y para la producción de pulpa de papel (DAVID *y otros*, 1985; GRETHLEIN, CONVERSE, 1991).

MATERIALES Y MÉTODOS

PRÉ-HIDRÓLISIS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

La pré-hidrólisis ácida del bagazo de caña fue realizada en las instalaciones de la Planta Piloto de Hidrólisis de la Faculdade de Engenharia Química de Lorena – FAENQUIL, en un reactor de acero inoxidable bajo las siguientes condiciones: 130 mg de H_2SO_4 / g de materia seca, 121 ^oC, tiempo de reacción de 20 min y relación sólido-líquido de 1:10.

El residuo de celulignina resultante de la pré-hidrólisis, conteniendo un 63% de celulosa y 24% de lignina, fue utilizado como materia-prima en los experimentos con vista a la hidrólisis de la celulosa.

OBTENCIÓN DEL HIDROLIZADO CELULÓSICO DE BAGAZO

Ensayos de hidrólisis realizados en el Departamento de Biotecnología FAENQUIL / Lorena

Los ensayos para la obtención del hidrolizado celulósico fueron realizados utilizando un sistema de émbolos herméticamente cerrados, de acero inoxidable, con volumen total de 180 mL. Luego de la preparación de la mezcla celulignina /solución ácida, los émbolos fueron inmersos en un baño de silicona, pré calentado hasta la temperatura de hidrólisis. Una vez alcanzado el equilibrio del sistema (± 15 min), se comenzó a contar el tiempo de hidrólisis. En seguida, los émbolos fueron enfriados por inmersión en baño de hielo y el material obtenido fue filtrado, a vacío, en filtro de porcelana para la separación del residuo sólido. Los hidrolizados obtenidos fueron almacenados bajo refrigeración para su posterior caracterización.

Ensayos de hidrólisis realizados en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de Cana de Azúcar – ICIDCA / Cuba

Para estos ensayos, fue utilizado bagazo de caña lavado y desmedulado, procedente de la industria azucarera cubana. Fue empleado un reactor de acero inoxidable, con volumen total de 50L, calentamiento por inyección directa de vapor y enfriamiento a temperatura ambiente, operando en sistema discontinuo. Los experimentos fueron realizados utilizando relación sólido:líquido de 1:7 y tiempo de reacción de 30 mim. Los hidrolizados obtenidos fueron almacenados bajo refrigeración para su posterior caracterización.

Para cada ensayo realizado, el bagazo fue inicialmente sometido a pré-hidrólisis, para la remoción de la fracción hemicelulósica, en las siguientes condiciones: concentración de ácido de 0,25%, 145 °C (± 5 °C), tiempo de reacción de 30 min y relación sólido líquido de 1:8.

Luego de la operación de pré-hidrólisis, el hidrolizado hemicelulósico fue retirado del reactor y el residuo de celulignina fue lavado con 8L de agua por cerca de 10-15 min y temperatura en torno de 80 °C, para total remoción de la fracción hemicelulósica hidrolizada. Posterior al lavado el residuo fue retirado del reactor y la celulignina resultante fue entonces sometida a reacción de hidrólisis ácida para obtención do hidrolizado celulósico.

MÉTODOS ANALÍTICOS

Concentración de azúcares, ácido acético, ácido fórmico, ácido levulínico, furfural y hidroximetilfurfural

Glucosa, ácido acético, ácido fórmico y ácido levulínico, fueron cuantificados por cromatografía líquida de alta eficiencia (Waters, Milford, MA), con detector de índice de refracción, utilizando columna BIO-RAD Aminex HPX-87H, 45 ^{o}C, ácido sulfúrico 0,01N como eluente y flujo de 0,6 mL/min.

Furfural e hidroximetilfurfural fueran cuantificados, igualmente, por cromatografía líquida de alta eficiencia (SHIMADZU), con detector UV/visíble (SPD-10A) utilizando columna Hewlett-Packard RP-18, 25 °C, solución de acetonitrilo/água (1:8 con 1% de ácido acético) como eluente y flujo de 0,8 mL/min.

Rendimiento de hidrólisis

El porcentaje de glucosa contenida en el hidrolizado celulósico de bagazo fue calculado a través de la siguiente expresión:

$$\textbf{\% Glucosa} = \frac{\textbf{(Gli) x (V)}}{\textbf{PSA}} \textbf{ x 100}$$

Donde:

Gli = concentración de glucosa en el hidrolizado (g/L)

V = volumen de la solución ácida (L)

PSA = peso seco de la muestra (g)

El rendimiento de hidrólisis fue calculado con base en el rendimiento teórico de 0,703 g de glucosa / g de celulignina.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Ensayos realizados en la FAENQUIL – Lorena

Los ensayos fueran realizados de acuerdo con un planeamiento factorial fraccionario 2^{4-1} con 3 repeticiones en el punto central, a fin de obtener las mejores condiciones de hidrólisis de la celulosa. Las variables codificadas como nivel inferior (-1), punto central (0) y nivel superior (+1), fueron [%H^+] concentración de ácido (1%; 2% y 3%), [S:L] relación sólido:líquido (1:6; 1:8 y 1:10), [T] temperatura

(155; 165 y 175 °C) y [TR] tiempo de reacción (20; 30 y 40 min) (BOX *y otros*, 1978, BARROS NETO *y otros*, 1995).

Ensayos realizados en el ICIDCA – Cuba

Los ensayos fueran realizados, de acuerdo con un planeamiento factorial completo 2^2, con 3 repeticiones en el punto central. Los factores evaluados fueran la concentración de ácido (0,6; 1,1 y 1,6%) y la temperatura de hidrólisis (160; 165 y 170 °C).

El análisis estadístico de los datos fue realizado utilizando los programas STATGRAPHICS 4.1, STATISTICA 5.0 y DESIGN-EXPERT 5.0 siendo el rendimiento de hidrólisis, con relación a concentración de glucosa, la variable dependiente.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

En los ensayos realizados de acuerdo con el diseño factorial 2^{4-1}, con 3 repeticiones en el punto central, a celulignina de bagazo fue sometida al proceso de hidrólisis ácida en las diferentes condiciones descritas anteriormente. A composición parcial de los diferentes hidrolizados, así como el rendimiento en glucosa para cada diferente combinación de condiciones de hidrólisis, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1- Matriz del diseño factorial fraccionario 2^{4-1} con 3 repeticiones en el punto central y respuestas obtenidas para el rendimiento en glucosa luego de la hidrólisis de la celulignina de bagazo, así como la concentración de glucosa y compuestos de degradación.

Ensayo	[%H^+]	[S:L]	[T] (°C)	[TR] (min)	R * (%)	Glucosa (g/L)	Furfural (g/L)	HMF (g/L)	Ac.Fórmico (g/L)	Ac.Levulínico (g/L)
1	1	1:6	155	20	1,35	1,59	0,008	0,002	0,24	-
2	3	1:6	155	40	3,44	4,04	0,006	0,004	0,78	0,005
3	1	1:10	155	40	5,41	3,80	0,084	0,017	0,29	0,086
4	3	1:10	155	20	3,96	2,78	0,041	0,007	0,23	-
5	1	1:6	175	40	11,34	13,29	0,218	0,201	1,67	-
6	3	1:6	175	20	11,75	13,79	0,193	0,103	0,89	0,63
7	1	1:10	175	20	2,66	1,87	0,013	0,004	0,17	0,077
8	3	1:10	175	40	3,00	2,11	0,106	0,127	1,64	0,116
9	2	1:8	165	30	5,68	4,99	0,135	0,158	0,24	0,092
10	2	1:8	165	30	5,92	5,20	0,129	0,151	0,29	0,089
11	2	1:8	165	30	5,83	5,13	0,133	0,160	0,33	0,095

*rendimiento de hidrólisis considerando rendimiento máximo teórico de 0,703g glucosa /g celulignina

Se puede observar que los ensayos 5 y 6 presentaron un resultado superior al resto de los experimentos. En ambos casos, fue empleada una relación sólido:líquido de 1:6 y temperatura de 175ºC, habiendo, sin embargo una inversión en los valores para concentración de ácido y tiempo de reacción. De esta forma, cuando se utilizó una mayor concentración de ácido (3%) fue necesario un tiempo menor de hidrólisis (20 min) para obtenerse una concentración más elevada de glucosa, en cuanto, al utilizarse una concentración menor de ácido (1%), el tiempo requerido para obtener una concentración de glucosa semejante, fue mayor (40 min).

De hecho, de acuerdo con la cinética de la reacción, el aumento de la temperatura y presión, favorece el aumento de la velocidad de hidrólisis y el rendimiento en glucosa. En una concentración de ácido entre 0,5-2%, la hidrólisis de la celulosa ocurre en una velocidad relativamente alta, pero solamente cuando la temperatura excede los 180 °C (FAN *y otros*, 1987). De acuerdo con estos autores, el aumento de la concentración de ácido aumenta el rendimiento en glucosa y un tiempo más corto de reacción también favorece el rendimiento en azúcares.

SIDIRAS (1998), en estudios sobre a cinética de hidrólisis de la paja de trigo con 38% de celulosa (30% cristalina y 8% amorfa), observó que cerca de 43% de la celulosa amorfa y 12,5% de la celulosa cristalina (iniciales), fueron hidrolizadas luego de 20 min de reacción. De acuerdo con este autor, el factor de reacción de hidrólisis es fuertemente dependiente de la temperatura y de la energía de activación requerida para cada paso de la reacción.

En estudios sobre la hidrólisis de la celulosa microcristalina (forma altamente cristalina de la celulosa), utilizando temperatura de 175 °C por 30 min, solución acuosa de H_2SO_4 (50 mM) y relación sólido líquido de 1:25, MOSIER *y otros* (2001), observaron que, apenas 7% de la celulosa inicial fue hidrolizada, correspondiendo a una concentración de glucosa de 0,82 g/L. Estos autores también observaron que, en las condiciones citadas, 7,5% de la celulosa hidrolizada fue convertida en productos de degradación.

La influencia de las diferentes combinaciones de condiciones de hidrólisis en el rendimiento en glucosa pode ser verificada en la Tabla 2, que presenta la estimativa de los efectos, errores -padrón, test t de "Student" y los niveles de significación (p), para los factores evaluados en la determinación de las condiciones de hidrólisis de la celulosa.

Se puede observar que la relación sólido:líquido [S:L], la temperatura y el tiempo de reacción [TR], presentan un efecto principal significativo ($p<0,05$) en el rendimiento en glucosa. En el caso de la relación sólido:líquido [S:L], el efecto principal es negativo, indicando que el uso de una menor cantidad de solución ácida en la ejecución de la hidrólisis, favorece la obtención de glucosa. Para el factor temperatura [T] y tiempo de reacción [TR], los efectos principales son positivos, indicando que, la utilización de temperatura más elevada y mayor tiempo de reacción, favorece la hidrólisis de la celulosa.

Los efectos de interacción entre la concentración de ácido y la relación sólido:líquido [$\%H^+$][S:L], así como entre la relación sólido:líquido y la temperatura [S:L][T], también presentaron

efecto significativo a un nivel de 5% de probabilidad, en el rendimiento en glucosa. El hecho de efectos de interacción sean significativos indica que el nivel de un factor interfiere en el nivel del otro.

Tabla 2- Estimativa de los efectos, errores padrón y teste t de "Student" para el rendimiento en glucosa, para el diseño factorial fraccionario 2^{4-1}, con 3 repeticiones en el punto central

Factores y Interacciones	Estimativas	Errores-padrón	Teste t
Média	5,49	± 0,119	-
[%H^+]	0,348	± 0,278	1,251
[S:L]	-3,213	± 0,278	11,558*
[T]	3,645	± 0,278	13,112*
[TR]	0,868	± 0,278	3,212*
[%H^+][S:L]	-0,903	± 0,278	3,248*
[%H^+][T]	0,028	± 0,278	0,101
[S:L][T]	-5,503	± 0,278	19,795*

*Significativo al nivel de 5% de probabilidad (t= 3,18245)

El diagrama de interpretación de los efectos de interacción presentado en la Figura 1, permite una mejor comprensión del modo como estos factores interactúan entre si. Se observa que el uso de una relación sólido:líquido de 1:6, con una temperatura de 175 °C y 3% de H_2SO_4 eleva el rendimiento en glucosa para 12,3%, contra 3,1% obtenidos con la temperatura de 155 °C. Por otro lado, con el uso de la misma concentración ácida, temperatura de 175 °C, sin embargo con relación sólido:líquido de 1:10, el rendimiento de hidrólisis cae para 2,7%, una reducción de cerca de 360%. Adicionalmente, se puede observar que con el uso de una concentración ácida de 1%, temperatura de 155 °C y relación sólido:líquido de 1:6, el rendimiento es de apenas 1,9%. Utilizando la misma relación sólido:líquido, pero asociada a una temperatura de 175 °C, ese rendimiento aumenta para 11%, una elevación de 480% en el resultado obtenido.

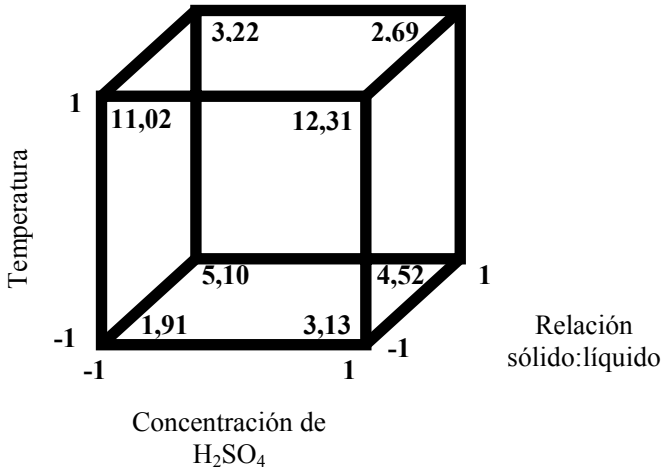


Figura 1- Diagrama de interpretación de los efectos de interacción entre la concentración de ácido, la relación sólido líquido y la temperatura, sobre el rendimiento en glucosa de la hidrólisis de la celulignina de bagazo de caña

La importancia de la temperatura utilizada en el proceso de hidrólisis y su relación con la concentración ácida ya fue señalada anteriormente. Segundo TORGET *y otros* (2000), cuando se utiliza una concentración ácida mayor que 0,4% en peso, la reacción de hidrólisis se muestra fuertemente dependiente de la temperatura. Estos autores también observaron que el rendimiento en glucosa aumenta con el aumento de la concentración ácida y sugieren que la liberación de glucosa es dependiente del volumen de medio, esto es, de la relación sólido:líquido.

Com base a los resultados obtenidos, nuevos ensayos fueron ejecutados, con el objetivo de mejorar los rendimientos de hidrólisis, así como verificar la posibilidad de ampliación de escala del proceso hidrolítico. Los experimentos fueron realizados de acuerdo con un diseño 2^2, con 3 repeticiones en el punto central. La composición parcial de los diferentes hidrolizados, así como el rendimiento en glucosa para cada diferente condición de hidrólisis, son presentados en la Tabla 3.

Tabla 3- Matriz de diseño y respuestas obtenidas para el rendimiento en glucosa luego de la hidrólisis de la celulignina de bagazo, así como para la concentración de azúcares y compuestos de degradación, para el diseño factorial completo 2^2, con 3 repeticiones en el punto central, realizado en el ICIDCA / Cuba

Ensayo	[%H^+]	[T] (°C)	R * (%)	Glucosa (g/L)	Furfural (g/L)	HMF (g/L)	Ac.Fórmico (g/L)	Ac.Levulínico (g/L)
12	0,60	160	3,21	3,41	0,044	0,146	0,29	-
13	1,60	160	5,32	5,65	0,517	0,184	0,35	-
14	0,60	170	7,31	7,77	0,491	0,405	0,45	0,461
15	1,60	170	11,29	12,00	0,686	0,552	0,20	0,508
16	1,10	165	9,00	9,57	0,706	0,473	0,41	0,221
17	1,10	165	7,98	8,48	0,724	0,414	0,33	0,210
18	1,10	165	8,90	9,46	0,738	0,510	0,56	0,198

*rendimiento de hidrólisis considerando rendimiento máximo teórico de 0,703g glucosa/g celulignina

Se observa que, como en los ensayos anteriores, la mayor concentración de glucosa (12 g/L) fue obtenida cuando se utilizó una mayor temperatura y mayor concentración ácida (Ensayo 15), mientras que la utilización de menor concentración de ácido y menor temperatura, resultó en un hidrolizado con baja concentración de glucosa (Ensayo 12). Notase también que la concentración de los compuestos provenientes de la descomposición de azúcares, como furfural, hidroximetilfurfural, ácido fórmico y

ácido levulínico, sufrieron una ligera elevación, no obstante se mantuvieron dentro de valores aceptables, en vista a la naturaleza del proceso hidrolítico.

El análisis estadístico de los datos, presentado en la Tabla 4, demostró que en el intervalo estudiado, la temperatura de hidrólisis presentó un efecto principal significativo al nivel de 10% de probabilidad, lo que no aconteció con la concentración de H_2SO_4. Probablemente, el intervalo de estudio fue insuficiente para detectar los posibles efectos de estos dos factores en el rendimiento de hidrólisis de la celulignina.

Tabla 4- Estimativa de los efectos, errores padrón y teste t de "Student" para el rendimiento en glucosa, segundo el diseño factorial fraccionario 2^2, con 3 repeticiones en el punto central

Factores y Interacciones	Estimativas	Errores-padrón	Teste t
Media	7,573	± 0,555	-
$[\%H^+]$	3,045	± 1,468	2,351
[T]	5,035	± 1,468	3,431**
$[\%H^+][T]$	0,935	± 1,468	0,637

**Significativo al nivel de 10% de probabilidad (t= 2,353)

Los resultados obtenidos en estos ensayos, aunque no tengan conseguido elevar la concentración de glucosa recuperada, probablemente debido a las condiciones de hidrólisis empleadas, fueron considerados promisorios ya que confirman la posibilidad de ampliación de escala para la producción del hidrolizado celulósico de bagazo de caña de azúcar. La obtención de hidrolizado en mayor escala es de gran importancia, ya que el hidrolizado celulósico puede ser utilizado en procesos fermentativos para la obtención de etanol extra-fino, lo cual requiere un volumen elevado de hidrolizado, debido a la concentración de glucosa requerida para este proceso.

CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos se puede concluir que, todos los factores evaluados influenciaron en la hidrólisis de la celulignina de bagazo de caña. El mejor rendimiento en glucosa (12%) fue obtenido utilizando 3% de H_2SO_4, con relación sólido:líquido de 1:6, a 175 °C y 20 min de reacción, dentro del intervalo de estudio considerado. La posibilidad de ampliación de escala do proceso también fue evaluada, siendo verificada su viabilidad.

REFERENCIAS

Aguilar, R., Rmirez, G.Garrote, Vazquez, M. (2002), *J Food Engineer,*

Barros Neto, B. Scarminio, I.S., Bruns, R.E. (1995) *Diseño y Otimización De Experimentos*. (Ed Unicamp), Campinas.

Box, G.E.P., Hunter, W.G., Hunter, J.S. *Statistics For Experimenters: An Introduction To Design, Data Analysis And Model Building*. (John Wyley & Sons) New York.

David, C., Fornasier, R., Greindl-Fallon, C., Vanlautem, N. (1985), *Biotechnol Bioenginee,* 26, 1591-1595.

Doran, J.B., Aldrich, H.C. Ingran, L.O. (1994) *Biotechnol Bioenginee*, 44, 240-247.

Duff, S.J.B., Murray, W.D. (1996), *Bioresour Technol*, 55, 1-33.

Du Toit, P.J., Olivier, S.P., Van Biljon, P.L. (1984), *Biotechnol Bioengineer*, 26, 1071-1078.

Fan, L.T., Gharpuray, M.M., Lee, Y.H. (1987) *Cellulose Hydrolysis* (Springer-Verlag Berlin Heidelberg), New York.

Grethlein, H.E., Converse, A.O. (1991), *Bioresour Technol*, 36, 77-82.

Grohmann, K., Torget, R., Himmel, M. (1985), *Biotechnol Sympos*, 15, 59-80.

Iranmahboob, J., Nadim, F. Monemi, S. (2002), *Biomass Bioener*, 401-404.

Kim, S.B., Lee, Y.Y. (1987), *Biotechnol Bioengeneer Sympos*, 17, 71-84.

Lavarack, B.P., Griffin, G.J., Rodman, D. (2000), *Catalis Today*, 63, 257-265.

Lee, Y.Y., Lin, C.M., Johnson, T., Chambers, R.P. (1978), *Biotechnol Bioengineer Sympos*, 8, 75-88.

Mcmillan, J.D. (1994), Pretreatment Of Lignocellulosic Biomass. *Enzimatic Conversion Of Biomass For Fuels Production* (Himmel, M.F., Baker, J.O., Overend, R.P. Eds) American Chemical Society, Washington, Pp. 292-324.

Mosier, N.S., Sarikaya, A., Ladisch, C.M., Ladisch, M.R. (2001), *Biotechnol Progr*, 474-480.

Pandey, A., Soccol, C.R., Nigam, P., Soccol, V.T. (2000), *Bioresou Technol*, 74, 69-80.

Parisi, F. (1989), Advances In Lignocellulosics Hydrolysis And In The Utilization Of The Hydrolysates. In: FIECHTER, A. Advances In Biochemical Engineering, 38, 53-87.

Pessoa Jr, A., Mancilha, I.M., Sato, S. (1997), *Brazil J Chem Engineer*, 14, 291-297.

Sidiras, D.K. (1998), *Cellul Chemis Technol*, 32, 405-424.

Sun, Y., Cheng, J. (2002), *Bioresour Technol*, 83, 1-11.

Torget, R., Werdene, P. Himmel, M., Grohmann, K. (1990), *Appl Biochemis Biotechnol*, 24/25, 115-126.

Torget, R.W., Kim, J.S., Lee, Y.Y. (2000), *Ind Engeneer Chemis Resear*, 30, 2817-2825.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÔMICA DE OPCIONES DE DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA EN LA INDÚSTRIA DE AZÚCAR Y ALCOHOL

TECHNO-ECONOMICAL EVALUATION OF PRODUCTIVE DIVERSIFICATION OPTIONS IN THE SUGAR AND ALCOHOL INDUSTRY

Juan Mario Gamarra*
Electo Eduardo Silva Lora*
Luiz Augusto Horta Nogueira**

* - Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída – NEST, IEM/UNIFEI, Ave. BPS 1303, CP 50, Itajubá-MG, 37500-903, Brasil. electo@unifei.edu.br.
**- Centro de Estudos em Recursos Naturais e Energia – CERNE, Ave. BPS 1303, CP 50, Itajubá-MG, 37500-903, Brasil. horta@unifei.edu.br.

Abstract.

As a consequence of the continous reduction in sugar commercialization prices the production diversification of the sugar industry through the production of energy, fuels, animal food and other by-products is mandatory. In this paper na optimization Excel application named "Diversification" and a case study is presented. Cost and prices for this case study were supplied by a médium sized sugar and alcohol Mill from the Minas Gerais State in Brazil. The "Diversification" application allows to determine the optimal quantity of each product to be produced looking for a maximum specific profit (by ton of milled cane). The set of products includes sugar, alcohol, molasses, surplus electricity and surplus bagasse. The Monte Carlo method was used for the investment risk evaluation. As a conclusion is shown that optimized diversification programs are economically justified and can lead to a considerable increase in the total specific profit of a sugar Mill.

I- Introducción

El sector azucarero atraviesa una profunda crisis como consecuencia de las políticas proteccionistas de algunos países y bloques comerciales y por la difusión de nuevos productos de laboratorio, capaz de sustituir el azúcar (edulcorantes), lo que se refleja claramente en la caída continua de los precios de comercialización del azúcar. Esto lleva a la necesidad de diversificar la gama de productos del sector mediante la implementación de sistemas para la producción de energía y combustibles, de alimento animal y de otros derivados. Estos productos pueden representar ventajas comerciales y estratégicas que deben ser evaluadas en diferentes contextos económicos.

Una industria azucarera diversificada es definida como un sistema productivo flexible, capaz de reaccionar, considerando las tendencias de variación de los precios de mercado de productos y subproductos, variando la correlación entre las cantidades fabricadas de cada producto, con el objetivo de operar siempre en condiciones de máxima ganancia.

Un central azucarero diversificado permite un mejor aprovechamiento de los residuos de las agroindustrias. Por un lado, el bagazo se valoriza cuando se utilizan tecnologías para incrementar la generación de energía eléctrica con un costo ambiental bajo. Por otro, el cogollo y las hojas pueden ser utilizados como alimento animal, al igual que el pienso elaborado a partir del bagazo hidrolizado.

El presente artículo pretende mostrar las ventajas de la diversificación de la industria de azúcar y alcohol como un diferencial competitivo en los momentos actuales. Una herramienta computacional fue desarrollada con el objetivo de optimizar la variedad y cantidades de productos para un determinado escenario de precios de los mismos, considerando las limitaciones impuestas por el proceso productivo. Un caso de estudio es mostrado. Se intenta responder la pregunta sobre cual es la combinación correcta de productos y las cantidades de cada uno de ellos a ser producidas para alcanzar la máxima ganancia neta en un determinado escenario de precios de mercado.

Un antecedente importante en materia de estudios de diversificación fue el proyecto "La diversificación en la agro-industria de la caña de azúcar en América Latina y en el Caribe" (GEPLACEA/PNUD/RLA/86/011). La afirmación de que la diversificación es: "... fundamentalmente, una estrategia de desarrollo del sector cañero..." (GEPLACEA, 1991) continua siendo válida.

Proyectos de diversificación de la industria de azúcar y alcohol han tenido poco éxito, porque exigen un análisis técnico-económico separado para cada caso, dependiendo de la localización geográfica del proyecto y de las actividades económicas predominantes en la región, requiriéndose además de determinados niveles de precios de mercado de los productos.

II- Productos y subproductos de la caña en un central diversificado

La variedad de productos que es posible obtener en un central diversificado es mostrada en la figura 1.

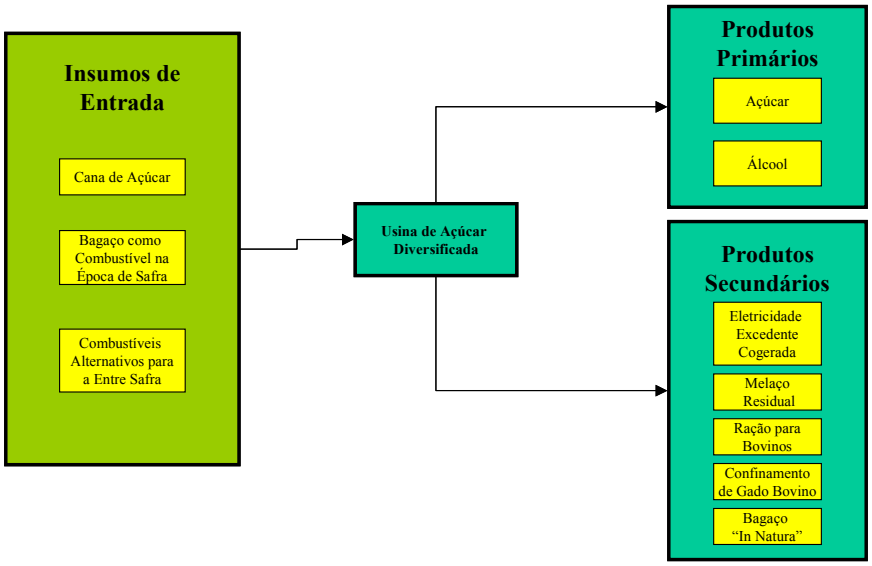


Figura 1 – Diagrama general de productos y materias primas en un central diversificado

Energía

Uno de los subproductos de mayor perspectiva económica en un central azucarero es la electricidad excedente. Actualmente se dispone de dos tecnologías comerciales de cogeneración: el ciclo a vapor con turbina de contrapresión - TC y el ciclo a vapor con turbina de condensación con extracciones- TEC. En fase de desarrollo está la tecnología con gasificación de biomasa integrada a turbinas a gas- BIG-GT. La figura 2 muestra esquemas de estas tecnologías. Factores económicos (tarifas vigentes de comercialización) y legales (legislación de incentivo y contratos) deben se considerados simultáneamente con los tecnológicos (tecnología mas adecuada de cogeneración y reducción del

consumo de vapor en proceso) para garantizar el éxito de los proyectos de generación de electricidad excedente en centrales azucareros.

Ciclo a vapor con turbina de contrapresión TC.

Este sistema es utilizado en la actualidad por la mayoría de los centrales azucareros en Brasil (Figura 3.2). Consta de calderas, una línea de vapor para las turbinas que accionan los molinos y equipos mecánicos, otra línea para la turbina de contrapresión; además de una válvula reductora de presión que garantiza la operación del sistema, manteniendo la demanda de vapor exigida por el proceso de fabricación de azúcar.

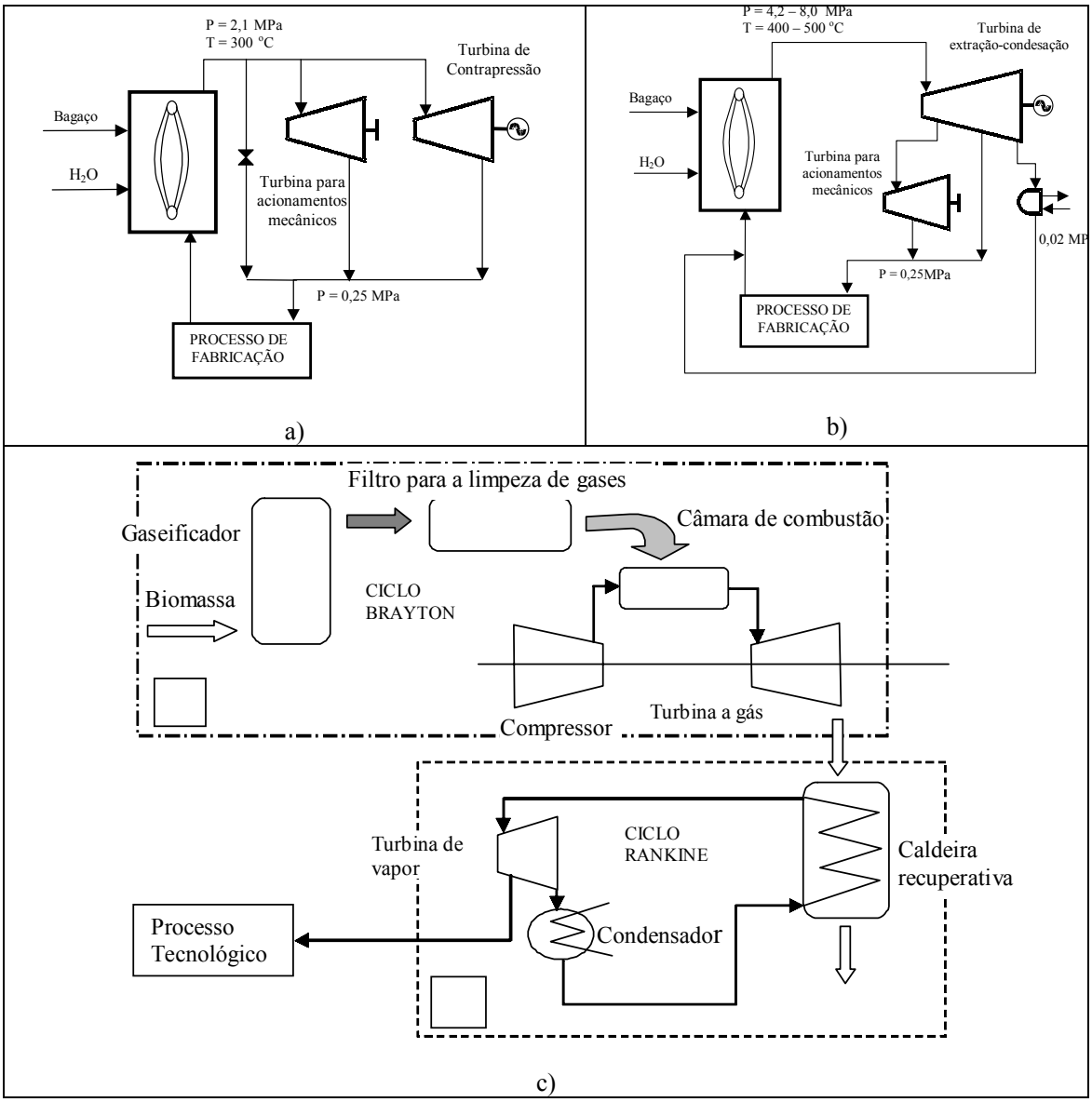


Figura 2 Tecnologías comerciales y en desarrollo para la generación de electricidad excedente en centrales azucareros.

a) Ciclo a vapor con turbina de contrapresión - TC.

b) Ciclo a vapor con turbina de condensación con extracciones– TCE
c) Ciclo con gasificación de biomasa integrada con turbina a gas.

Ciclo a vapor con turbina de condensación con extracciones TCE

Cuando se elevan los parámetros de vapor y se substituye la turbina de contrapresión por una turbina de condensación con dos extracciones, este sistema es denominado TCE. Las ventajas principales de este sistema son explicadas por un concepto termodinámico elemental: cuanto mas alta sean la temperatura y presión del vapor y menor la presión de escape, el salto entálpico del vapor será mayor y en consecuencia el trabajo desarrollado por la turbina. Los parámetros iniciales del vapor en estos sistemas están en un rango de presión de 4,2 MPa hasta 8,0 MPa, y una temperatura de 400 a 500 ºC, con una presión de condensación de 0,02 MPa. Por otro lado, los costos de inversión, operación y mantenimiento son mas altos, pero los excedentes de energía eléctrica son considerablemente mayores que para el caso de la tecnología TC, lo que hace rentable la inversión.

Sistemas BIG/GT

Una cantidad considerable de electricidad podría ser generada utilizando tecnologías avanzadas con alta eficiencia de conversión. En este sentido la tecnología integrada de gasificación y turbinas de gas - BIG/GT es muy atractiva para su introducción los centrales azucareros con bajo consumo de vapor. La tecnología BIG GT está en la fase de pruebas a través de varios proyectos demostrativos en Europa y Estados Unidos, en los que se utilizan residuos de madera como combustible. En Australia y Brasil se esta proponiendo implementar plantas pilotos BIG/GT de 3-5 MW de potencia utilizando el bagazo de caña como combustible.

La figura 3 muestra la relación entre el índice de generación excedente ($I_{g.exc.}$) y el consumo específico de vapor en proceso (C_{vapor}), para diferentes tecnologías de cogeneración en centrales azucareros. Se observa como el paso para tecnologías TCE e BIG-GT permite aumentar considerablemente el índice de generación excedente $I_{g.exc}$. Otro aspecto importante es la conveniencia de reducción del consumo de vapor en proceso para maximizar $I_{g.exc}$ cuando se utiliza la tecnología TCE. Para sistemas BIG/GT consumos específicos de vapor menores a 300 kg/tc constituyen una necesidad para viabilizar su operación.

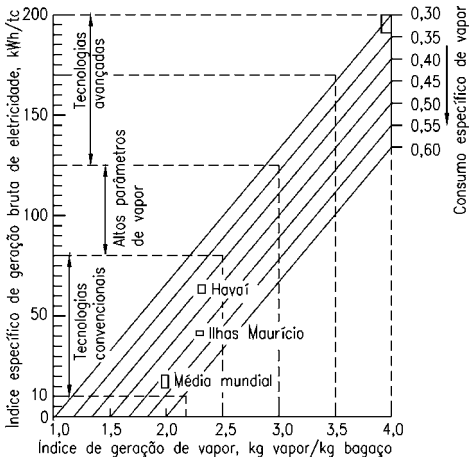


Figura 3 Relación entre el índice de generación excedente ($I_{g.exc.}$) y el consumo especifico de vapor en proceso (C_{vapor}), para diferentes tecnologías de cogeneración en centrales azucareros (Hobson e Dickson, 1998).

Alimento animal

A alimentación del ganado con caña de azúcar, especialmente durante la estación de seca, cuando la disponibilidad de recursos convencionales de forraje é baja, es una practica antigua. Las técnicas usadas han sido casi siempre rudimentarias y no se ha considerado la importancia de los suplementos como medio de mejorar la eficiencia de utilización de la caña de azúcar como alimento animal. Una gran experiencia en relación con la alimentación de ganado con caña de azúcar y derivados es producto de investigaciones realizadas en Cuba a final de los años 60 (Preston y Willi, 1974). Instituciones como el ICIDCA (Cuba), la ESALQ (Brasil), el CIPAV (Colombia), el CETABOL (Bolivia) , entre otros, desarrollan investigaciones relacionadas con el uso de la caña de azucar y sus subproductos para la alimentación de ganado bovino. Penichet y Orama (2004) proponen dividir el potencial de la caña de azucar como alimento animal en dos categorias: Proteinas (levaduras, mostos y mieles hidrolíticas) y carbohidratos (caña integral, mieles, pienso miel-urea-bagacillo, bagazo hidrolizado y paja).

Como alimento exclusivo para rumiantes, la caña tiene un bajo valor alimenticio, por estar desbalanceada en los nutrientes exigidos tanto por los rumiantes como por los microorganismos que viven en el bolo alimenticio. Uno de los factores que limita el uso de la caña como alimento animal es el bajo contenido de proteínas. Experimentos realizados por investigadores del Centro Nacional de Investigaciones del Ganado Lechero y resumidos por Moreira (1983) muestra que la harina de arroz y de trigo son buenos suplementos para dietas a base de caña y urea. Alvarez (1988) reporta una ganancia de peso diario en novillos alimentados con hojas de caña y cogollo de 0,84 kg/dia.

El bagazo de caña posee una baja `digestibilidad, inferior a 35%, y su densidad no ultrapasa 150 kg/m^3. Estos dos factores hacen con que su valor nutritivo sea bajo y limitan su utilización a niveles inferiores a 30% del pienso (base seca). El proceso de hidrólisis con vapor es uno de los tratamientos físico-químicos utilizados para alterar la composición de la fracción fibrosa del bagazo con el objetivo de incrementar su digestibilidad por animales rumiantes hasta valores de aproximadamente 65 % (Gutmanis, 1987). El Centro de Tecnologia de Copersucar (CTC, 1999) propone una formulacion de pienso para bovinos denominada BALEME compuesta por 80 % de bagazo hidrolizado, 15 % de levadura y 5 % de melaza, que es suministrada como el 27,57 % de un pienso de forraje.

Pate (1982) utilizo 30% de bagazo hidrolizado en el pienso y alcanzo ganancias de peso de 1,40 kg/animal día para bovinos confinados en etapa de engorde. De acuerdo con Pereira (1990) la alimentación del ganado con bagazo hidrolizado permite reducir la población y masa de protozoos en el sistema digestivo del animal, mejorando el rendimiento de dietas en base a subproductos de la caña.

Se concluye que la caña de azúcar necesita de complementos proteicos y tratamientos para ser utilizada con éxito en la alimentación del ganado de carne.

III- Descripción de la planilla "Diversificación".

La planilla "Diversificación" para la evaluación de opciones de diversificación es un aplicativo en Excel que simula, calcula y optimiza escenarios reales de producción, costos y ganancias en centrales azucareros que disponen de turbinas de condensación con extracciones – TCE, para tres niveles de presión diferentes: 4,2, 6,0 e 8,0 MPa. La figura 4 muestra la pantalla de entrada de los datos técnicos de la planilla.

La planilla "Diversificación" permite:

- Determinar la variedad y cantidades óptimas de los productos a ser producidos en un central azucarero con producción diversificada, con el objetivo de la maximización de la ganancia en un determinado contexto de costos de producción y precios de mercado.
- Escoger entre dos formulas de pienso bovino a partir del bagazo hidrolizado con la adición de maiz molido, harina de semillas de algodón, levadura líquida, melazas, urea y minerales.
- Analizar la viabilidad de las inversiones en cogeneración de electricidad utilizando tecnologías TCE para los tres niveles de presión definidos en la sección anterior.

- Evaluar el riesgo de la inversión en proyectos de diversificación..

Las herramientas de optimización utilizadas durante el análisis económico-financiero fueron:

a) **La programación lineal:** Determinación de la función objetivo (F.O.) y a partir de ella la combinación lineal de las cantidades óptimas de los diferentes productos a ser producidas.
b) **El método de MonteCarlo**: evaluación del riesgo de la inversión.

Los datos de costos y precios para el azúcar y el alcohol utilizados en la planilla "Diversificación" para el caso de estudio, fueron gentilmente suministrados por un central azucarero de mediano porte localizado en el Estado de Minas Gerais en Brasil.

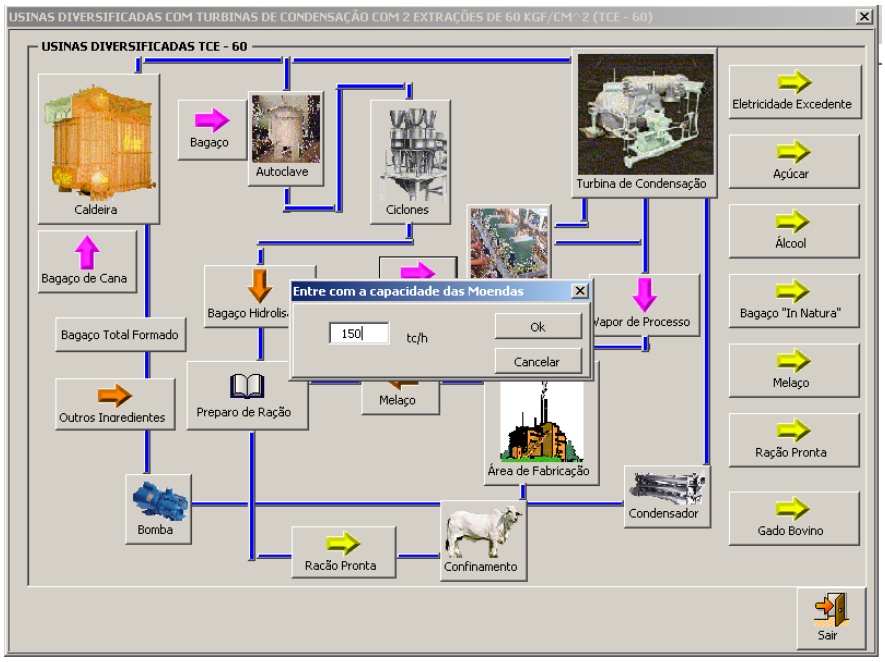


Figura 4- Pantalla de entrada de datos de la planilla "Diversificación" mostrando el esquema principal de una usina diversificada con las ventanas para la entrada de datos técnicos.

IV- Alcance de la simulación.

Durante la simulación fueron asumidas las siguientes condiciones:

- El flujo de vapor en el escape de la TCE tiene un valor mínimo de 20% del valor del mismo a la entrada de la turbina (para la refrigeración mínima necesaria de la sección de baja presión).
- Es considerada solamente la fabricación de 2 productos (azúcar y alcohol) y 5 subproductos (melaza residual, energía eléctrica excedente, pienso para bovinos a base de bagazo hidrolizado, confinamiento del ganado en el propio central - "Hotel para ganado" y bagazo "In Natura" para la venta). No fueron incluidos en el análisis la producción de levadura y el uso energetico del biogas obtenido mediante la biodigestión de la vinaza.
- Los índices de producción de azúcar y alcohol utilizados durante los cálculos se muestran en la tabla I.
- No fueron considerados los "costos de oportunidad".
- Como un central azucarero medio, para los cálculos, se consideró una unidad con capacidad de molienda de 300 tc/h y un consumo de vapor en proceso de 350 Kg de vapor / tc.

- Se consideró que la zafra tiene una duración de 210 días.
- Se consideró la utilización del eucalipto cultivado como combustible alternativo para el período de entre zafra.
- Los cálculos económicos están basados en una tasa de cambio de 2,546 R$/US$.

Tabla I - Indicadores de rendimiento de un central azucarero promedio utilizados durante la modelación.

Indicador	Símbolo	Valor	Unidades
Índice de producción de azúcar	I_A	0,12	t de azúcar / tc
Índice de producción de alcohol	I_{AL}	0,07	m^3 / tc
Índice de generación de la melaza residual	I_M	0,23	t de melaza / t de azúcar

V- Evaluación de los costos y ganancias para los diferentes productos y subproductos por separado.

Centrales azucareros convencionales

Para los centrales convencionales, que comercializan azúcar y alcohol como productos y la melaza residual como subproducto, es posible mostrar una relación equivalente de ganancias, variando los precios practicados durante la comercialización de cada producto. La figura 5 muestra esta relación para un precio de la melaza de 10,00 US$/t.

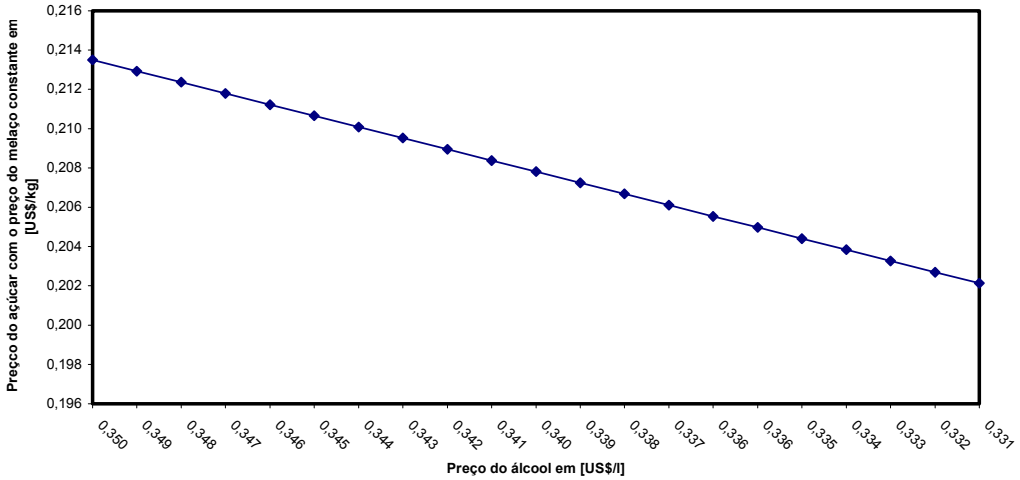


Figura 5- Línea de iguales ganancias y áreas de conveniencia durante la comercialización del azúcar y del alcohol en centrales azucareros con tecnología de cogeneración TCE – 60.

Como se muestra en la figura 5 existe una relación casi lineal entre los precios de comercialización del azúcar y el alcohol en centrales azucareros con tecnología de generación TEC-60 para conseguir la igualdad de la ganancia. Aumentos en los precios del alcohol, necesariamente deberían resultar en aumentos proporcionales en los precios del azúcar y de la melaza residual para poder mantener la relación de igualdad de las ganancias. En la práctica esto no ocurre por lo que esta recta puede variar su inclinación y aumentar o disminuir las áreas de conveniencia (mayor ganancia) para los productos analizados.

Centrales azucareros con producción diversificada

a) Electricidad excedente.

Durante el análisis de centrales con producción diversificada deben ser considerados otros subproductos que pueden ser comercializados, aumentando las ganancias totales. El mas importante de estos subproductos es la electricidad obtenida a partir del bagazo de caña, que permite suministrar energía para el propio central y la comercialización de los excedentes..

Se consideró que el financiamiento para la inversión fue obtenido del Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES) con las siguientes condiciones:

a) Un período de financiamiento de 15 años,
b) 2 años de carencia,
c) Impuestos totales (Spreed Básico + Spreed de Riesgo) de 14% al año
d) Sistema de financiamiento con prestaciones constantes (SAC) (Tabla II).

Tabla II- Composición de la tasa de impuestos para el financiamiento de proyectos del sector eléctrico por el BNDES

DATOS	VALOR
Tasa de impuestos aplicada	Costo financiero + Spread básico + Spread de riesgo ~ 15,25 % a.a.
Costo Financiero	TILP (Tasa de Impuestos a Largo Plazo) ~ 10,25 % a.a. en Julio/2000
Spread básico	2,5 % a.a.
Spread de riesgo	Hasta 2,5% a.a.
Financiamiento	Hasta 80% de la inversión total
Plazos	Hasta 12 años
Carencia	Tiempo de implementación + 6 meses ~ 2 años para nuestro estudio

Siguiendo los criterios de financiamiento mostrados en la tabla II y adoptando los parámetros técnicos y económicos definidos en la tabla III, podemos calcular los costos y ganancias reales en proyectos de generación de electricidad usando bagazo de caña como combustible, con equipos de generación TCE-42, TCE-60 e TCE-80 y considerando el eucalipto cultivado como combustible alternativo para el período de entre zafra. Los menores costos de generación corresponden a los centrales con tecnología TCE 60, como se muestra en la figura 6. En esta figura aparecen los valores medios para diferentes años del periodo de recuperación de la inversión. Menores costos de generación para el central con tecnología TEC-60, resultaran en mayores ganancias en comparación con las otras dos tecnologías, tal como se muestra en la figura 7.

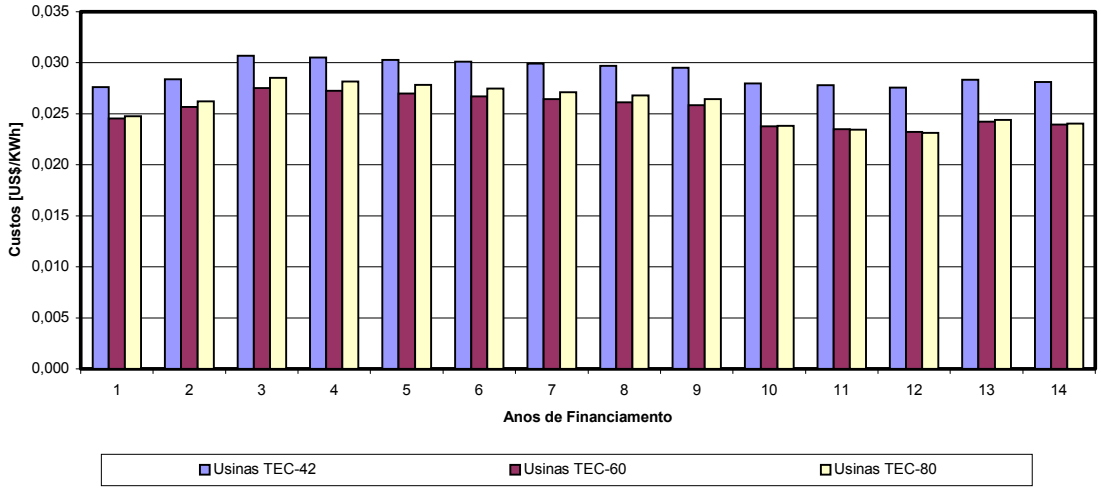


Figura 6- Costos promedios de generación de electricidad en centrales azucareros con tecnología TEC y diferentes niveles de presión.

Tabla III- Parámetros técnicos e económicos referentes a las tecnologías de generación de electricidad analizadas.

Parámetros	**Tecnología**		
	TEC-42	**TEC-60**	**TEC-80**
Presión del vapor (MPa)	4,2	6,0	8,0
Temperatura del vapor (ºC)	450	450	450
Capacidad de los molinos (tc/h)	300	300	300
Consumo de vapor para proceso (t/h)	400	400	400
Potencia eléctrica máxima disponible durante la zafra (MW)	9,50	15,50	10,80
Potencia eléctrica máxima disponible en la entre zafra (MW)	13,90	21,20	15,40
Potencia máxima excedente durante la zafra (MW)	7,90	13,40	9,10
Duración de la zafra (dias / ano)	210	210	210
Costo de inversión en 1 caldera de tubos de agua de 150 t/h de capacidad (US$)	1.778.000,00	2.167.000,00	2.722.000,00
Costo de inversión en 1 turbina + generador de 40 MWe de potencia (US$)	3.132.000,00	5.262.000,00	7.145.000,00
Costo total de la inversión (US$)	4.910.000,00	7.429.000,00	9.867.000,00
Financiamiento del BNDES (80% do total) (US$)	3.928.000,00	5.943.200,00	7.893.600,00
Financiamiento por otra entidad bancaria (20%) (US$)	982.000,00	1.485.800,00	1.973.400,00
Tiempo de financiamiento por el BNDES (Años)	12	12	12
Tiempo de financiamiento por otra entidad bancaria (Años)	8	8	8
Tasa de interés del financiamiento por el BNDES (% a.a.)	15,25%	15,25%	15,25%
Tasa de interés media de la otra entidad bancaria (% a.a.)	18,00%	18,00%	18,00%
Sistema de financiamiento del BNDES	SAC	SAC	SAC
Sistema de financiamiento de la otra entidad bancaria	PRICE	PRICE	PRICE
Tiempo de carencia por el BNDES (Años)	2	2	2
Tempo de carencia de la otra entidad bancaria (Años)	1	1	1

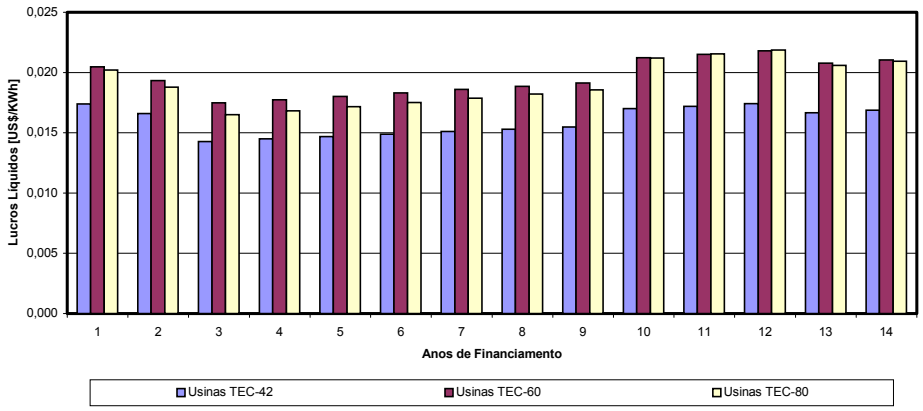


Figura 7- Ganancias especificas netas con la venda de la electricidad excedente.

b) Alimento animal.

Analicemos a continuación las ganancias relacionadas con la producción y comercialización de pienso para bovinos confinados durante la fase final a base de bagazo hidrolizado.

Suponemos que los equipos necesarios para la hidrólisis del bagazo serán adquiridos también con financiamiento del BNDES y con las mismas condiciones que en el caso de equipos energéticos. En la tabla 4 se presentan los parámetros técnico-económicos de los equipos utilizados en la producción de pienso bovino a base de bagazo hidrolizado.

En el caso que se analiza el bagazo hidrolizado es enriquecido con de maíz molido, harina de semillas de algodón, levadura líquida, melazas, urea y minerales, a fin de ser ofrecido como pienso de altas cualidades nutritivas y bajo costo. Esta mezcla ha sido utilizada, durante varios años, en un "Hotel para ganado" anexo a un central azucarero localizado en el Estado de Sao Paulo con muy buenos resultados.

VI- Optimización de la variedad y cantidad de productos en un central de producción diversificada.

La Figura 8 muestra la pantalla con la información sobre los costos de producción, precios de mercado y cantidades producidas en base a la planificación convencional y la optimizada utilizando a planilla "Diversificación". Con base en esta información podemos calcular las ganancias netas por tonelada de cana molida [US$/tc] para cada producto durante el primer año de financiamiento. Las figuras 9, 10 y 11 muestran estos resultados gráficamente.

Para el escenario definido por los datos de la figura 7 resulta más conveniente invertir en la producción de piensos para Bovinos en confinamiento que en la generación de energía eléctrica excedente. Una explicación para este resultado puede estar en el alto costo de generación y los bajos precios de comercialización de la electricidad excedente característicos del escenario utilizado.

Para analizar el caso cuando tenemos variaciones de precios de los productos, situación esta típica y real del mercado, variamos el precio de comercialización de un producto o subproducto de cada vez y analizamos el impacto que este produce en los otros (Impactos tales como reducción o aumento de la ganancia neta total del central cuando mantenemos los volúmenes de producción constantes para todos los productos y subproductos). El programa "Diversificación" permite obtener la distribución óptima de la producción para cualquier variación de los precios de mercado.

Tabla IV- Parámetros técnicos e económicos referentes a la inversión en equipos para la producción de pienso bovino en base a bagazo hidrolizado.

Parámetro	Valor	Unidades
Presión de vapor para los hidrolizadores (Autoclaves)	2,1	MPa
Tiempo promedio de operación de los hidrolizadores	20	h/dia
Consumo de vapor para la hidrólisis	0,35	t de vapor / t de bagaço
Humedad inicial del bagazo	50	%
Humedad final del bagazo	58	%
Capacidad nominal de los hidrolizadores [(a)]	3400	Kg bagaço / h
Tiempo de cocción del bagazo	6	Min
Número de ciclos por hora	3	Ciclos / h
Número de hidrolizadores en operación	6	Unidades
Inversión total em hidrolizadores y ciclones [(a)]	283.385,00	US$
Inversión total en mezcladoras de pienso	24.000,00	US$
Fracción de la inversión financiada por el BNDES [(b)]	80	%
Financiamiento por otras entidades bancarias	20	%

(a) Datos técnicos y precios suministrados por Caldema Equipamentos Industriais Ltda. – Sertãozinho – SP – Brasil.

(b) Líneas de financiamiento del Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social – BNDES en Julio del 2000.

A manera de ejemplo podemos evaluar la variación del precio de comercialización de la energía eléctrica excedente para un central azucarero con tecnología TCE-60 y, su influencia sobre los otros seis productos considerados. Los valores de preciosos asumidos, fueron multiplicados por las cantidades definidas en la Figura 8 para los casos de planificación programada por el usuario (Cálculo que considera solamente las ganancias individuales por producto) y de planificación optimizada por la planilla "Diversificación" (considera la interrelación de las ganancias entre productos).

El precio mínimo estimado para la comercialización de la energía eléctrica excedente fue asumido como de 33 US$/MWh considerando que el costo de generación en el primer año de financiamiento de los equipos de generación de eletricidad (caldera, turbina de condensación con extracciones TCE 60) está alrededor de 26 US$/MWh.

VII- Los riesgos de las inversiones.

Utilizando el método de Monte Carlo, podemos calcular los riesgos de las inversiones para la generación de electricidad y para la fabricación de pienso para bovinos a base de bagazo hidrolizado para centrales diversificados con tecnología TCE – 60. Con este objetivo fue calculado el valor presente neto VPN para 200 alternativas de inversión.

USINAS DE AÇÚCAR DIVERSIFICADAS COM TCE - 60 kgf / cm^2							
Indicadores Anuais Totais							
	Ano do Financiamento	Cap. das Moendas[tc/h]	Cons. Vapor de Processo [kg/tc]	Custos Totais [US$/ano]	Faturamento Anual [US$/ano]	Lucro Líquido [US$/ano]	Lucro Líquido [US$/tc]
Programado	1	300	350	$28.538.105,17	$32.382.829,89	$3.844.724,71	$3,18
Otimizado	1	300	350	$30.194.446,01	$39.419.475,59	$9.262.834,21	$7,66
Custos Unitários por Produto							
	Açúcar [US$/t]	Álcool [US$/m^3]	Melaço Residual [US$/t]	Eletricidade Exc. [US$/MWh]	Ração para Bovinos [US$/t]	Bois Confinados [US$/Diária]	Bagaço Natural [US$/t]
Programado	$177,00	$279,00	$0,00	$26,00	$16,00	$0,20	$0,00
Otimizado	$177,00	$279,00	$0,00	$26,00	$16,00	$0,35	$0,00
Preços Unitários por Produto							
	Açúcar [US$/t]	Álcool [US$/m^3]	Melaço Residual [US$/t]	Eletricidade Exc. [US$/MWh]	Ração para Bovinos [US$/t]	Bois Confinados [US$/Diária]	Bagaço Natural [US$/t]
Programado	$192,00	$289,00	$10,00	$33,00	$40,00	$0,60	$10,00
Otimizado	$192,00	$289,00	$10,00	$33,00	$40,00	$0,60	$10,00
Lucros Líquidos Unitários por Produto							
	Açúcar [US$/t]	Álcool [US$/m^3]	Melaço Residual [US$/t]	Eletricidade Exc. [US$/MWh]	Ração para Bovinos [US$/t]	Bois Confinados [US$/Diária]	Bagaço Natural [US$/t]
Programado	$15,00	$10,00	$10,00	$7,00	$24,00	$0,40	$10,00
Otimizado	$15,00	$10,00	$10,00	$7,00	$24,00	$0,25	$10,00
Produção Anual por Produto							
	Açúcar [t/ano]	Álcool [m3/ano]	Melaço Residual [t/ano]	Eletricidade Exc. [MWh/ano]	Ração para Bovinos [t/ano]	Bois Confinados [Diárias/ano]	Bagaço Natural [t/ano]
Programado	$72.576,00	$42.336,00	$15.817,20	$122.600,74	$25.200,00	$1.470.000,00	$11.913,76
Otimizado	$145.152,00	$0,00	$25.160,11	$0,00	$164.988,66	$5.291.829,56	$152.404,69
Indicadores de Participação no Lucro Total [US$/tc]							
	Açúcar	Álcool	Melaço Residual	Eletricidade Exc.	Ração para Bovinos	Bois Confinados	Bagaço Natural
Programado	$0,90	$0,35	$0,13	$0,71	$0,50	$0,49	$0,10
Otimizado	$1,80	$0,00	$0,21	$0,00	$3,30	$1,09	$1,26
Percentuais de Matéria Prima desviadas para a produção de cada Produto							
	Açúcar (Cana)	Álcool (Cana)	Melaço Residual	Eletricidade Exc. (Bagaço)	Ração para Bovinos (Bagaço)	Bois Confinados (Bagaço)	Bagaço Natural (Bagaço)
Programado	50,00%	50,00%	-	88,70%	3,56%	4,62%	3,12%
Otimizado	100,00%	0,00%	-	0,00%	29,17%	20,83%	50,00%

Figura 8- Costos de producción, precios de mercado e índices de la producción diversificada planificada por el usuario y de la producción optimizada utilizando la planilla "Diversificación".

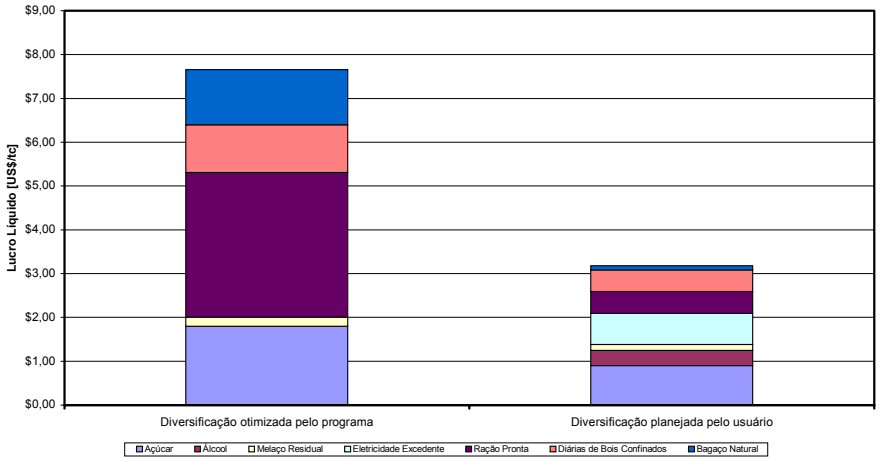


Figura 9- Ganancias netas anuales por tonelada de caña para cada producto durante el primer año de financiamiento (Central azucarero con tecnología TCE – 60).

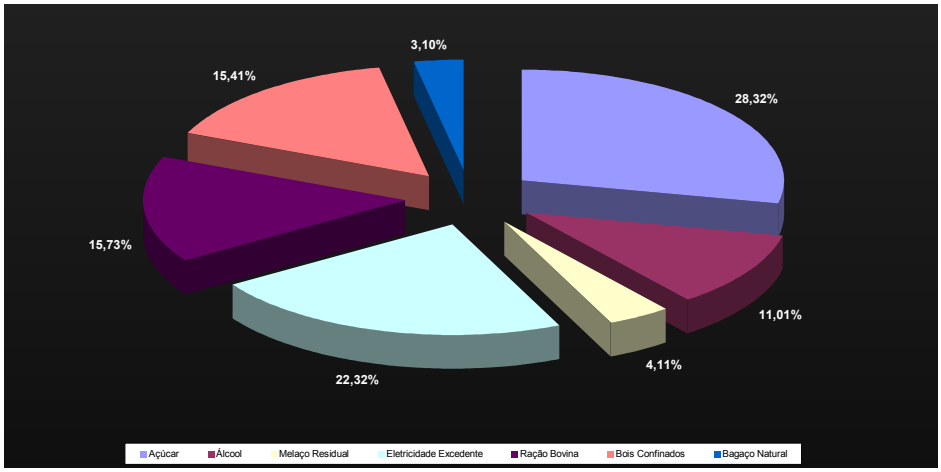


Figura 10- Distribución por productos de las ganancias totales para el caso en que la producción es planificada por el usuario en un central azucarero con tecnología TCE – 60.

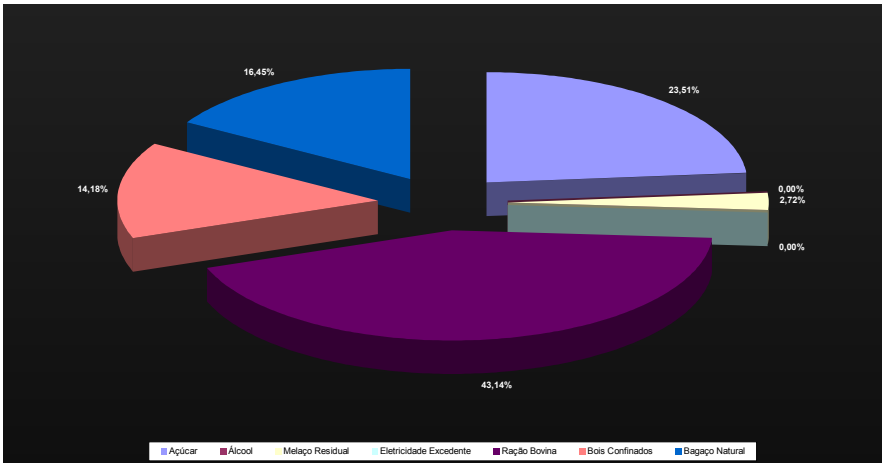


Figura 11- Distribución por productos de las ganancias totales para una producción optimizada utilizando la planilla "Diversificación" en un central azucarero con tecnología TCE – 60.

La distribución de valores presentes neto está constantemente variando porque la planilla "Diversificación" genera automaticamente nuevos números aleatórios para los Valores de Inversión, de Valor Residual, de vida económica y de beneficios anuales con dicha inversión. Es posible agrupar los valores resultantes VPN en intervalos de clases de acuerdo con sus frecuencias acumuladas .

Estas frecuencias ofrecen una aproximación de la distribución de probabilidades para el valor presente líquido del proyecto. Tal aproximación será tanto mejor cuanto mayor sea el número de datos simulados.

Los resultados del análisis de riesgo indican que el proyecto de diversificación de un central azucarero con tecnología TCE – 60 presenta chances de falla (o sea de no presentar viabilidad económica) del orden de 0,63% si producimos las cantidades anuales de cada producto en correspondencia con los resultados de la optimización realizada con la planilla "Diversificación" y, 6,13% de probabilidad de falla para una producción planificada atendiendo a los criterios del usuario. Esta diferencia demuestra las ventajas de utilización de la planilla "Diversificación" para la optimización de la producción anual de cada producto con el objetivo de maximizar las ganancias del central con un riesgo mínimo.

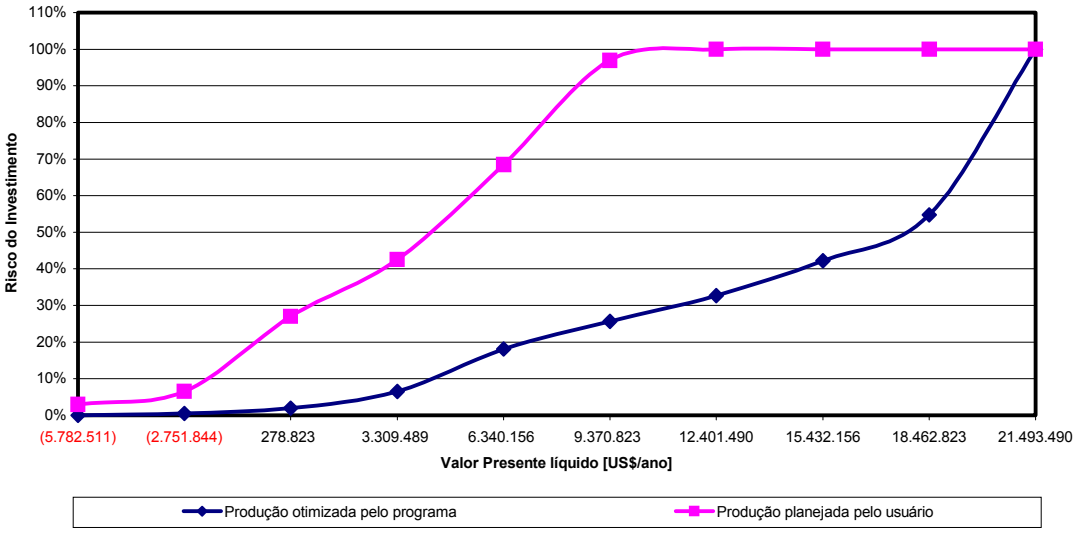


Figura 12- Distribución acumulativa de probabilidades para los valores presentes netos de diferentes opciones de inversión en programas de diversificación en un central con tecnología TCE-60

Podemos obtener un valor medio del valor presente neto. La dispersión medida por el desvio medio nos da una idea de la variabilidad de la viabilidad económica del proyecto de diversificación. El riesgo es un parámetro subjetivo, cuya percepción varia de persona en persona. Como referencia se puede considerar un riesgo como "bajo", cuando su valor es inferior a 5%.

VIII- Conclusiones:

1. La diversificación se justifica económicamente y podría, en principio, aumentar considerablemente las ganancias líquidas específicas de un central azucarero convencional. Para poder materializar este objetivo deberán ser alcanzados nuevos paradigmas tecnológicos relacionados con la disponibilidad comercial de las tecnologías BIG GT. Actualmente, se muestra más atractiva la generación de electricidad con tecnologías de turbinas extracción-condensación con 60 MPa de presión debido a los menores riesgos y mayores lucros alcanzados.
2. El uso de la caña de azúcar como único alimento animal para el período de seca, sea pura o en forma de bagazo "in natura" o hidrolizado, no se muestra como perspectiva viable, debido a los bajos aumentos de peso por animal día y la baja digestibilidad alcanzada en las diversas experiencias presentadas en este trabajo. Pero se torna una alternativa atractiva a medida que se hace un suplemento animal con otros ingredientes y usando la caña, en forma de bagazo hidrolizado, como volumen más importante del pienso, especialmente para ganado bovino confinado en fase final (a partir de los 300 kg de peso vivo).
3. La utilización del bagazo de caña de azúcar para la generación de electricidad tiene un enorme potencial en Brasil. Como aspecto importante debemos considerar que el período de zafra de la caña de azúcar coincide con el de seca en las principales cuencas hidrográficas del parque hidroeléctrico brasileño.
4. El alcohol aparece con perspectivas muy promisorias debido al aumento del precio del petróleo en el mercado internacional y la consecuente alta de precios de la gasolina.
5. En perspectiva seria importante realizar análisis económicos que incluyan la participación de las ganancias que pueden ser alcanzados con la reducción en la emisión de carbono por la cogeneración de electricidad y que representarán sin duda, un incentivo a más para la diversificación en la industria de azúcar y alcohol.

Referencias:

Alvarez, F.J.F. (1988), "Experiencias con la caña de azúcar integral en la alimentación animal en México", p.72-81, in "La caña de azúcar como pienso", Estudio FAO: Producción y Sanidad Animal 72, Editores Sansoucy, R. Aarts, G., Preston, T.R., Roma.

CTC (1999),"Informativo técnico de la Cooperativa de Productores de Caña y Alcohol del Estado de São Paulo Ltda.", Copersucar, 26 de septiembre.

GEPLACEA (1991), "La diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar en América Latina y el Caribe".

Gutmanis, D. (1987), "Utilização do bagaço auto-hidrolisado na alimentação de bovinos", Seminário do curso de Pós-Graduação em Nutrição Animal e Pastagens, ESALQ, USP, Piracicaba-SP.

Hobson, P.A., Dickson T. F. (1998), Gasification Technology – prospects for large-scale high-efficiency cogeneration in the Australian Sugar Industry**.** Proceedings of The Australian Society of Sugar Cane Technologists, Vol 20, pp. 1-9.

Moreira, H.A.(1983), Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 9(108):14-16.

Orama, J.M., Penichet, L.G., "La agroindustria de la caña de azucar en un marco de desarrollo sostenible", ICIDCA, www.monografias.com.trabajos12/mnagraz/mngraz.shtml.

Pate, F.M.(1982), Value of treated bagasse with steam under pressure for cattle feed. In: Trop. Agric. 59(4): 293-297. USA.

Pereira, M.(1990), Tese de Mestrado, ESALQ, USP, Piracicaba.

Preston, T.R. & Willis, M.B. (1974), Intensive beef production. 2th ed. Billing & Sons Ltda., Guildford and London.

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE SISTEMAS CON CÉLULAS LIBRES E INMOVILIZADAS EN SOPORTES INORGÁNICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE XILITOL A PARTIR DE HIDROLIZADO DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Júlio César dos Santos, Solange Inês Mussatto*, GiulianoDragone, Silvio Silvério da Silva.

Departamento de Biotecnologia – Faculdade de Engenharia Química de Lorena.
Rodovia Itajubá-Lorena Km 74,5, CEP 12600-970, Lorena/SP, Brasil.
* E-mail: solange@debiq.faenquil.br

RESUMEN

Se estudió la producción de xilitol a partir de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar, usando células de *Candida guilliermondii* libres e inmovilizadas por adsorción en zeolita y vidrio poroso. Las fermentaciones fueron conducidas en bateladas simples, en frascos Erlenmeyer a los cuales fueron adicionados 50 ml de medio de cultura y 5 g de soporte de inmovilización. Las células fueron inmovilizadas *in situ* en el soporte de adsorción natural, a través del contacto directo del inóculo con el vidrio o la zeolita en el inicio de la fermentación. La concentración del xilitol obtenida al final de la fermentación fue mayor en el sistema con células libres (35 g/l), correspondiendo a un factor de rendimiento de xilosa en xilitol (Yp/s) de 0,72 g/g y una productividad volumétrica (Qp) de 0,49 g/(l.h). Ambos sistemas con células inmovilizadas resultaron en una concentración final de producto de aproximadamente 29 g/l, con valores de Yp/s y Qp de 0,5 g/g y 0,3 g/(l.h), respectivamente. El menor desempeño para el sistema con vidrio poroso puede ser atribuido a limitaciones nutricionales para las células inmovilizadas, ya que en este caso, cerca de 50% de las células estaban adsorbidas al soporte al final de la fermentación. Cuando las zeolitas fueron utilizadas, las células inmovilizadas representaron apenas 30% de la población final, siendo observado, entretanto, inmovilización apenas en la superficie externa de las esferas de soporte. Las células inmovilizadas apenas superficialmente, estarían mas sujetas al estrés debido a la fricción entre las esferas, lo que explicaría el menor desempeño observado.

Palabras Clave: bagazo de caña de azúcar, hidrolizado hemicelulósico, *Candida guilliermondii,* células inmovilizadas, xilitol

EVALUATION OF SYSTEMS PERFORMANCE WITH FREE AND IMMOBILIZED CELLS IN INORGANIC CARRIERS, FOR XYLITOL PRODUCTION FROM SUGARCANE BAGASSE HYDROLYSATE

ABSTRACT

Xylitol production was evaluated from sugarcane bagasse hemicellulosic hydrolysate using *Candida guilliermondii* cells, free and immobilized by adsorption in zeolite and in porous glass. Batch fermentations were carried out in Erlenmeyers flasks, which contained 50 ml cultivate medium and 5 g immobilization carrier. Cells were immobilized in situ to the carrier, by natural adsorption, through direct contact between the inoculum and glass or zeolite, at the beginning of the fermentation run. At the end of the fermentations, the xylitol concentration was higher in the system with free cells (35 g/l), corresponding to a xylose-to-xylitol yield factor ($Y_{P/S}$) of 0.72 g/g and a volumetric productivity (Q_P) of 0.49 g/(l.h). Both systems with immobilized cells resulted in a final product concentration of about 29 g/l, with $Y_{P/S}$ and Q_P values of 0.5 g/g and 0.3 g/l.h, respectively. The low performance of the porous

glass system could be attributed to nutritional limitations of the immobilized cells, since that in this case, around 50% of the cells were adsorbed to the carrier at the end of the fermentation. Employing zeolite, the immobilized cells represented only 30% of the final population, and the immobilization was just observed at the carrier surface. The low performance observed could be explained by the stress of surface immobilized cells due to the friction among beads.

Key words: sugarcane bagasse, hemicellulosic hydrolysate, *Candida guilliermondii*, immobilized cells, xylitol

INTRODUCCIÓN

Materiales lignocelulósicos son fuentes abundantes de compuestos orgánicos, presentando gran potencial de uso como materia prima en procesos industriales para la producción de alimentos, combustibles, insumos químicos, enzimas y bienes de consumo diversos (Lowrier, 1998). Entre estos materiales, el bagazo de caña de azúcar, subproducto de la industria azucarera obtenido después de la molienda de la caña para la producción del caldo, tiene una producción mundial estimada en 234 millones de toneladas por año (Orlando y otros, 2002). La mayor parte del bagazo es utilizada en la propia industria, como fuente energética en sustitución del aceite combustible, en el proceso de calentamiento de las calderas y para la generación de energía eléctrica. Algunos otros usos para este subproducto han sido viabilizados comercialmente, pero todavía existe un excedente y muchos trabajos de investigación han sido desarrollados para su aprovechamiento. Entre estos trabajos, se puede destacar el uso del hidrolizado de la fracción hemicelulósica del bagazo de caña de azúcar para la producción de xilitol, un azúcar-alcohol con 5 átomos de carbono, empleado en las industrias alimenticia, odontológica y farmacéutica (Winkelhausen y Kuzmanova, 1998; Uhari, Tapiainen y Kontiokari, 2000).

El interés de las industrias por el xilitol, se justifica por propiedades como su poder edulcorante semejante al de la sacarosa y principalmente, por sus características anti-cariogénicas (Bär, 1991; Autio, 2002). Actualmente, este polialcohol es producido por vía química a partir de hidrolizados de madera, proceso que presenta importantes desventajas, como el uso de altas presiones y temperaturas y la necesidad de etapas de purificación de la xilosa presente en el hidrolizado (Winkelhausen y Kuzmanova, 1998). La existencia de desventajas en el proceso convencional de producción de xilitol, motivó investigadores a buscar vías alternativas. Uno de los procesos más atractivos, es la vía microbiológica, la cual presenta ventajas como el uso de condiciones amenas de presión y temperatura (Silva y otros, 1997) sin necesidad de utilización de xilosa pura, ya que los microorganismos son capaces de convertir xilosa en xilitol, directamente a partir el hidrolizado (Roseiro y otros, 1991).

Recientemente, los estudios sobre la vía biológica han sido direccionados para el establecimiento de los parámetros operacionales y de las opciones de proceso, que maximizan la producción de xilitol. Una opción poco estudiada, y que debidamente optimizada podría contribuir para un mejor desempeño de este bioproceso, es el uso de técnicas de inmovilización de células.

Diversas ventajas pueden ser citadas con relación al uso de células inmovilizadas. Mayores concentraciones celulares pueden ser alcanzadas en el medio de fermentación, con un consecuente aumento en la eficiencia y productividad del proceso. Además, la facilidad de separación del sistema inmovilizado del medio fermentado, permite su reutilización en procesos con bateladas repetidas (Corcoran, 1985; Ramakrishna y Prakasham, 1999; Park y Chang, 2000).

La obtención de resultados satisfactorios con el uso de células inmovilizadas, depende de la elección adecuada del soporte de inmovilización. Esta elección, entretanto, depende de trabajos experimentales, ya que no existe un método teórico capaz de prever la mejor opción para un dado proceso. En trabajos anteriores (Santos y otros, 2003; Santos y otros, 2004) fue estudiado el comportamiento de sistemas con células inmovilizadas en vidrio poroso, en reactor de lecho fluidizado. El presente trabajo tuvo como objetivo contribuir para un mejor conocimiento del comportamiento del proceso fermentativo de producción de xilitol, usando células inmovilizadas por adsorción. Fue realizada entonces la comparación del desempeño de sistemas con células libres e inmovilizadas por adsorción en esferas de vidrio poroso, evaluándose también un nuevo soporte de inmovilización: esferas de zeolita.

Para esto, fueron empleadas células de la levadura *Candida guilliermondii* cultivadas en frascos Erlenmeyer con medio basado en hidrolizado de bagazo de caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención y tratamiento del hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar

Fueron utilizadas muestras de bagazo de caña de azúcar provenientes de la Usina Guarany (Olímpia/ SP, Brasil). El hidrolizado hemicelulósico fue obtenido en reactor de acero inoxidable con capacidad de 350 litros, empleándose H_2SO_4 98% como catalizador en una relación de 100 mg H_2SO_4 / g de materia seca durante 10 min a 12ºC, utilizándose una proporción de 1/10 entre masa de bagazo y volumen de la solución de H_2SO_4. Después de enfriado, el hidrolizado fue centrifugado y almacenado en cámara fría a 4ºC. El hidrolizado fue entonces concentrado a presión reducida, en un rotaevaporador con capacidad volumétrica de 6 litros a 70ºC, a fin de obtenerse una concentración de xilosa en el inicio de la fermentación de 55 g/l. Después de la etapa de concentración, el hidrolizado fue tratado conforme metodología establecida por Alves y otros (1998), siendo enseguida autoclavado a 0,5 atm durante 15 min.

Microorganismo y preparo del inóculo

Fue utilizada la levadura *Candida guilliermondii* FTI 20037, la cual fue mantenida en medio agar extracto de malta a 4ºC. El inóculo fue preparado por cultivo de la levadura en frascos Erlenmeyer de 125 ml conteniendo 50 ml de medio compuesto de 30 g/l de xilosa, 3 g/l de sulfato de amonio, 0,1 g/l de cloruro de calcio y 10% v/v de extracto de salvado de arroz. Las células cultivadas en incubadora con movimiento rotacional y agitación de 200 rpm, a 30ºC por 24 h, fueron recuperadas por centrifugación a 2000 x g por 20 min, lavadas y resuspendidas en agua destilada esterilizada. Volúmenes adecuados de esta solución fueron utilizados como inóculo para obtener una concentración celular inicial en el reactor de 1 g/l.

Para obtención del extracto de salvado de arroz, se preparó una suspensión de salvado de arroz en la proporción de 200 g de salvado para cada litro de agua. La suspensión fue entonces autoclavada por 15 min a 0,5 atm. Después del enfriamiento, el sobrenadante fue separado por centrifugación a 2000 x g por 30 min y utilizado en los experimentos.

Soportes de inmovilización

Como soportes de inmovilización fueron utilizadas esferas de vidrio poroso y zeolita. Fue utilizado vidrio poroso en esferas con diámetro promedio de 2,53 mm y tamaños de poros <300 μm, adquirido de Bioengineering (Wald, Suiza). Este soporte fue previamente tratado con una solución de ácido nítrico (10% p/v), de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Con relación a la zeolita, fueron utilizadas esferas de zeolita adquiridas de la empresa Plury Química S.A. (Diadema/SP, Brasil), cuyo nombre comercial es Baylith WE 894. Este soporte fue previamente tratado conforme sigue: las esferas fueron colocadas en un Erlenmeyer con solución de ácido clorhídrico 0,5% en la proporción de 1:5 (masa de esferas: volumen de solución) y mantenidas en agitación durante 4 h. Posteriormente, las zeolitas fueron lavadas con una corriente de agua destilada durante 24 h y secadas en estufa a 105°C.

Inmovilización de las células de *Candida guilliermondii*

Las células fueron inmovilizadas *in situ* por adsorción natural a través del contacto directo del inóculo con el soporte, en el inicio de la fermentación.

Medio de cultivo

El hidrolizado fue suplementado con 3 g/l de sulfato de amonio, 10% v/v de extracto de salvado de arroz y 0,1 g/l de cloruro de calcio.

Condiciones de fermentación

Las fermentaciones fueron conducidas en frascos Erlenmeyer de 125 ml, a los cuales fueron adicionados 50 ml de medio de cultivo y células de *Candida guilliermondii* obtenidas conforme descrito anteriormente, en cantidad adecuada para la obtención de una concentración inicial de 1 g/l. Para los experimentos con células inmovilizadas, fueron adicionados a los frascos 5 g de soporte (masa seca). Las fermentaciones fueron conducidas en incubadora de movimiento rotacional a 200 rpm y temperatura de 30°C. Muestras periódicas fueron retiradas para análisis de células, sustratos y productos. El final de la fermentación fue considerado como siendo el tiempo necesario para alcanzar un consumo de xilosa >90%.

Métodos analíticos

La concentración de células libres en el medio de fermentación fue determinada por la lectura de la densidad óptica (DO) a 640 nm en espectrofotómetro BECKMAN DU 640B y correlacionada con la masa seca de células (g/l).

La cantidad de células inmovilizadas en el soporte fue determinada de la siguiente manera: las muestras con células inmovilizadas fueron secas en estufa a 105°C hasta masa constante. Fueron anotadas las masas y enseguida, las esferas de soporte fueron quemadas hasta cenizas en mufla a 750°C (vidrio poroso) o 950°C (zeolita), de forma que toda sustancia orgánica fue calcinada. La diferencia entre las masas de soporte medidas a 750/950°C y 105°C fue considerada como siendo la masa de células inmovilizadas contenida en la muestra. La misma, sirvió de base para el cálculo de la concentración de células inmovilizadas (el tenor de cenizas de las células fue determinado por procedimiento semejante y la masa de cenizas oriunda de la levadura, fue considerada en los cálculos). Fue realizado también un experimento en blanco con soporte sin células inmovilizadas, para descontar de los cálculos cualquier diferencia de masa debida a sustancias orgánicas contenidas en las esferas o posible pérdida de agua de hidratación.

Las concentraciones de glucosa, xilosa, arabinosa, xilitol, ácido acético y etanol fueron determinadas por HPLC en cromatógrafo SHIMADZU LC-10-AD. Las muestras fueron previamente filtradas en filtro *Sep Pak* C18 e inyectadas en el cromatógrafo, utilizándose las siguientes condiciones: columna BIO-RAD AMINEX HPX-87H (300 x 7,8 mm) mantenida a 45°C; volumen de inyección de 20 μl; detector de índice de refracción RID 6A; fase móvil H_2SO_4 0,01 N y flujo de 0,6 ml/min.

Las superficies de los soportes fueron micrografiadas en microscopio electrónico de barredura LEO1450VP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conforme puede ser observado en la Tabla I, la mayor concentración de xilitol (35,51 g/l) fue obtenida usándose células libres de *Candida guilliermondii*. En este caso, la productividad volumétrica en xilitol fue de 0,49 g/(l.h) y el factor de rendimiento en xilitol fue de 0,72 g/g, correspondiendo a una eficiencia de 78,52%. Cuando células inmovilizadas fueron utilizadas, los valores de concentración de producto, Yp/s y Qp fueron 26%, 26% y 32% menores que los obtenidos con células libres, respectivamente. También, se obtuvo baja producción de etanol en todos los experimentos, hecho observado en otros trabajos (Barbosa y otros, 1988; Santos y otros, 2003).

Puede observarse también, en la Tabla I, que la concentración celular total fue mayor cuando fueron utilizadas células inmovilizadas, siendo que el valor obtenido con el uso de vidrio poroso fue casi el doble del relativo a células libres. Debe destacarse entonces, que en el caso del uso de células libres, además de la mayor producción de xilitol, tanto la producción de biomasa cuanto la de etanol, fueron las menores obtenidas, indicando estar el metabolismo celular dirigido para formación del producto de

interés. Cuando fueron utilizadas células inmovilizadas, el metabolismo celular fue direccionado de la producción de xilitol para otras vías.

Tabla I. Resultados obtenidos para las fermentaciones con células libres e inmovilizadas en los soportes vidrio poroso y zeolita.

Experimento	Pf (g/l)	Et (g/l)	Xf (g/l)	Inmov (%)	Yp/s (g/g)	η (%)	Qp (g/(l.h))	qx (g/(g.h))
Células libres	35,51	3,97	5,32	-	0,72	78,52	0,49	0,092
Células inmovilizadas en vidrio poroso	29,48	4,92	10,48	49,62	0,53	57,80	0,33	0,031
Células inmovilizadas en zeolita	28,76	5,18	6,65	28,87	0,52	56,71	0,32	0,048

Pf =concentración final de xilitol; Et = concentración final de etanol; Xf = concentración celular total final; Inmov = relación entre la concentración de células inmovilizadas y concentración celular total al final de la fermentación; Yp/s = factor de rendimiento en xilitol (relación entre la concentración de xilitol formada y la cantidad de xilosa consumida); η = eficiencia de conversión de xilosa en xilitol (relación entre los valores obtenido y teórico de Yp/s, siendo el valor teórico de 0,917 g/g conforme Barbosa y otros, 1988); Qp = productividad volumétrica en xilitol; qx = productividad específica (relación entre Qp y Xf) al final de la fermentación

Con relación a la formación de biomasa, una posible explicación para los mayores valores obtenidos con células inmovilizadas, está relacionada con la disponibilidad de oxígeno para las células. Las esferas sólidas en movimiento en el medio líquido, podrían facilitar la mezcla de éste con el aire, aumentando la tasa de disolución de oxígeno del medio. Este oxígeno, disponible en mayor cantidad para las células, favorecería el desvío del metabolismo celular para formación de biomasa en detrimento de la producción de xilitol. De hecho, el desvío de metabolismo de la levadura *Candida guilliermondii* bajo condiciones de mayor aeración, ha sido relatado en otros trabajos (Carvalho y otros, 2003; Santos y otros, 2004). Santos y otros (2004), trabajando con esta misma levadura inmovilizada en vidrio poroso y cultivada en reactor de lecho fluidizado, observaron un efecto positivo de la aeración en la concentración de biomasa, siendo que la concentración celular aumentó, en promedio, 8,4 g/l cuando la aeración fue elevada de 0,031 para 0,093 vvm. En este mismo trabajo, el aumento del flujo de aire resultó en una disminución de la concentración final de producto.

Un hecho inherente al uso de células inmovilizadas por adsorción, es la presencia de células libres en el medio de fermentación (Brodelius y Mosbach, 1987). Los resultados obtenidos (Tabla I) mostraron que al final de la fermentación, apenas mitad de las células estaba bajo la forma inmovilizada cuando se utilizaron esferas de vidrio poroso y menos de 30% de la biomasa estaba adsorbida a las esferas de zeolita. Los diferentes comportamientos con relación a la fracción de células inmovilizadas observados con el uso del vidrio poroso y de la zeolita, están relacionados a las características específicas de cada soporte utilizado. Conforme puede ser observado en la Figura 1, la estructura del vidrio poroso está compuesta por poros con tamaño suficiente para abrigar las células microbianas, al contrario de la estructura de la zeolita (Figura 2). Así, conforme mostrado en las Figuras 1 y 2, la superficie total disponible para la adsorción de las células microbianas en el soporte, era mayor en el vidrio poroso y por lo tanto, las levaduras crecieron colonizando el interior de los poros de este soporte. En el caso de las

esferas de zeolita, entretanto, apenas la superficie externa estaba disponible para adsorción de las células, resultando en una saturación mas rápida de la superficie del soporte y consecuentemente, en una mayor fracción de células libres en el medio de fermentación.

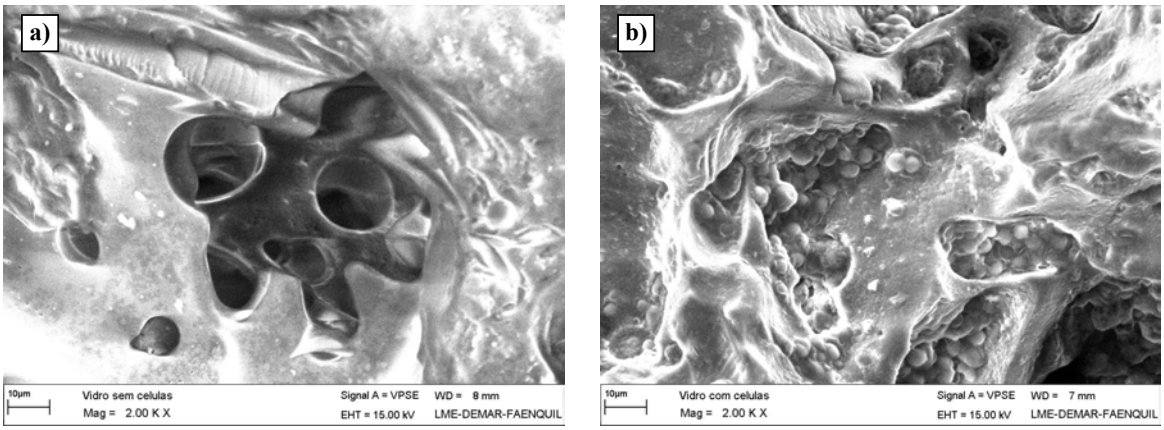


Figura 1. Micrografía obtenida en microscopio electrónico de barredura (aumento de 2000x, a vacío): **a)** vidrio poroso sin células inmovilizadas, **b)** vidrio poroso con células inmovilizadas.

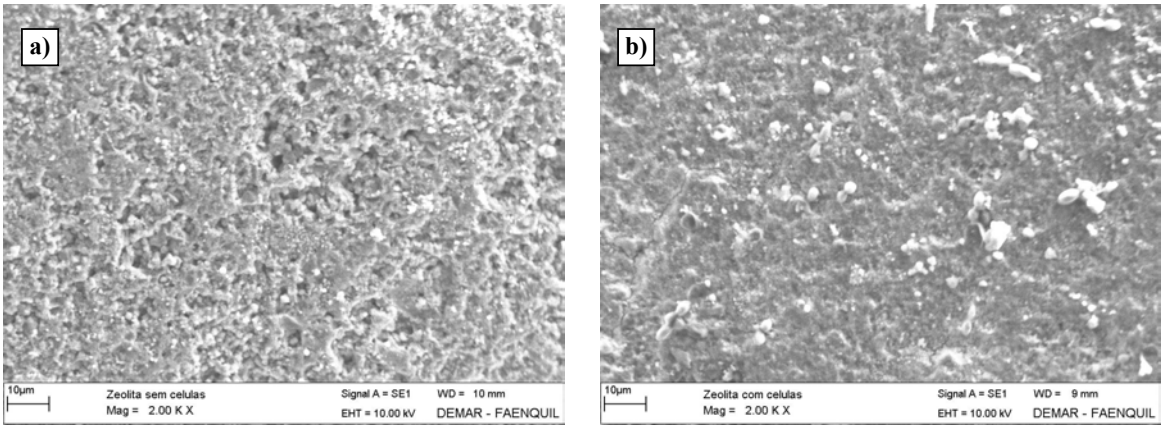


Figura 2. Micrografía obtenida en microscopio electrónico de barredura (aumento de 2000x, a vacío): **a)** zeolitas sin células inmovilizadas, **b)** zeolitas con células inmovilizadas.

Las diferentes características de los soportes utilizados también pueden explicar el desempeño más bajo observado para la producción de xilitol. Para el caso del vidrio poroso, las tasas de transferencia de sustratos, nutrientes y productos para las células inmovilizadas (cerca de 50% de la población al final de la fermentación) pueden haber sido perjudicadas, debido a que éstas crecieron en el microambiente de los poros del soporte. Esta hipótesis es apoyada por el bajo valor de productividad específica obtenido (Tabla I), cerca de tres veces menor que el observado con células libres. Este hecho, aliado al desvío metabólico para producción de biomasa discutido anteriormente, explicaría la menor producción de xilitol obtenida. Dificultades de transferencia de masa cuando células de *Candida guilliermondii* fueron inmovilizadas en vidrio poroso para producción de xilitol, fueron sugeridas por Silva y otros (2003). En ese trabajo, los autores trabajaron en medio basado en xilosa comercial y el cultivo fue realizado en reactor de lecho fluidizado. Estas mismas dificultades, podrían explicar el bajo desempeño observado en otros estudios usando el mismo soporte en reactor de lecho fluidizado (Santos y otros, 2003; Santos y otros, 2004) para producción de xilitol a partir de hidrolizado de bagazo de caña de azúcar.

Esta explicación, entretanto, no sería suficiente para el bajo desempeño del sistema con zeolitas, debido a que el microambiente de las células adsorbidas apenas en la superficie del soporte no es muy diferente del ambiente al cual están sometidas las células libres en el medio líquido. En este caso, al contrario de lo ocurrido con el vidrio poroso, las células inmovilizadas estaban directamente expuestas al efecto de estrés causado por la fricción entre las esferas. Este efecto puede haber sido responsable por el bajo desempeño obtenido con este soporte.

CONCLUSIONES

La producción de xilitol usando células inmovilizadas *in situ* por adsorción natural en vidrio poroso y zeolita, se muestra como una alternativa para la bioproducción de este polialcohol. El menor desempeño observado con el uso de células inmovilizadas cuando comparado al obtenido con células libres, indica la necesidad de más estudios procurando la optimización de este proceso a través de la modificación de las condiciones de cultivo o del sistema de fermentación utilizado con las células adsorbidas en el soporte. Con relación al vidrio poroso, la viabilización del bioproceso para la producción de xilitol sería dependiente de un sistema con mejores condiciones de control para la transferencia de sustratos, nutrientes y productos. Tal vez un sistema "Air-lift" fuese más adecuado. Otra posibilidad, sería el uso de un vidrio poroso con diámetros o tamaños de poro diferentes de los utilizados en este trabajo. Con relación a las zeolitas, la fricción entre las partículas parece ejercer el efecto más importante, resultando en estrés celular y consecuente pérdida de desempeño. Así, el estudio de sistemas con menor fricción entre las partículas, podría mejorar el desempeño en la producción del xilitol.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de los órganos CNPq, CAPES y FAPESP.

REFERENCIAS

Alves, L.A., Felipe, M.G.A., Silva, J.B.A., Silva, S.S., Prata, A.M.R. (1998), *Appl Biochem Biotechnol* 70/72, 89-98.

Autio, J.T. (2002), *J Dent Child* 69, 81-6.

BÄR, A. (1991), Xylitol (O'breen Nabors, L., Gelardi, R.C. ed.). *Alternative sweeteners*. Marcel Deckker, Inc., New York, pp. 349-379.

Barbosa, M.F.S., Medeiros, M.B., Mancilha, I.M., Scheneider, H., Lee, H. (1988), *J Ind Microbiol Biot* 3, 241-51.

Brodelius, P., Mosbach, K. (1987), Immobilization techniques for cells and organelles. (Mosbach, K. ed.) *Immobilized Enzymes and Cells*, Academic Press, London, v.135, pp. 173-358.

Carvalho, W., Silva, S.S., Santos, J.C., Converti, A. (2003), *Enzyme Microb Tech* 32, 553-559.

Corcoran, E. (1985), The production and use of immobilized living microbial cells (Wiseman, A. ed.) *Topics in Enzyme and Fermentation Biotechnology*. Ellis Horwood, England, v. 10, pp. 12-50.

Louwrier, A. (1998), *Biotechnol Appl Bioc* 27, 1-8.

Orlando, U.S., Baes, A.U., Nishijima, W., Okada, M. (2002), *Bioresource Technol* 83, 195-198.

Park, J.K., Chang, H.N. (2000), *Biotechnol Adv* 18, 303-319.

Ramakrishna, S.V., Prakasham, R.S. (1999), *Curr Sci* 77.

Roseiro, J.C., Peito, M.A., Gírio, F.M., Amaral-Collaço, M.T. (1991), *Arch Microbiol* 156, 484-490.

Santos, J.C., Carvalho, W., Silva, S.S., Converti, A. (2003), *Biotechnol Progr* 19, 1210-1215.

Santos, J.C., Converti, A., Carvalho, W., Mussatto, S.I., Silva, S.S. (2004), *Process Biochem*, in press.

Silva, S.S., Ribeiro, J.D., Felipe, M.G.A., Vitolo, M. (1997), *Appl Biochem Biotech* 63/64, 557-563.

Silva, S.S., Santos, J.C., Carvalho, W., Aracava, K.K., Vitolo, M. (2003), *Process Biochem* 38, 903-907.

Uhari, M., Tapiainen, T., Kontiokari, T. (2000), *Vaccine*, 19, S144-S147.

Winkelhausen, E., Kusmanova, S. (1998), *J Ferment Bioeng* 86, 1-14.

PRODUCTION OF LACTIC ACID WITH FREE AND IMMOBILIZED THERMOPHIL BACTERIA BACILLUS COAGULANS

Rosenberg Michal[1], Krištofíková Ľudmila[1], Rebroš Martin[1], Sláviková Lucia[1], Forsthoffer Július[2]
[1]*Department of Biotechnology, FChPT-STU, Radlinského 9, Bratislava, Slovakia; e-mail: mitoros@yahoo.com*
[2]*MEGA a.s., Pod Vinicí 83, Stráž pod Ralskem, Czech republic,* www.mega.cz

Abstract

Lactic acid is one of the most used acids in food industry. It can be produced by several microbiological producers such as *Lactobacillus, Bifidobacteria, Streptococcus* etc. Research in our laboratory is focused on the production of lactic acid with thermophile gram negative bacteria *Bacillus coagulans,* which is able to produce termostabile spores. Production optimum which is between 52-55°C is the main advantage of this microorganism, because culture is very stable towards contaminations. The fermentation ability has been studied in batch cultures with free and immobilized cells on glucose, sucrose and lactose mediums. Spores of microorganism have been immobilized to polyvinylalcohol, lens-shaped capsules called LentiKats®. Concentration of sugars in mediums was 80 g/l, medium was pasteurized and inoculated with spores. Fermentation of both glucose and sucrose medium with free cells took 28 hours and the final concentration of lactic acid was 80 g/l. Lactose fermentation was unsuccessful. Process took 48 hours and the final concentration of lactic acid was just 24 g/l. Fermentation with immobilized spores was much more effectively. The batch fermentation took 10-12 hours for both glucose and sucrose mediums and was tested for 20 days without any changes in production abilities of microorganism.

Introduction

Lactic acid fermentation has received extensive attention for over a long time period, but there are still some open questions. Traditional production of lactic acid is based on batch and fed-batch fermentations followed by downstream processing that has been shown to reach as much as 70% of the total manufacturing costs (Stanbury et all. 1995).

Various mesophilic lactic bacteria strains are used to produce lactic acid such as *Lactobacillus plantarum, Lactobacillus helveticus* and *Lactobacillus delbrückii*. However, these strains are not suitable for industrial production of lactate because of high contamination risk. Thermophilic strains are ideal for this production, because sterile conditions are not necessary anymore. For this reason, *Bacillus coagulans* (Ohara 1996, Payot 1999) and *Bacillus* sp. (Danner 2002) as a lactic acid producer at high temperature have been investigated recently. The main advantage of *Bacillus coagulans* is its production optimum, which is between 52-55°C, and makes culture very stable towards contaminations.

L-lactic acid is widely used in food and pharmaceutical industry, because of adaptability of human body to assimilate this form of acid. It is also used as a starting material for producing of a polylactic acid, a biodegradable plastic.

The goal of these studies was to determine the feasibility of immobilization of *Bacillus coagulans* in a polyvinylalcohol, lens-shaped capsules called LentiKats®. These papers compare the production of lactic acid in batch cultures with free and immobilized cells on glucose, sucrose and lactose mediums.

Material and Methods

A thermophilic strain *Bacillus coagulans* CCM 4318 was used in this study. The cell suspension was maintained on MRS medium with $CaCO_3$ at 4°C.

The experiments were carried out in a 5 l glass reactor equipped with devices for temperature and pH value control.
The *Bacillus* vegetative inoculum was prepared by transfer of culture into medium containing (g/l): glucose, resp. sucrose or lactose 60, yeast extract (Oxoid) 5, $MgSO_4.7H_2O$ 0,2, $(NH_4)_2HPO_4$ 1, $MnSO_4.4H_2O$ 0,05, $FeSO_4.7H_2O$ 0,01 and incubated 24 h at 50°C. 150 ml of inocula was transferred into 5 l fermenter containing 2,5 l of lactic acid production medium (glucose, resp. sucrose or lactose 80, yeast extract (Oxoid) 10, $MgSO_4.7H_2O$ 0,2, $(NH_4)_2HPO_4$ 1, $MnSO_4.4H_2O$ 0,05, $FeSO_4.7H_2O$ 0,01. Culture was incubated at 50 –52°C at 200 rpm/min, the pH was maintained between 6.3 –6.5 by addition of 26% NH_4OH.
Spore suspension have been diluted on the concentration of about 10^6 cell/ml and 10 ml of this suspension was used as inoculum to 2,5 l of lactic acid production medium. The fermentation conditions were the same as mentioned above.

The immobilization of bacterial cells to a polyvinyl alcohol was performed on pilot plant equipment of Mega, a.s. The conversion in batchwise mode was carried out in 5 l glass reactor equipped with devices for temperature and pH value control. Production medium for lactic acid production (2.6 l) was first boiling the short time and than cooled on 51°C. After that the immobilized bacteria cells were added to the medium. At a conversion level of 95-99% the lentiKats were filtered, washed and used in the next conversion cycle by adding fresh substrate.

Biomass concentration of free cells in medium was estimated using a correlation between optical density measurement at 620 nm and cell dry weight. Biomass concentration in immobilizates was determined as cell dry weight within melted LentiKats. Glucose, sucrose, lactose and lactic acid was analyzed by HPLC using a IEX H form column (Watrex, Czech republic). Analysis was done at 50ºC with 9 mM sulfuric acid as the eluent at a flow rate of 0,7 ml/min.

Results and Discussions

The strain *Bacillus coagulans* CCM 4318 is an atypical strain for lactic acid production. The optimum temperature for growth and lactic acid production is between 50-52°C. The thermophilic character of this microorganism is ideal for industrial production of lactic acid.
In the present communication we have focused on the effect of saccharidic substrates (glucose, sucrose, lactose) on lactic acid production with free and immobilized cells of *Bacillus coagulans*. Fermentations were carried out in 5 l laboratory fermenter under semi anaerobic conditions. Typical experimental data for substrate consumption and lactic acid production by free cells are shown in Fig. 1-3.

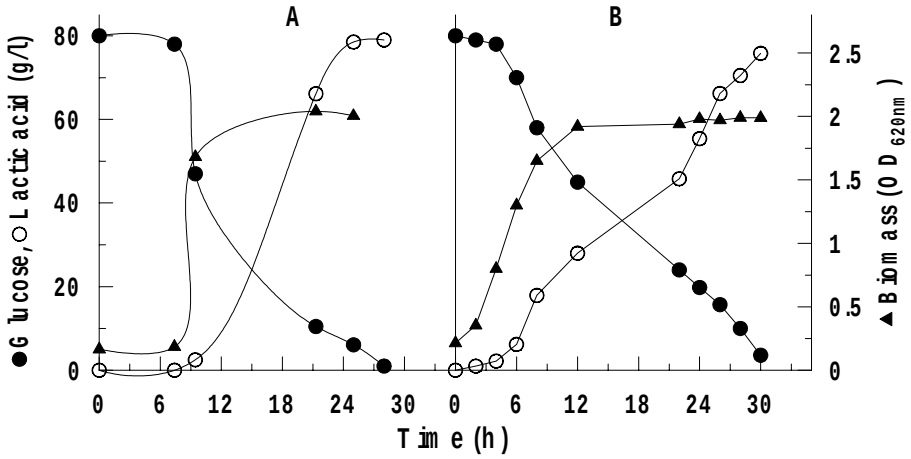


Fig. 1 Lactic acid production by *Bacillus coagulans* CCM 4318 on glucose medium. (A) Spore inoculum; (B) Vegetative inoculum

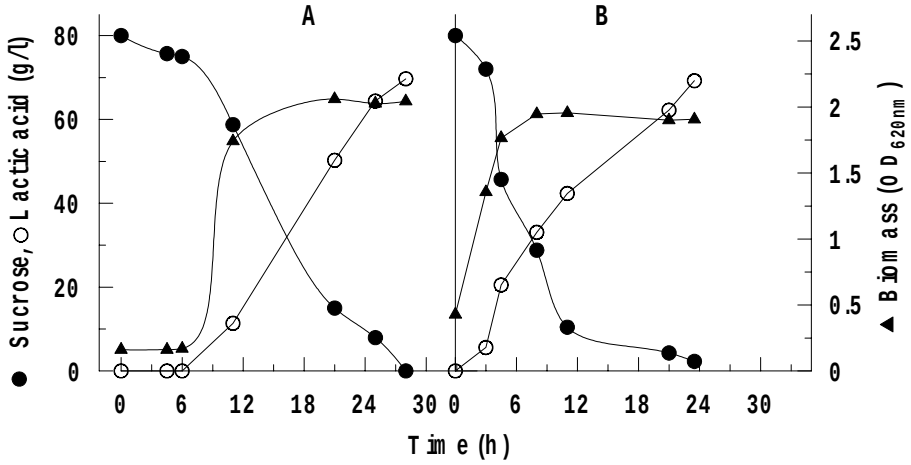


Fig. 2 Lactic acid production by *Bacillus coagulans* CCM 4318 on sucrose medium. (A) Spore inoculum; (B) Vegetative inoculum

Fermentation on sucrose and glucose medium (Fig. 1 and 2) for spore inoculum show same pattern of microoganism growth, consumption of substrate and lactic acid production. Lag phase of both fermentations took 7,5 hours. The yield of lactic acid was 97,5% for glucose and 96,9% of theoretical for sucrose medium after 28 hours of fermentation. For vegetative forms of inoculums, smaller yields have been detected for both types of fermentations. Advantage of vegetative inoculums fermentations were just shorter lag phase, but longer total time of the process.

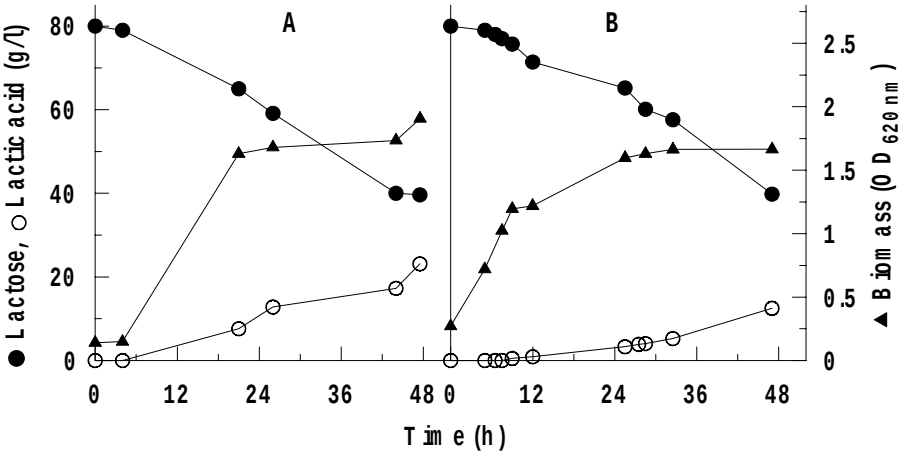


Fig. 3 Lactic acid production by *Bacillus coagulans* CCM 4318 on lactose medium. (A) Spore inoculum; (B) Vegetative inoculum

Fermentations of lactose medium (Fig. 3) for spore and vegetative inoculums were highly different from fermentations on glucose and sucrose ones. After 48 hours of fermentation, concentration of lactic acid was just 24 g/l with residual lactose of about 38 g/l for spore inoculums. Adequate results have been achieved with vegetative inoculums.

Second step of ours experiments was *Bacillus coagulans* spores immobilization and their testing in repeated batch fermentations. Results from repeated batch experiments with spores immobilizate in LentiKats on sucrose medium are shown on Fig. 4. After each batch fermentation, immobilizates have been separated and used for next conversion. Specific production rate (q) was between 23-29 mg of lactic acid/g of LentiKats/h after the second conversion (after accumulation of biomass within immobilizates). Each batch fermentation took from 6 to 10 hours, and system was stable for 20 fermentations without any significant changes.

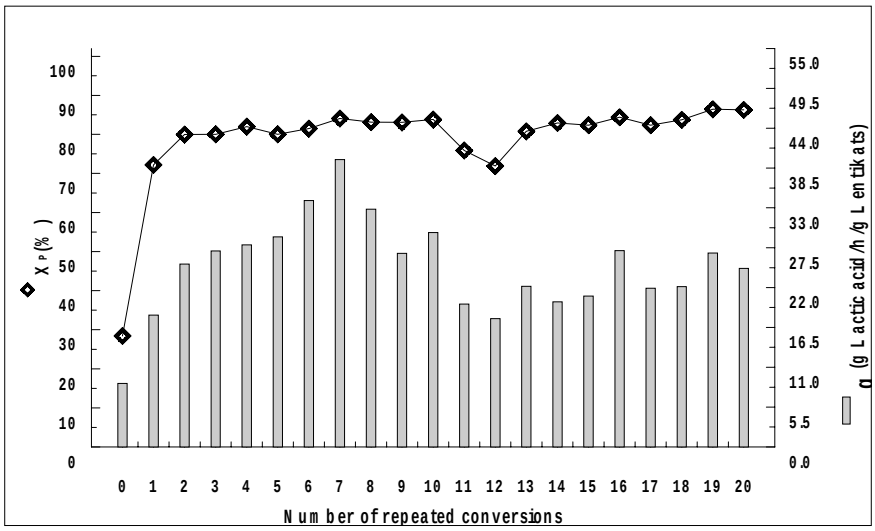


Fig. 4 Repeated batch fermentations of *Bacillus coagulans* immobilized in LentiKats on sucrose medium. X_p- ratio between immobilized and total biomass in fermenter.

The same conditions have been chosen for fermentation on lactose mediums. The only one change was the initial concentration of substrate, which was 60 g/l. First six conversions haven't been effective, because of small concentration of biomass within LentiKats. During the sixth batch fermentation it reached 0,065 g of biomass/ g of LentiKats, and next conversions started to be more effective. These fermentations took from 20 to 24 hours, with specific production rate (q) of about 11 g of lactic acid/g of LentiKats/h. Results are presented in Fig. 5.

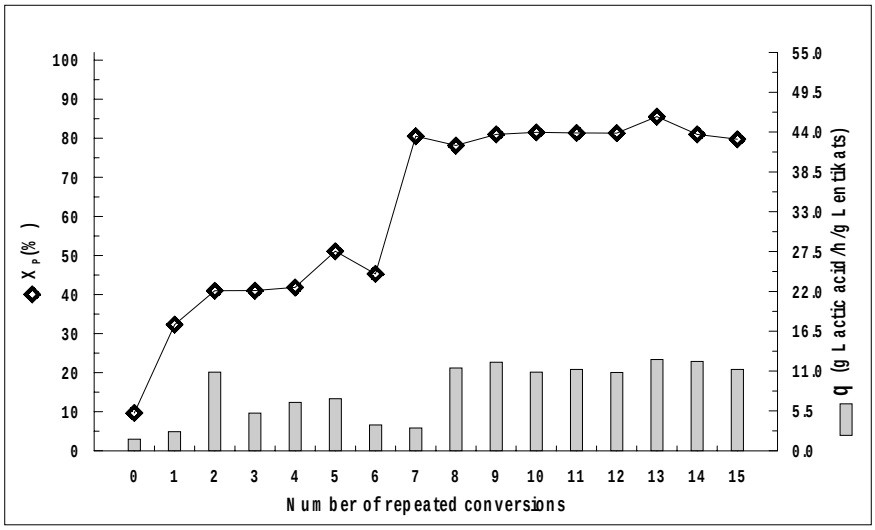


Fig. 5 Repeated batch fermentations of *Bacillus coagulans* immobilized in LentiKats on lactose medium. X_p- ratio between immobilized and total biomass in fermenter.

From these results it is significant that fermentations on sucrose medium for free and immobilized cells are more effective than for lactose medium, fermentations with immobilized cells have due to higher concentration of biomass in the system higher production rates and immobilizates could be used for several fermentations without any changes in production rates.

References

Danner, H., Madzingaidzo, L.,Thomasser, C., Neureiter, M., Braum, R. (2002), *Appl. Microbiol. Biotechnol*. 59, 160-169.

Ohara, H., Yahata, M. (1996), *J. Ferment. Bioeng*., 81, 272-274.

Payot, T., Chemaly, Z., Fick, M. (1999), *Enzyme Microb. Technol*. 24, 191-199.

Stanbury, P.F., Whitaker, A., Hall, S.J. (1995), Principles of fermentation technology, 2nd edn. Pergamon, UK.

OBTENCION DE MEZCLA DE FITOSTEROLES A PARTIR DE LA CACHAZA DE LA CAÑA DE AZUCAR.

PHYTOSTEROLS OBTAINMENT FROM SUGAR CANE MUD

Hung, BR, Tirado, S. Balcinde, Y, Falero, A, Pérez, C., Martí, E, Ligthbourne, E, Aguila, B., Fonseca, M, Blanco A, López, M

Departamento de Procesos, Dirección de Biotecnología, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de la Habana, Cuba. e-mail: blanca@biocnic.cneuro.edu.cu

RESUMEN

En Cuba, la situación actual de la industria azucarera ha brindado un nuevo impulso a la búsqueda de nuevos productos o aplicaciones a partir de los derivados de la caña de azúcar, como vía ineludible para aumentar su aprovechamiento integral y la eficiencia en la producción azucarera, al mismo tiempo que se proporciona mayor valor agregado a los subproductos de los centrales azucareros. Los compuestos químicos que pueden obtenerse a partir de los subproductos por sistemas de extracción relativamente simples, constituyen una de las opciones con mayores perspectivas. La cachaza, además de su aprovechamiento agropecuario como abono en la agricultura y complemento en la alimentación animal, presenta amplias posibilidades para su uso como derivado, debido a la diversidad en su composición química.

En el presente trabajo, realizado en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas, se estudia la obtención de la mezcla de fitosteroles a partir de la cachaza de caña de azúcar. Se analizaron diferentes procesos de extracción empleando acetona, hexano y eter dietílico como solventes. El procedimiento desarrollado es tecnológicamente posible.

ABSTRACT

The current situation of cuban sugar industry has given a new motion to the search of novel products or application for sugar cane by-products. This will increase their profit and the efficiency for sugar cane mills. Chemical products can be obtained from sugar cane by-products through simple extractions systems. The mud can be used as fertilizer in agriculture and as a part of animal feed but it also has wide possibilities because of it chemical composition.

A process for the obtainment of phytosterol mixture from sugar cane mud at the National Center for Scientific Research was studied. Different extraction procedures and solvents as acetone, hexane and diethyl ether were used. The method is technologically feasible.

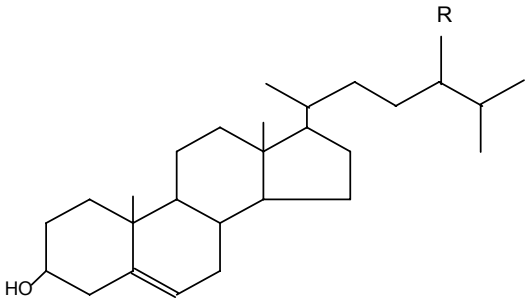
Palabras clave: Fitosteroles, caña de azúcar, cachaza
Key words: Phytosterol, sugar cane, mud

INTRODUCCION

Los esteroides constituyen un grupo de sustancias estructuralmente afines que se encuentran ampliamente distribuidos en animales y plantas. Debido a las crecientes demandas de la industria farmacéutica se han buscado nuevas fuentes de precursores esteroidales que puedan ser transformados en compuestos de interés médico.

Las mezclas de fitosteroles de origen vegetal son uno de los ejemplos de los materiales usados para la síntesis de nuevas sustancias que tienen propiedades farmacológicas o que se utilizan a su vez para la producción de drogas esteroidales, como los corticoides y hormonas sexuales, de gran uso en la industria farmacéutica. Se ha encontrado la existencia de núcleos esteroidales en los residuos de nuestra industria azucarera, fundamentalmente, se han realizado estudios utilizando la cachaza seca de la caña de azúcar (Navia y col.,1970) o a partir del aceite de cera de caña, el cual contiene hasta un 10% de mezcla de fitosteroles (Martin,1976, Molerio,1980).

Por lo general, los esteroles conocidos son sólidos cristalinos incoloros, solubles en solventes orgánicos relativamente apolares. Pueden encontrarse en estado libre o formando ésteres de ácidos grasos. Todos tienen un núcleo ciclopentanoperhidrofenantreno y presentan un grupo hidróxido en el carbono 3. La mayoría de los esteroles naturales poseen una cadena lateral de 8 a 10 átomos de carbono y un enlace doble en el C-5 (Fig. 1).



Colesterol (R=H)
Campesterol (R=Me)
Sitosterol (R=Et)
Estigmasterol (R=Et; insat. (C-22))

Fig.1 Estructura general de los esteroles.

Durante la producción de azúcar de caña se obtienen cera y cachaza como productos colaterales, entre otros. La cera es usada para la obtención de aceite rico en mezcla de fitosteroles. La no disponibilidad de aceite de cera de caña y el encarecimiento de la obtención de mezcla de fitosteroles a partir de este aceite, ha limitado el uso de la mezcla de fitosteroles como materia prima en la producción de precursores esteroidales, por lo que el objetivo de este trabajo ha sido buscar nuevas alternativas para su obtención.

Existen numerosos reportes de obtención de diferentes tipos de esteroles a partir de variadas fuentes vegetales y animales. En todos los casos se realiza una extracción con saponificación posterior, seguida de una separación de la fracción insaponificable con solventes.

Los esteroles se han obtenido a partir de jabones de aceite vegetal o grasa animal tratados con mezcla de solventes hidrofílicos (Johansson,1977), mediante la saponificación de la cera y la posterior separación de las fases saponificables e insaponificables con mezcla de solventes (Bertholet,1992) a través del

tratamiento de la pulpa de madera, saponificación y separación con el uso de acetona, alcohol y agua en diferentes proporciones (Kutney,1992, Kutney,1995) y según Kodali (2001), que desarrolló el método de extracción de los esteroles contenidos en sustancias como grasas y aceites con mezclas acuosas.

Zayas y col.,(1997) desarrollaron una técnica de extracción sólido - líquido en un equipo soxhlet, para la obtención de una fracción rica en fitosteroles (extractable). Para este procedimiento utilizaron la cachaza de caña de azúcar como materia prima.

Una posibilidad alternativa sería el empleo de las microondas en el primer paso de extracción de los fitosteroles. Esta técnica está siendo ampliamente utilizada en la síntesis y extracción de compuestos orgánicos por sus ventajas (Loupy, 1998), por lo que ha alcanzado un vertiginoso desarrollo en la última década.

En el presente trabajo se estudia la obtención de la mezcla de fitosteroles a partir de la cachaza de caña de azúcar. Se analizaron los procesos de extracción empleando soxhlet, reactores e irradiación con microondas y, como solventes, acetona, hexano y eter dietílico, obteniendo resultados positivos.

MATERIALES Y METODOS

PREPARACION DE LA CACHAZA

Para la obtención de los extractos ricos en fitosteroles se utilizó cachaza seca del Central "América Libre" de Provincia Habana. La cachaza previamente se secó en un secador de bandejas durante 30 horas a 80°C o expuesta al sol durante 5 días, hasta alcanzar una humedad de 10 a 17 %. Posteriormente se molió en un molino de cuchillas modelo FURNA, hasta un tamaño de partículas de 0.5 mm. Se le determinó el porciento de humedad y el contenido de cenizas.

METODOS DE EXTRACCION DE LA FRACCION RICA EN FITOSTEROLES

Se compararon 3 métodos de extracción.

Soxhlet: Se aplicó el método reportado por Zayas y col,[9] (1997). Para la obtención de los extractables se realizó una extracción sólido-líquido de la cachaza seca en soxhlet, utilizando como solvente hexano comercial, con una relación muestra/solvente de 1/6 y 1/25 (PS/V) para un total de 30 descargas. El rendimiento se reportó en base al peso seco obtenido con respecto a la cachaza seca inicial.

Reactor: Se realizó la extracción con dos lavados, en un reactor cilíndrico de latón, agitado por paleta, empleando como solvente hexano comercial, a 68°C durante 1 hora, con una relación muestra/solvente de 1/6 y 1/25 (PS/V).

Todos los experimentos anteriores se realizaron con tres réplicas.

Irradiación con microondas: Se utilizó un horno doméstico Gold Star con frecuencia de 2450 MHz y potencia de salida de 850 W. En un erlenmeyer de 300 mL de capacidad se añadieron 20 g de cachaza y hexano en una relación muestra/solvente 1/6 y 1/25 (PS/V), y se irradiaron las muestras variando el tiempo y la potencia del equipo de microondas (5 min.; 10% de potencia) y (1 min.; 100% de potencia). Cada experimento se realizó con cuatro réplicas.

Extracción final de los fitosteroles: Se realizó la saponificación de la fracción obtenida por soxhlet y reactor (extractables) a reflujo con KOH al 6 % en etanol 90º GL, con posterior separación usando una mezcla de hexano:eter dietílico (3:1) en una relación de 60:1 con respecto al extracto saponificado. Los fitosteroles se cuantificaron por cromatografía gaseosa.

ANALISIS ESTADISTICO

El procesamiento estadístico de los datos se realizó a través del análisis de varianza de clasificación simple ANOVA-1 y el método de comparación de medias de rangos múltiples de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

La cachaza empleada tiene un contenido de humedad de 9.81 % y un contenido de cenizas de 35,94 % (B.S.)

Los resultados alcanzados en la obtención de una fracción rica en fitosteroles con los diferentes métodos y condiciones de extracción empleados, se presentan en la Tabla I.

Tabla I

Resultados de la extracción con hexano de una fracción rica en fitosteroles a partir de la cachaza de caña de azúcar

Extracción	Tiempo/ Potencia min/%	Muestra/ solvente g/mL	Extracto (media) %[1]	ES	Varianza
Soxhlet	---------	1/25	12.30 a	1.55	2.4
Soxhlet	---------	1/6	6.31 b	0.97	0.94
Reactor	---------	1/25	6.76 b	0..09	0.008
Reactor	---------	1/6	4.74 c	0.10	0.01
Irradiación	1/100	1/25	3.31 d	0.16	0.03
Irradiación	5/10	1/25	3.11 de	0.12	0.14
Irradiación	1/100	1/6	2.34 de	0.11	0.13
Irradiación	5/10	1/6	2.13 e	.08	0.006

1 – % con respecto al peso seco inicial de cachaza.
ES - Error estándar.
Letras diferentes indican diferencias significativas en la comparación de las medias dentro de cada variable, según la prueba de Newman-Keuls ($p<0.05$)

Al comparar los resultados obtenidos para las diferentes relaciones muestra/solvente aplicadas se puede observar que, al utilizar una proporción de 1/25 muestra/hexano se alcanzan rendimientos en la cantidad de extractables significativamente mayores que al utilizar la relación 1/6, en el reactor y el soxhlet. En la irradiación, si bien la tendencia es a aumentar los rendimientos al aumentar la cantidad de solvente, la diferencia no fue significativa.

Cuando se comparan los rendimientos al aplicar la extracción por irradiación con microondas, en las diferentes condiciones empleadas, no hay diferencias significativas entre aplicar 5 min y 10% de la potencia o 1 min y 100% de la potencia, independientemente de la relación sólido/solvente empleada. Teniendo en cuenta estos resultados, lo más recomendable sería utilizar 1 min y 100% de la potencia, pues el tiempo utilizado en la extracción es menor, lo que hace el método más económico, y fueron las condiciones de mayores rendimientos. Si embargo, de los resultados anteriores se puede afirmar que la

irradiación no es efectiva en la extracción de fitosteroles de la cachaza en las condiciones probadas, porque los rendimientos fueron significativamente menores que en el resto de los métodos comparados.

Como se puede observar, de todos los métodos y condiciones aplicados, la extracción en soxhlet y reactor fueron las de mejores resultados, siendo la extracción realizada en soxhlet mucho más eficiente que la que se realiza en reactor, pues hay una diferencia altamente significativa entre los rendimientos de extractables obtenidos por ambos métodos. La cantidad de extractables obtenida con soxhlet duplica la que se extrae en el reactor.

De todo lo anterior se deduce que el procedimiento tecnológico más eficiente para realizar la extracción de la fracción rica en fitosteroles es utilizando el soxhlet y una relación de solvente de 1/25.

Si se comparan los resultados obtenidos con los reportados por Zayas y colaboradores (1997), se obtuvieron rendimientos en extractables mucho mayores, (12,30 % comparados con 5.1 % obtenido por Zayas). En ambos casos se empleó la misma proporción de solvente (1/25), por lo que estas diferencias pueden deberse a la diferente procedencia de la cachaza, que motiva una gran variabilidad en sus componentes, tal como se reporta en la literatura, o a otros factores tales como el momento de cosecha, etc.

Se realizó la saponificación de los extractables obtenidos por extracción en soxhlet y reactor, con acetona y hexano como solventes, con posterior separación de los fitosteroles usando mezcla de hexano/eter dietílico. Se analizó el rendimiento alcanzado expresado como porciento en peso con respecto a la cachaza inicial y también como % en peso del contenido de fitosteroles en la fracción de extractables obtenida. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla II.

Tabla II

Resultados del proceso de extracción en soxhlet y reactor.
Relación cachaza/solvente 1/6

Tratamiento	Solvente	Rendimiento Extractables %[1]	Rendimiento Fracción de Fitosteroles %[1]	Fracción Fitosteroles/ Extractables %[2]	Fitosteroles (CG)/ Extractables %[3]
Soxhlet	Hexano	6.31 ± 1.38 a	2.62 ± 0.49 a	41.6 ± 0.9 a	2.10 ± 0.09 b
Reactor	Hexano	4.74 ± 0.10 b	1.94 ± 0.14 b	40.8 ± 3.4 a	4.3 ± 0.9 a
	Acetona	4.08 ± 0.57 b	0.94 ± 0.16 c	23.1 ± 3.5 b	2.4 ± 0.6 b

1 - % peso /peso seco inicial de cachaza
2 - % peso fracción fitosteroles/peso extractables
3 - % fitosteroles (CG)/extractables
(CG) – Cromatografía Gaseosa
Letras diferentes indican diferencias significativas en la comparación de las medias dentro de cada variable, según la prueba de Newman-Keuls ($p<0.05$)

En el análisis estadístico para un nivel de confianza del 95 %, se detectó que existen diferencias significativas en la fracción de fitosteroles obtenida entre todos los tratamientos realizados. La cantidad de extractables y crudo de fitosteroles totales obtenidos para el soxhlet fueron superiores a los obtenidos en el reactor para ambos solventes. Los resultados en el reactor, empleando hexano como solvente fueron superiores a cuando se emplea acetona, ya que aunque se obtienen rendimientos semejantes en extractables, la fracción final de fitosteroles fue mayor.

El hexano realiza una extracción más eficiente de los fitosteroles que la acetona, lo que se expresa en un mayor rendimiento en la fracción final de fitosteroles y en la cantidad de fitosteroles extraída determinada por cromatografía gaseosa. Cuando se emplea acetona en la extracción previa a la saponificación, todos los resultados fueron inferiores (Tabla II), aunque el rendimiento en extractables es el mismo. Ello se debe a que se extraen menos fitosteroles, pero más de otras fracciones (resultados no mostrados).

CONCLUSIONES

- De todos los métodos empleados, la extracción con Soxhlet y una relación de solventes de 1/25 fue la más eficiente para obtener una fracción rica en fitosteroles con un rendimiento de extractables de 12.30 %.
- El método de extracción utilizando las microondas para irradiar no es adecuado para extraer la fracción rica en fitosteroles a partir de la cachaza en las condiciones probadas empleando hexano como solvente.
- Cuando se realiza la extracción inicial de la cachaza con hexano, los rendimientos en fitosteroles son mayores que con acetona.

REFERENCIAS

Bertholet, R., (1992). US Patent. No 5,159,124.

Johansson, A., Kivikari, R., Soukas, E., (1977), US Patent. No 4,044,031.

Kodali, D.R., (2001), US Patent. No 6,303,803.

Kutney, J.P., Novak, E., y Jones, P.J., (1995), CAN Patent.No 2,201,328

Kutney, J.P., Novak, E., y Jones, P.J., (1998), US Patent No 5,770.749.

Navia, D. A., y col., Rev. Cub. Farm. 4, 27-35, 1970.

Loupy, A. y otros., (1998), Journal of Synthetic Organic Chemistry, 1213-1233.

Martín, C.K.A., Wagner F., European J. of Appl. Microbiol., 2, 243, 1976.

Molerio, J. S. Rev. CNIC. 11, (1,2) 1980.

Zayas, O., Redondo, D., Herrera,N., (1997), Revista del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vol XXXI - No.2.

APLICACIONES BIOMEDICAS DE LOS FITOSTEROLES. TENDENCIAS ACTUALES

CURRENT TRENDS IN MEDICAL APPLICATIONS OF PHYTOSTEROLS

Hung, BR

Departamento de Procesos, Dirección de Biotecnología, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de la Habana, Cuba. e-mail: blanca@biocnic.cneuro.edu.cu

RESUMEN
Los fitosteroles son compuestos solamente sintetizados por las plantas y se encuentran presentes en los animales como una consecuencia de su ingestión en la dieta**.** Diversos estudios epidemiológicos a menudo demuestran una estrecha correlación en el consumo de dietas ricas en vegetales y frutas con la reducción de la incidencia de diversas enfermedades entre las que podemos citar el cáncer, enfermedades cardiovasculares, la diabetes y otras enfermedades crónicas, efecto que no puede ser atribuido a la sola presencia de vitaminas y minerales. La mayor parte de las investigaciones se han concentrado en los efectos protectores de sustancias ya caracterizadas, de conocidos efectos beneficiosos sobre la salud, entre las que se encuentran el β-caroteno, tocoferoles, vitamina C y los fitoestrógenos. En general, se ha ignorado la importancia relativa de los fitosteroles, probablemente por los reconocidos efectos perjudiciales que presentan algunos tipos de grasa para la salud. Otra posible causa es que los fitosteroles se encuentran normalmente en los aceites vegetales y en las frutas y vegetales, pero en cantidades que generalmente no son significativas como para manifestar sus efectos terapéuticos.

Aunque a la mayoría de los esteroles no se le conocen actividades biológicas específicas en la naturaleza, excepto como componentes de las membranas celulares, se han reportado diversas acciones al ser ingeridos a determinadas dosis, entre ellas reductor del colesterol, inhibidor del crecimiento en células de cáncer, antiinflamatorio, antipirético, efecto liberador de insulina, inmunomodulador y otros. Se discuten las aplicaciones biomédicas de los fitosteroles, así como las tendencias actuales.

ABSTRACT
Phytosterols are chemical compounds only synthesized by plants that are get by animals through the diet. Some epidemiological studies have shown vegetable intake to be related to a lower incidence of some illness as cardiovascular disease, diabetes, cancer or other chronic disease. Most recent research work has been focused in protective effects of known substances as β-carotene, tocopherols, vitamin C, and phytoestrogens. The relative importance of phytosterols has been ignored because of the negative effects of fats in health perhaps. Another cause is that phytosterols are normally presents in vegetal oils and fruits but in such quantities not enough to make their therapeutic effects evident.

Though the biological activities of phytosterols in nature are not well known, some effects have been reported recently after systematic ingestion of certain dose of them. For example they have plasma cholesterol lowering properties, anti-cancer activity, anti-inflammatory, anti-pyretic, and insuline-releasing effects, act as immune modulators and others. The current trends and medical applications of phytosterols are discussed.

Palabras claves: Fitosteroles, aplicaciones
Key words: Phytosterols, applications

INTRODUCCION

Los esteroles se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. Se les encuentra en forma libre, como ésteres o como glicósidos. Todos contienen un núcleo ciclopentanoperhidrofenantreno y presentan un grupo hidroxilo en el carbono 3. La mayoría de los esteroles naturales poseen una cadena lateral de 8 a 10 átomos de carbono y un enlace doble en el C-5 (Figura1). Los distintos esteroles sólo difieren en su cadena lateral y sin embargo presentan grandes diferencias en sus acciones biológicas en el organismo humano.

En los animales superiores se encuentra fundamentalmente el colesterol, el cual es un constituyente fundamental de membranas y precursor de sustancias fisiológicamente importantes (hormonas, ácidos biliares, vitamina D, etc.). En las plantas superiores se encuentran principalmente los denominados fitosteroles: β-sitosterol, campesterol, y estigmasterol. Los fitosteroles son compuestos solamente sintetizados por las plantas y que se encuentran presentes en los animales como una consecuencia de su ingestión en la dieta. En los hongos y levaduras se encuentra principalmente el ergosterol. Un esterol menos común es el fucosterol, el cual es el esteroide principal de muchas algas pardas y también se le ha detectado en el coco. Los animales inferiores y plantas filogenéticamente poco evolucionadas contienen mezclas complejas de esteroles con modificaciones estructurales variadas tales como núcleos sin el carbono 4 (A-nor esteroles), sin el carbono 19 (19-nor esteroles), con varias insaturaciones, con anillos ciclopropano, etc. (Martínez, 2002).

Los fitosteroles se encuentran en casi todas las partes de las plantas, pero sobre todo en las semillas y retoños. Los aceites vegetales tienen el contenido más elevado de fitosteroles, aunque también se encuentran, en menor concentración, en todas las frutas y vegetales.

MATERIALES Y METODOS

Se consultó la base de datos MEDLINE y se realizó búsqueda en otros sitios para localizar literatura relacionada con el tema.

DISCUSION

ANTECEDENTES

Diversos estudios epidemiológicos a menudo demuestran una estrecha correlación en el consumo de dietas ricas en vegetales y frutas con la reducción de la incidencia de diversas enfermedades entre las que podemos citar el cáncer, enfermedades cardiovasculares, la diabetes y otras enfermedades crónicas, efecto que no puede ser atribuido a la sola presencia de vitaminas y minerales. La mayor parte de las investigaciones se han concentrado en los efectos protectores de sustancias ya caracterizadas, de conocidos efectos beneficiosos sobre la salud, entre las que se encuentran el β-caroteno, tocoferoles, vitamina C y los fitoestrógenos (Pegel, 1997; Adlercreutz, 1997, 1998). En general, se ha ignorado la importancia relativa de los fitosteroles, probablemente por los reconocidos efectos perjudiciales que presentan algunos tipos de grasa para la salud o quizás porque los fitosteroles se encuentran normalmente presentes en los aceites vegetales y en las frutas y vegetales, pero en cantidades que generalmente no son significativas como para manifestar sus efectos terapéuticos Por ejemplo, para reducir entre un 8 y un 15 % el colesterol, se requieren dosis relativamente altas de fitosteroles (de 1,5 a 3 g diarios) **(**Hendriks, 1999, Quilez, 2003).

Aunque a la mayoría de los esteroles no se le conocen actividades biológicas específicas en la naturaleza, excepto como componentes de las membranas celulares, se han reportado diversas acciones al ser ingeridos a determinadas dosis, entre ellas reductor del colesterol (Weststrate, 1999, Pollak, 1985; Moghadasian, 2000; Howard, 1997), inhibidor del crecimiento en células de cáncer (Raicht, 1980, Awad, 2001), antiinflamatorio (Yamamoto, 1991, Gupta, 1980), antipirético (Gupta, 1980), efecto liberador de insulina (Ivorra, 1988, Marles, 1995) e inmunomodulador (Marles, 1995, Breytenbach, 2001, Bouic, 1997 y 1999, Donald, 1997).

SITUACIÓN MUNDIAL ACTUAL DE LAS ENFERMEDADES CRÓNICAS E INFECCIOSAS

El incremento de la incidencia de las enfermedades no trasmisibles (ENT) es uno de los mayores retos que enfrenta la medicina actual en el desarrollo global. Se estima que para el 2020 aproximadamente el 70 % del total de enfermedades que afectan al hombre, estará causado por ENT (especialmente cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares, y enfermedades crónicas respiratorias), desórdenes de salud mental y accidentes. (Epidemic Report, WHO, 2000).

El cáncer es la enfermedad causada por el crecimiento y diseminación no controlado de células y puede afectar casi la totalidad de los tejidos del cuerpo humano. Más de 10 millones de personas se diagnostican y 6 millones de muertes se producen debido al cáncer cada año (12 % del total de defunciones). Se estima que en el 2020 habrá un promedio de 15 millones de nuevos casos anuales. (Cancer Report, WHO, 2002)

El SIDA es también uno de los mayores problemas de salud actual. Hay un estimado de 40 (34-46) millones de personas enfermas con VIH/SIDA en todo el mundo. 38.6 son adultos y 2.5 (2.1-2.9) son niños por debajo de los 15 años. Anualmente el número de casos se incrementa en un estimado de 5 millones (4.2-5.8) y un total de 3 millones (2.5-3.5) mueren por SIDA y enfermedades relacionadas. En el Africa Sudsahariana se concentran 29.4 millones de casos. Cada día en el 2003 se infectaron 14, 000 personas con VIH, de los cuales más del 95 % vive en países de bajos y medianos ingresos (AIDS Epidemic Report, WHO, Dec 2002 Update, Dec 2003).

El tratamiento con antivirales ha mejorado la calidad de vida en pacientes con SIDA. Sin embargo para el 95 % de los enfermos que vive en países subdesarrollados, esta terapia resulta inaccesible. Se impone por tanto la búsqueda de tratamientos alternativos más baratos, para mejorar esta situación.

APLICACIONES DE LOS FITOSTEROLES

Los fitosteroles son ampliamente utilizados por sus propiedades físico-químicas y farmacológicas en la industria alimenticia, cosmética y farmacéutica (Cossío, 2002), y se comercializan en varias formas, según sus aplicaciones:

Industria farmacéutica

- Como materia prima en la industria químico farmacéutica para la síntesis de principios activos esteroidales, de gran importancia terapéutica, tales como hormonas, corticoides, anticonceptivos.
- Como materia prima en la producción de precursores esferoidales por vía fermentativa. Esto simplifica el uso posterior para la síntesis química de esteroides, reduciendo algunas etapas.

Industria alimenticia

- Como nutracéutico, en forma de complemento nutricional (en formulaciones independientes o mezclados con vitaminas, preparados herbales, etc).
- Como nutracéutico, como aditivo en los llamados alimentos funcionales, que son aquéllos que además de su acción nutritiva, reportan algún efecto beneficioso para la salud. (en margarinas, aceites, yogurt, aliños, etc). Un ejemplo lo constituye SereCol, la cual mantiene el pleno sabor fresco y natural de la leche. En esta misma línea se encuentra el Serecol con jugo el cual es una mezcla de leche con bajo contenido en grasa y jugo de frutas naturales como naranja y manzana con fitosteroles.

Industria de cosméticos.

Se añaden en los productos por sus propiedades para mejorar la penetración de la humedad en la piel, como acondicionador para el pelo y para suavizar, regenerar y estimular las células de la epidermis.

APLICACIÓN DE LOS FITOSTEROLES EN LAS ENFERMEDADES CRÓNICAS E INFECCIOSAS

Entre los problemas de salud más acuciantes, se encuentran las llamadas enfermedades crónicas y las infecciosas. Esta situación demanda el desarrollo constante de nuevos medicamentos o nuevas aplicaciones de sustancias ya conocidas. Las principales enfermedades crónicas actuales (como el cáncer, la artritis, las esclerosis y las alergias), están directamente relacionadas con un deterioro del sistema inmune. Por esta razón, el efecto inmunomodulador encontrado en los fitosteroles amplía sus perspectivas de aplicación terapéutica. De igual forma, los fitosteroles pueden resultar altamente efectivos en el tratamiento de enfermedades infecciosas. En este caso, su acción no se ejerce directamente sobre los microorganismos causantes de estas enfermedades sino que al regular el funcionamiento del sistema inmune, mejoran la capacidad del organismo para combatirlas. Los estudios preclínicos y clínicos realizados hasta el momento han demostrado la ausencia de efectos adversos por la ingestión de fitosteroles

Por todo lo anterior, el reto de encontrar nuevas opciones de sus aplicaciones, constituye un tema de creciente interés y actualidad para la comunidad científica internacional.

Los fitosteroles están siendo investigados como componentes anticancerosos de la dieta. Se ha podido comprobar sus efectos, en el laboratorio, tanto "in vitro" (cultivo de líneas celulares) como en animales, sobre algunos de los tipos de cáncer de mayor recurrencia en la población, como el de próstata (Yamamoto, 1991) , colon (Raicht, 1980) y mama (Awad, 2000), con fuertes evidencias de la inhibición del crecimiento y la apoptosis de células tumorales, así como de la metástasis. Se ha encontrado una reducción de hasta un 80 % del crecimiento y de hasta 30 % de metástasis, siendo el β-sitosterol el fitosterol de mayor efectividad. El mecanismo de acción contra el cáncer no se conoce, aunque existen varias hipótesis (Awad, 2000a, Bouic, 2001).

Varios estudios preclínicos y clínicos realizados han demostrado que el beta sitosterol mejora de los síntomas clínicos como el volumen y frecuencia de la orina, en el tratamiento de la hiperplasia prostática benigna (Berges, 1995, Klippel, 1997, Mahoney, 1995, Okuyama, 1983).

Se encontró un efecto antiulceroso en úlcera inducida en ratas, producido por el extracto lipídico de la fruta de M. azedarach, atribuido a la presencia de fitosteroles (Hanifa Moursi, 1984). Este efecto también ha sido estudiado en otros modelos (Ghosai, 1985, Romero, 1990).

Se han encontrado evidencias del efecto inmunomodulador de los fitosteroles. Se plantea que el mecanismo de acción posiblemente está relacionado con un efecto sobre el control de las citocinas inflamatorias. Esta modulación en la producción y actividad de citocinas, ayuda a controlar las alergias y ejerce efectos beneficiosos en pacientes con enfermedades infecciosas y autoinmunes, entre otros efectos.

Investigadores de la Universidad de Stellenbosch, en Sudáfrica, encontraron un efecto inmunomodulador de los fitosteroles al ser administrados a pacientes con VIH, en los que se produjo una respuesta positiva en la proliferación de las células T_H1, responsables de la liberación de las citocinas IL2 e IFN-γ, simultáneamente con una estabilización del conteo de linfocitos CD4. De esta forma se detuvo el desarrollo de la enfermedad y se estabilizó el estado clínico de los sujetos tratados (Bouic, 1997 y 2001).

En otros ensayos clínicos se encontró una disminución de la respuesta inflamatoria y de la supresión inmune que se produce después de esfuerzos físicos prolongados al administrar beta sitosterol a un grupo de atletas bajo entrenamiento intenso, reduciéndose la incidencia de enfermedades infecciosas oportunistas (Bouic, 1999).

Los efectos asombrosos encontrados en pacientes con artritis reumatoide crónica han condicionado las inquietudes de los científicos en esa dirección (Bouic, 1998, Louw, 2002). Pacientes en los que las terapias

con medicamentos no han sido efectivas, han respondido muy favorablemente al consumo de nutracéuticos conteniendo fitosteroles y sus glucósidos, fundamentalmente beta-sitosterol y sitosterolina.

En el caso de pacientes con tuberculosis pulmonar a los que adicionalmente se les administró fitosteroles durante seis meses, se produjo un aumento de peso y recuentos más elevados de linfocitos y eosinófilos (Donald, 1997).

Se ha reportado su acción en el control de la diabetes, posiblemente por un aumento en la secreción de insulina por las células beta pancreáticas en ratas (Ivorra, 1988).

A pesar de que su efectividad como reductor del colesterol se conoce desde hace mucho tiempo, recientemente, los fitosteroles han recibido gran atención por parte de la comunidad médica y científica, sobre todo por sus perspectivas en el tratamiento de la hipercolesterolemia y la reducción del riesgo en enfermedades cardiovasculares (Howard y Kritchevsky, 1997).

Recientemente, se han incrementado los reportes sobre la actividad biológica de los esteroles y sus glicósidos en diversas patologías empleando modelos de evaluación "in vitro", modelos animales y ensayos clínicos en humanos. Se han publicado revisiones bibliográficas que resumen los resultados alcanzados (Moghadasian, 2000, Bouic, 2001, Ling, 1995, Pegel, 1997, Hicks, 2001, Baker, 1999).

EFECTOS ADVERSOS

Aunque los esteroles son considerados como inocuos por su habitual presencia en la dieta, se requiere la realización de estudios a largo plazo y a mayores dosis para corroborar la seguridad en el consumo.

Los estudios preclínicos y clínicos realizados hasta el momento han demostrado la ausencia de efectos adversos por la ingestión de fitosteroles, aunque debe señalarse que la mayor parte se han realizado a corto plazo (Weststrate, 1999, Baker, 1999, Hepburn, 1999, Waalkens-Berendsen, 1999, Ayesh, 1999, Sanders, 2000).

En un ensayo clínico en pacientes hipercolesterolémicos se ha llegado a consumir hasta 25 g diarios de fitosteroles durante varios meses sin reportar efectos adversos. Hendriks y col., 2003, en un estudio a largo plazo realizado en Holanda administraron una dieta enriquecida con 1,6 g de esteroles diarios durante 1 año a 185 voluntarios sanos. La evaluación de los efectos adversos colaterales considerando tanto los eventos adversos como los cambios indeseables en los parámetros químico-clínicos, hormonales, hematológicos y en la orina. No se encontraron diferencias con respecto al control en los ensayos realizados (44 indicadores). La única diferencia encontrada fue una reducción de un 15-25 % en la concentración de α y β-carotenos, sin detectar otras consecuencias funcionales. Sin embargo en estudios posteriores de este efecto específico se reportó que no se afectaban estos parámetros al consumir los esteroles (Nestel, 2001, Raeini-Sarjaz, 2002).

Se han detectado posibles efectos adversos en animales salvajes que han presentado una disminución de los niveles de hormonas sexuales en peces Estos efectos han sido inespecíficos, transitorios y contradictorios (Mellanen, 1996, Nakari, 2003, Adlercreutz, 1998, Nieminen, 2002, 2003 y 2003a), lo que hace ineludible la realización de un mayor número de ensayos preclínicos para estudiar los efectos a largo plazo. Por otra parte, también se han reportado efectos citotóxicos, pero solamente en el caso de esteroles oxigenados en la cadena lateral (Sheu, 1996) y polihidroxiesteroles (Koljak, 1998), así como algunos esteroides diméricos y poliméricos (Li, 1997), pero estos tipos de esteroles no se encuentran en los vegetales y frutas (Martínez, 2002).

En nuestro país, existen antecedentes del uso de extractos hidroalcohólicos de cera cruda de caña como antiinflamatorios, en ensayos realizados en el CIDEM (Tillán, 2002). Los ensayos a corto plazo de

citotoxicidad y genotoxicidad realizados por estos investigadores demostraron la ausencia de efecto mutagénico (Vizoso, 2002).

Hasta el presente, solamente no se recomienda su consumo en pacientes que padecen de sitosterolemia, una enfermedad genética hereditaria, manifestada por una alteración en el metabolismo de los fitosteroles, de manera que estos se acumulan y como consecuencia se produce la inducción de la colestasis en el hígado (Clayton, 1998, Lutjohann, 1997).

No obstante, un consumo excesivo de fitosteroles también puede tener riesgos (en especial, reducción de la absorción de vitaminas liposolubles) según Hendriks y col., 2003, si no se lleva a cabo una dieta balanceada, principalmente en embarazadas y adolescentes, cuyas necesidades de energía y ciertos nutrientes son más elevadas que en otras etapas de la vida

MECANISMOS DE ACCION

El sistema inmune es una complicada red de células y factores solubles liberados por estas células. En primer lugar existen los linfocitos B que producen los anticuerpos. Otro tipo de células son las células T, que controlan el balance de la respuesta humoral y celular (Tabla I). Las células T se dividen en células CD4 y CD8. Las células CD4 se dividen en células T_H1 y T_H2. Las T_H1, liberan las citocinas IL2 e IFN-γ, que a su vez son las responsables de activar las células CD8 para convertirlas en células "killers" y las T_H2, que producen las citocinas IL4, IL5, IL6, IL10.

Tabla I. Funciones de las células T

Células	Perfil de citocinas	Función de las células
T_H1	**IFN-γ IL2**	**Activación de células citotóxicas CD8 (Respuesta celular) Antagonismo de células T_H2**
T_H2	**IL4, IL5, IL6, IL10**	**Activación y maduración de linfocitos B (producción de anticuerpos, respuesta humoral) Antagonismo de células T_H1**

Para un estado óptimo de la salud es indispensable mantener el balance entre las células T_H1 y T_H2. En ciertas patologías, como las infecciones crónicas virales y bacterianas, el funcionamiento de las células T_H1 es sobrepasado por el funcionamiento de las células T_H2 produciendo una mayor respuesta inmunológica humoral (producción de anticuerpos) a expensas de la respuesta celular, más protectora. Un desbalance similar se produce en otras condiciones crónicas como las alergias y las enfermedades autoinmunes.

Los fitosteroles actúan estimulando la secreción de citocinas IL2 e IFN-γ por las células T_H1 mientras inhiben la de las células T_H2 o las mantienen invariables, o sea que producen una activación de la respuesta celular, restaurando el balance del sistema inmune. Este es el efecto positivo que se produce en las enfermedades autoinmunes como la artritis, alergias, etc.

Tuberculosis Pulmonar: En el estudio realizado, a los pacientes a los que se le suministró fitosteroles exhibieron diferencias notables en ciertos parámetros hematológicos, con un aumento del conteo de linfocitos, eosinófilos y monocitos. Esto sugiere que la actividad inmunomoduladora de los fitosteroles podría ser de valor terapéutico en los casos de tuberculosis con resistencia a los medicamentos (Bouic, 1999).

Artritis Reumatoide: El efecto inmunomodulador encontrado en los fitosteroles es la causa de sus efectos altamente beneficiosos en pacientes que padecen de Artritis Reumatoide, enfermedad inflamatoria caracterizada por una alteración del sistema inmune donde los linfocitos B se activan y segregan anticuerpos que destruyen el tejido sinovial de las articulaciones. Una mezcla de fitosteroles (beta-sitosterol y su glucósido, beta-sitosterolina) ha mostrado que aumenta los niveles de las células TH1, regulando negativamente la producción de anticuerpos por los linfocitos B; además, disminuye la secreción del factor de necrosis tumoral alfa y de citocinas pro- inflamatorias por los micrófagos (Bouic, 1998).

Diabetes: El beta-sitosterol estimula la secreción de insulina, con lo cual aumenta los niveles de insulina circulante para el control de la glucosa en sangre. Además debido a su efecto potencial de regular la producción de anticuerpos, pueden intervenir en los procesos inflamatorios asociados con el estado inicial de la diabetes tipo I, protegiendo la destrucción de las células beta pancreáticas, responsables de la liberación de insulina (Ivorra, 1988).

Reductor del colesterol: Los fitosteroles tienen un efecto marcado en la disminución de los niveles de colesterol ya que reducen las concentraciones del colesterol asociado a las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y del plasma (Ostlund, 2002). Diversos estudios científicos han confirmado los efectos beneficiosos de los fitosteroles. Se calcula que la ingesta diaria de alimentos ricos en estas sustancias disminuye en un 10% los niveles de colesterol-LDL en sangre al tiempo que no actúa sobre el colesterol-HDL o "colesterol bueno".

La reducción del colesterol se plantea que puede producirse por la disminución de su absorción. Esto se propone que ocurre por dos vías, ambas causadas por la similitud en las propiedades físico-químicas entre el colesterol y los fitosteroles:

- La co-precipitación del colesterol con los fitosteroles. Al aumentar la concentración de esteroles vegetales y alcanzar un nivel crítico, disminuye la solubilidad y co-precipitan el colesterol y los fitosteroles. El colesterol en su forma cristalina no es absorvido.
- La competencia que se establece entre los fitosteroles y el colesterol por los receptores en los sitios de absorción en el intestino, así como la competencia en la solubilización del colesterol en las micelas intestinales, que intervienen en la absorción del colesterol. Informe del IFST, 2000

Cáncer, Hiperplasia prostática benigna: Investigaciones recientes han revelado que los fitosteroles bloquean el desarrollo de tumores en el colon, en las glándulas mamarias y en la próstata. Se desconoce el mecanismo de acción, pero se conoce que alteran los mecanismos de transferencia a través de la membrana celular durante el crecimiento de los tumores y reducen la inflamación (Cossío, 2002). Se ha comprobado su efecto inhibitorio sobre algunas enzimas involucradas en la síntesis hormonal. Dichas hormonas (progesterona, estrógenos, testosterona), tienen un papel protagónico en el desarrollo del cáncer (Awad, 2002a). Tampoco se conoce el mecanismo de acción en los enfermos de hiperplasia prostática benigna, donde el consumo de fitosteroles en la dieta mejora los síntomas clínicos de la enfermedad (Berges, 1995).

CONCLUSIONES

A partir de la última década del pasado siglo, el incremento en la popularidad y el uso de los fitosteroles como ingredientes de los alimentos funcionales y de formulaciones nutracéuticas para la reducción del colesterol, e, indirectamente para la prevención de las enfermedades cardiovasculares, han provocado un aumento de su consumo. Afortunadamente, esto ha traído como consecuencia un aumento de los estudios dirigidos a analizar sus efectos en distintas enfermedades y del mecanismo de acción por el cual ejercen sus efectos beneficiosos.

Por todos estos antecedentes, se imponen varias direcciones en la investigación sobre los fitosteroles, entre las cuales podemos mencionar:

- Búsqueda de fuentes alternativas
- Optimización de los procesos de obtención industrial.
- Demostración de sus efectos en determinadas enfermedades.
- Nuevos usos de los fitosteroles.
- Elucidación de los mecanismos de acción.
- Determinación del efecto individual de los componentes de las mezclas de fitosteroles.
- Estudio de los efectos sinergísticos con otros compuestos.
- Estudio de los posibles efectos adversos.
- Estudio de los efectos a largo plazo.

Existen amplias perspectivas de trabajo futuro, ante la necesidad ineludible de demostrar la certeza de los resultados obtenidos y la efectividad e inocuidad de las preparaciones y alimentos que se comercializan en el mercado.

REFERENCIAS

Adlercreutz, H. (1998), Baillière´s Clinical Endocrin. Metab. 12,4, 605-623.
Adlercreutz, H., Mazur, W. (1997), The Finish Medical Society, DUODECIM, Ann Med 29, 95-120.
Anonymous (2000). Report of the Institute of Food Science and Technology Current Hot Topics. www.ifst.org/hottop29.htm
Awad, A.B. et al. (2001), Europ. J. Cancer Prev. 10, 6, 507-513.
Awad, A.B. et al. (2000), Anticancer Res. 20(2A), 821-824.
Awad, AB and Fink CS. (2000a). J. Nutr 130, 9, 2127-2130.
Ayesh, R. et al. (1999), Food Chem. Toxicol. 37, 1127-1138.
Baker, V.A. et al. (1999), Food Chem. Toxicol. 37, 13-22.
Berges, RR. et al. (1995), The Lancet, 345, 8964, 1529-1532.
Bouic, PJ (2001), Curr Opin Clin Nutr Metab Care 4, 6, 471-5.
Bouic, PJD (1998), The Arthritis Trust, Summer: 3-6.
Bouic, PJD et al. (1999), Int J. Sports Med., 20, 258-262.
Bouic, PJD, Lamprecht, JH, (1999a). Altern. Med. Rev. 4, 3, 170-177.
Bouic, PJD. (1997), AIDS Bull. 6, 3, 18-20.
Breytenbach, U. et al. (2001), Cell Biol Int 25, 1, 43-9.
Clayton PT et al, (1998), Nutrition, 14, 1, 158-164.
Cossío, G., (2002). Búsqueda de información sobre fitosteroles, Consultoría Biomundi, IDICT, Ciudad de la Habana, Cuba.
Donald, PR et al. (1997), Int J Tuberc Lung Dis 1,5, 518-22.
Ghosai, S. (1985), Phytochem, 24, 1807-1810.
Gupta, M.B. et al. (1980), Planta Med. 39, 157-163.
Hanifa Moursi, S.A., Al-Khatib, I.M. (1984), Jpn. J. Pharmacol., 36, 4, 527-33.
Hendriks et al. (2003), Europ J. Clin. Nutr. 57, 681-692.
Hendriks, HFJ et al. (1999), Europ J Clin Nutr 53, 319-327.
Hepburn, P.A. et al. (1999), Food Chem. Toxicol. 37, 521-532.
Hicks, KV, Moreau, RA. (2001), Food Technol 55, 1, 63-67.
Howard, B.V., Kritchetsky, D. (1997), Circulation, 95, 11, 2591.
Ivorra, M.D. et al. (1988), Arch. Int. Pharmacodyn. Ther. 296, 224-231.
Klippel, KF, et al. (1997), British J Urology 80, 3, 427-32.
Koljak, R. et al. (1998), Tetrahedron 54, 179.
Li, Y., Diaz J.R. (1997), Chem Rev. 97, 283.
Ling,W.H., Jones P.J. (1995), Life Sci. 57, 3, 195-206.
Louw, I, Halland, A (2002) Am J Clín Nutr, 75, 2, 351.
Lutjohann, D., von Bergmann, K (1997), Ann Med 29, 3, 181-4.
Mahoney, JE (1995), Can J Urol 2, 2, 125-9.

Marles, JR, Farnsworth NR (1995), Phytomed 2, 137-189.
Martínez, A. (2002), Esteroles. Monografía. Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Abril 2002
Mellanen, P. et al (1996), Toxicol. Appl. Pharmacol. 136, 381-388.
Moghadasian, M.H. (2000), Life Sci. 67, 605-615.
Nakari, T., Erkomaa, K. (2003), Environm. Poll. 123, 267-273.
Nestel, P et al. (2001), Eur J Clin Nutr 55, 1084-90.
Nieminen, P. et al (2002), Toxicol. Appl. Pharmacol. 178, 22-28.
Nieminen, P. et al (2003), Exp. Biol. Med. 188-193.
Nieminen, P. et al (2003a), J. Toxicol. Envionm. Health, Part A, 66, 1475-1488.
Okuyama, E, Yamazaki, M. (1983), Chem Abstr 98.
Ostlund, RE et al. (2002), Am J Clin Nutr, 75, 1000-4.
Pegel KH (1997), South African J. Sc, 93, 263-267.
Pollak, OJ. (1985), Pharmac Ther 31, 177-208.
Quilez, J. y col. (2003), Clin Nutr 22, 4, 343-51.
Raeini-Sarjaz, M et al. (2002), Metabolism 51, 652-6.
Raicht, R.F. et al. (1980), Cancer Res. 40, 403-405.
Romero JJ, Lichtenbrg, LM. (1990), Dig. Dis. Sci, 23, 1231-1238.
Sanders, D.J. et al. (2000), Food Chem. Toxicol. 38, 485-491.
Sheu, J.H. et al. (1996), J. Nat. Prod. 59, 23-26.
Silva, M., 2002, Bioplanet, 07/08.
Tillán, J y col., (2002) Rev Cub Plant Med Vol 7, 02.
Vizoso, A. y col, (2002), Rev Cub Plant Med 7, 1, 18-22.
Waalkens-Berendsen, D.H. et al. (1999), Food Chem. Toxicol. 37, 13-22.
Weststrate, J.A. et al. (1999), Food Chem. Toxicol. 37, 1063-1071.
Yamamoto, M. et al. (1991), Agric. Biol. Chem., 55, 1627-1629.

AFFINITY PURIFICATION AND IMMOBILIZATION OF THE GLUCONACETOBACTER DIAZOTROPHICUS LEVANSUCRASE (LSDA) FUSED TO A POLYHISTIDINE TAG.

Duniesky Martínez García, Enrique R. Pérez Cruz, Janet Jiménez, Alina Sobrino, Ricardo Ramírez*, Luis E. Trujillo * and Lázaro Hernández*.

Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología Sancti Spíritus
*Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología Habana
duniesky.martinez@cigb.edu.cu

The plant-interactive bacterium *Gluconacetobacter diazotrophicus* secretes a constitutively-expressed levansucrase (LsdA) which is responsible for sucrose utilization. LsdA polymerises sucrose into fructooligosaccharides (FOS) and levan. FOS are currently used as probiotics enhancers in feed supplements, while levan is a polymer of potential industrial applications.
With the aim to establish a simple procedure for purification of LsdA, the enzyme was fused to a C-terminal His_6-tag and expressed in the *G. diazotrophicus* mutant AD5 lacking the native *lsdA* locus. The recombinant LsdA was secreted to a final yield of 1500 units L^{-1} and retained the catalytic properties of the native enzyme. The purification of the His-fused LsdA was conducted by metal chelate affinity chromatography using either a packed or expanded bed. Due to the high viscosity of culture supernatants and its compacting effect, the best results were achieved using an expanded bed. Purification conditions were optimised as follows: protein absorption to the matrix at pH 7.5, column wash with 0.025 M imidazol at pH 7.5, and protein elution with 1 M imidazol at pH 6.8. Cupper and nickel were assayed as affinity metal ions with a process recovery of 39 and 90%, respectively. The purified LsdA was immobilized on Ca-Alginate gels and compared to the free enzyme in terms of catalytic efficiency and stability. In both cases, the maximal activity was achieved at pH 5.5 - 6 and temperature 60 ºC with a similar product profile, being relevant the high yield of FOS and levan when reacted on 30 % sucrose. The biocatalyst half-life time of the immobilized enzyme was 96 hours.
Key words: levansucrase, immobilization, fructooligosaccharides FOS, Ca-Alginate, metal chelate affinity.

PURIFICACIÓN POR AFINIDAD E INMOVILIZACIÓN DE LEVANASACARASA DE GLUCONACETOBACTER DIAZOTROPHICUS FUSIONADA A COLA DE POLIHISTIDINA

Duniesky Martínez García, Enrique R. Pérez Cruz, Janet Jiménez, Alina Sobrino, Ricardo Ramírez*, Luis E. Trujillo * y Lázaro Hernández*.

Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología Sancti Spíritus
*Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología Habana
duniesky.martinez@cigb.edu.cu

La bacteria interactiva de plantas *Gluconacetobacter diazotrophicus* secreta una levanasacarasa (LsdA) expresada constitutivamente la cual es responsable de la utilización de la sacarosa. La LsdA polimeriza sacarosa a fructooligosacáridos (FOS) y levana. Los FOS son usados como potenciadores probióticos en suplementos alimenticios, mientras la levana es un polimero de potencial aplicación industrial.
Con el objetivo de establecer un procedimiento para la purificación de LsdA, la enzima fue fusionada a una cola de seis His en el C-terminal y expresada en el mutante *G. diazotrophicus* AD5 sin el locus nativo *lsdA*. La enzima recombinante LsdA fue secretada con un rendimiento final de 1500 unidades L^{-1} y manteniendo las propiedades catalíticas de la enzima nativa. La purificación de la LsdA fusionada a His fue llevada a cabo por cromatografía de afinidad a quelatos metálicos utilizando tanto cama empacada como expandida. Las condiciones de purificación fueron optimizadas de la siguiente forma: la adsorción de la enzima a la matriz a pH 7.5, el lavado de la columna con imidazol a 0.025 M y pH 7.5 y la elusión de la proteína con 1 M de imidazol a pH 6.8. Se ensayaron el cobre y níquel como iones metálicos de afinidad con un recobrado de 39 y 90% respectivamente. La LsdA purificada fue inmovilizada en alginato de calcio y comparada con la enzima libre en términos de eficiencia catalítica y estabilidad. En ambos casos la actividad máxima fue obtenida a pH 5.5-6 y temperatura de 60ºC con un similar perfil de producto siendo relevante la cantidad de FOS y levana cuando reaccionó con sacarosa al 30%. El tiempo de vida media del biocatalizador con la enzima inmovilizada fue de 96 horas.
Palabras claves: levanasacarasa, inmovilización, fructooligosacáridos FOS, alginato de calcio, afinidad a quelatos metálicos.

Introducción

Los fructooligosacáridos (FOS) además de la palatinosa, los isomalto-oligosacariodos, y los oligosacaridos de soya, son edulcorantes de alto valor comercial y biomédico al formar parte de los alimentos hipocalóricos cuya demanda en el mercado mundial se ha incrementado en los últimos años (Yun y col., 1996). Los FOS producidos por diferentes enzimas aisladas de microorganismos y plantas, constituyen los de mayor atractivo debido principalmente a que su sabor es muy similar al de la sacarosa, pero a diferencia de ésta no son cariogénicos y no se digieren por las enzimas presentes en el intestino delgado, de ahí el hecho de ser edulcorantes hipocalóricos, además poseen otras propiedades beneficiosas como el mejoramiento de la microflora intestinal al favorecer el crecimiento de las bacterias intestinales beneficiosas, Bifidobacterios y Lactobacillus, sobre el de otras bacterias patógenas; el control de diarreas e intoxicaciones; la reducción de sustancias putrefactas; la prevención de la ocurrencia del cáncer de colon; la reducción de la taza de colesterol en sangre; el control de la hipertensión arterial y ser una alternativa como endulzante para los diabéticos, entre otras.

La enzima levanasacarasa (LsdA) (E.C 2.4.1.10), sintetizada por la cepa SRT4 de *Gluconoacetobacter diazotrophicus,* aislada por primera vez en Cuba por Coego y col. (1992), produce grandes cantidades de FOS, principalmente 1-kestosa y nistosa, como resultado de su acción sobre la sacarosa (Hernández y col.,1995). Esta enzima, cataliza la reacción de transfructosilación a partir de la sacarosa a diferentes aceptores como: agua, (hidrólisis de la sacarosa), glucosa (reacción de intercambio), fructano (reacción de polimerización) y sacarosa (síntesis de fructooligosacáridos).

Sin embargo uno de los principales problemas que atentan contra el uso de LsdA son sus rendimientos en fermentación. Por esta razón, uno de los objetivos de este trabajo fue evaluar una construcción genética donde se expresa la enzima recombinante en su hospedero natural *G. diazotrophicus* sin el locus nativo *lsdA* en condiciones controladas de fermentación, analizando diferentes parámetros con el objetivo de determinar la mejor condición para la expresión de la enzima que permita su purificación. Aprovechando que la enzima en esta construcción genética se encontraba fusionada a una cola de histidina otro de los objetivos fue establecer un protocolo de purificación de la levanasacarasa basado en la Cromatografía de Afinidad a Quelatos Metálicos y una vez purificada inmovilizarla en alginato de calcio para la producción de FOS.

Materiales y métodos

Procedencia del microorganismo y cultivo.

Se utilizó la cepa derivativa de *G diazotrophicus* SRT4, *G. diazotrophicus* AD5 cuyo gen de la LsdA cromosomal está delecionado, esta cepa sirvió como hospedero del plasmidio pALs-200 correspondiente a la construcción que porta el gen LsdA en su forma natural (WT) que se expresa fusionado a un epítope myc y una cola de histidina (6His) y bajo el promotor natural de la enzima (lsd), que permite su expresión constitutiva. El microorganismo fue crecido en LGI [medio salino LGI (Cavalcante y Döbereiner, 1988) suplementado con Triptona 0.2 % (p/v) y Glicerol 1.5 % (v/v)]. Al medio sólido se añadió, sacarosa 5% (p/v) y agar 1.5 % (p/v). En todos los casos el pH fue ajustado con NaOH 1M y H_3PO_4 1M. La fermentación se realizó en un fermentador INFORS, se trabajó con 1.5 L de medio LGI, en las condiciones siguientes: agitación 500 rpm, temperatura 28ºC, aireación 1vvm y se ensayaron los pH iniciales 6.0, 7.0 y 8.0 libres. Las variaciones de pH y Oxígeno disuelto fueron registradas de manera automática por el software INFORS Iris. Cada 2 horas se tomaron muestras del cultivo para chequear el crecimiento celular y la actividad enzimática. El microorganismo se creció entre las 48 y las 60 horas. En todos los casos se separó el sobrenadante de cultivo de las células por centrifugación a 5000 g a 4ºC durante 30 minutos.

Cuantificación de la actividad enzimática.

Para la determinación de la actividad se incubaron 200 µl de tampón Sacarosa 2x (sacarosa 0.25 mM, acetato de sodio 0.1mM, pH 5.2) con 200 µl de muestra a 42ºC durante 1 hora. La glucosa liberada fue cuantificada por la reacción colorimétrica del complejo enzimático glucosa oxidasa-peroxidasa-cromógeno del juego de reactivos "GOD-Perid" (Boehringer Mannheim, Alemania), empleado según las instrucciones del fabricante.

Una unidad de enzima (U) representa la cantidad de levanasacarasa que libera 1 µmol de glucosa por minuto a velocidades iniciales de la reacción en Sacarosa 1x a 42ºC.

Cuantificación de proteínas

El contenido de proteínas totales se determinó por el método Bradford (Bradford, 1976), utilizando la seroalbúmina Bovina como proteína patrón y las electroforesis desnaturalizantes se realizaron en geles de poliacrilamida (12,5 %)-SDS (dodecilsulfato de sodio) según el método de Laemmli (1970). Las muestras en el tampón de carga (SDS al 1%; β-mercaptoetanol al 2,5%; glicerol al 20%; bromofenol azul al 0,0025%; Tris-HCl 125 mM pH 6,8) se calentaron 10 min. a 100ºC. La tinción de las proteínas en el gel se realizó con Coomasie Blue R-250 al 0,25% disuelto en una mezcla de metanol:ácido acético:agua (5:1:5). La destinción del gel se realizó en la misma solución sin el colorante.

Proceso cromatográfico

Para la Cromatografía de Afinidad a Quelatos Metálicos se utilizó la columna C10-10, con Matriz Chelating Sepharose^{TM} Fast Flow (Amersham Pharmacia Biotech A8). Todo el proceso se realizó a una velocidad de flujo de 90 mL/h y 4ºC. La columna fue lavada con 3 volúmenes de agua desionizada y se cargó con 5 volúmenes de Tampón de Carga ($NiSO_4$ 0.05 M o $CuSO_4$ 0.05M). Posteriormente se lavó con 5 volúmenes de Tampón de Unión (NaCl 0.5M y Tris-HCl 0.05 M a los pH 6.8, 7.5 y 8.0) antes de aplicar la muestra, una vez aplicada se lavó con 5 volúmenes de Tampón de Unión y luego 5 volúmenes de Tampón de Lavado (NaCl 0.5 M, Tris-HCl 0.025 M a los pH 6.8, 7.5 y 8.0 e Imidazol a 0.025, 0.037 y 0.050 M). La elución se realizó por efecto de competencia con un análogo estructural como el imidazol contenido en el Tampón de Elución (NaCl 0.5 M, Tris-HCl 0.05 M a los pH 6.8, 7.5 y 8.0 e Imidazol 1M); de este se aplicaron 5 volúmenes y se colectaron fracciones de 10 a 15 mL a las cuales se le determinó actividad enzimática y concentración de proteínas. Finalizada la cromatografía se lavó la columna para su conservación y posterior utilización con 5 volúmenes de Tampón de descarga que contiene EDTA (ácido etilén-diamino-tetracético) 0.1 M, Tris-HCl 0.025 M y NaCl 0.05 M.

Análisis de carbohidratos por cromatografía en capa fina (TLC)

Para el análisis de los productos de la reacción de la levanasacarasa en volumen final de 400 µL se incubaron muestras de enzima purificada 3 U/mL de enzima, con Tampón Sacarosa (sacarosa al 60% (p/v), acetato de sodio 0.1mM, pH 5.2) en una relación 1:1 a 30 y a 42ºC, durante 8 días. Las cromatografías en capa fina se realizaron en placas de silicagel 60 F_{254} (Merck, Alemania), según el procedimiento descrito por Cairns y Pollock (1988). Como solvente de corrida se utilizó una solución de acetona al 95% (v/v). Después de cinco corridas, la placa se reveló con una solución saturada de 1-butanol 80% (v/v), urea 3% (p/v), H_3PO_4 6% (v/v) y etanol absoluto 4% (v/v), la cual fue asperjada sobre la placa. La placa se secó 10 min. a 100ºC.

Inmovilización en Alginato de calcio.

Para la inmovilización de la LsdA 5ml de la enzima (100 U) fueron mezclados con 0.2 g de alginato y goteadas en una solución de $CaCl_2$ 0.2M .

Resultados y Discusión

Fermentación de *G. diazotrophicus* AD5.

El microorganismo *G. diazotrophicus* AD5 se creció partiendo de los pH iniciales 6.0, 7.0 y 8.0 y se analizó la influencia de éste en el crecimiento y la expresión de la enzima. Los cultivos se crecieron hasta la fase estacionaria de crecimiento que comenzaba alrededor de las 48 horas en el caso de pH 6.0 y 7.0 mientras que a pH 8.0 comenzaba cercano a las 54 horas. Como resultado de las fermentaciones obtuvimos que el mayor crecimiento se obtenía a pH 6.0 sin embargo la mayor actividad enzimática fue obtenida a pH 8.0 (Fig.1) estos resultados coinciden con los obtenidos por Hernández y col. (1999) en cultivos en zaranda de *G. diazotrophicus* SRT4. Esto puede deberse a que en esta condición de fermentación la estabilidad plasmídica es mayor que en las otras condiciones. Otro factor que pudo haber influido en la expresión de la enzima es el hecho de que los pH finales de las fermentaciones a pH 6.0, 7.0 y 8.0 fueron 4.0, 6.3 y 6.8, respectivamente. Según Hernández y col., (1999) a pH entre 5.0 y 7.0, durante 24 horas la enzima mantiene una actividad residual de más de un 90%, mientras que a pH 4.0 la actividad residual es alrededor del 80%.

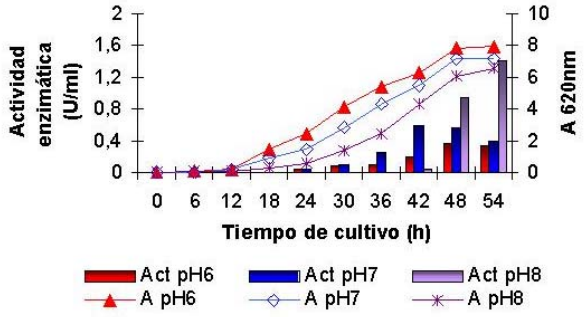


Figura 1. Evaluación de la actividad enzimática en el crecimiento de *G. diazotrophicus* AD5 en fermentciones a pH iniciales 6.0, 7.0 y 8.0. Agitación 500rpm, Aireación 1vvm, Temperatura 28 ºC.

Purificación de la levanasacarasa de *G. diazotrophicus* AD5.

El gen de la levanasacarasa en la construcción evaluada, se expresa fusionado a una cola de seis histidinas, lo cual facilita la purificación de la enzima por cromatografía de afinidad a quelatos metálicos. Para establecer el proceso de purificación de la levanasacarasa expresada por *G. diazotrophicus* AD5 se estudiaron varias estrategias en cada paso de la purificación. El primer paso fue la clarificación del sobrenadante de cultivo por centrifugación a 25000 g, 1 hora y 4ºC con lo cual disminuye la presencia de contaminantes que pudieran obstruir el flujo a través de la matriz. El sobrenadante de la centrifugación fue ajustado en una relación 1:1 con Tampón de Unión.

Efecto del pH

Se evaluó el efecto del pH del Tampón de Unión buscando la mejor condición de unión a la matriz, teniendo en cuenta la estabilidad de la enzima. Se partió del pH recomendado por el Manual Práctico del complejo Resina & Tampón His·bind® (Novagen) para sistemas con cola de histidina. Obteniéndose como se muestra en la Fig. 2 que a pH 7.5 un 98% de la enzima quedaba unida a la matriz, en los casos de pH 6.8 y 7.9 más de un 10 % de la enzima no se pegaba. Por esta razón se decide utilizar el pH 7.5 como pH de unión y lavado. Sin embargo para la elución se decidió utilizar el Tampón de Elución a 6.8 teniendo en cuenta la estabilidad de la enzima que a este pH es superior que a 7.5 (Hernandez, 1999).

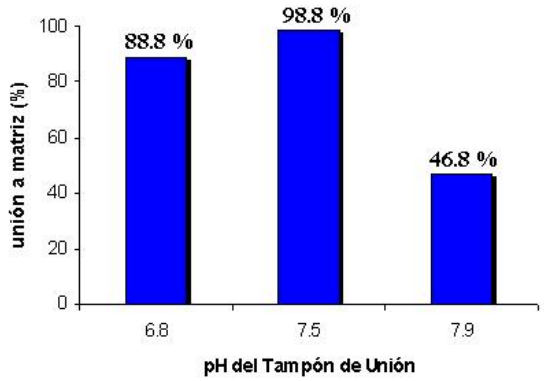


Figura 2. Efecto del pH en la unión de la enzima a la matriz.

Efecto de la concentración de imidazol.

Según las recomendaciones de este Manual Práctico (Novagen) para el segundo lavado de la columna debía utilizarse una concentración de imidazol de 0.06 M sin embargo en nuestro caso se observó que parte de la enzima eluía a esta concentración, por esta razón se procedió a ajustar la concentración de imidazol en el Tampón de Lavado. Como se observa en la Fig.3 de las tres concentraciones de imidazol empleadas los mejores resultados se obtuvieron a 0.025 M. A esta concentración se lograba eliminar gran parte de contaminantes que se habían adsorbido a la matriz y no se detectaba, por actividad, elución de la enzima (Fig.4, línea 5).

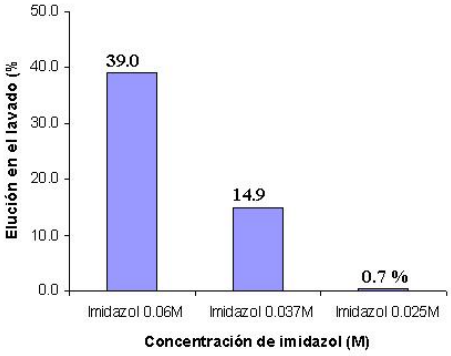


Figura 3. Efecto de la concentración de Imidazol del Tampón de Lavado en la estabilidad del enlace Enzima-Matriz.

Con las condiciones establecidas en el presente trabajo se logró un recobrado superior al 30 % como se aprecia en la Tabla I, logrando purificar la enzima 6.8 veces (Fig. 4).

Sin embargo, el escalado de la purificación de la levanasacarasa expresada por *G. diazotrophicus* AD5 no se pudo completar porque se obstruía la columna debido a la acumulación de polímeros, de naturaleza desconocida, en el lecho cromatográfico. Por lo que se utilizó el mismo principio cromatográfico de afinidad a quelatos metálicos en cama expandida utilizando cobre y níquel como metales de afinidad sin el paso de centrifugación obteniéndose recobrados de 39 y 90 % respectivamente como se observa en las tablas II y III.

Tabla I. Cuadro de purificación en cama empacada de la levansacarasa expresada por *G. diazotrophicus* AD5.

Etapa de purificación	Actividad (U/mL)	Proteínas (µg/mL)	Act. Esp. (U/mg)	Recobrado (%)
Sobrenadante de cultivo	**1.26**	**36.39**	**34.60**	**100.0**
Sobrenadante de centrifugación	**1.32**	**33.40**	**39.60**	**98.70**
Fracción eluida del lecho cromatográfico	**1.52**	**6.40**	**234.4**	**38.60**

Tabla II Cuadro de purificación en cama expandida de levanasacarasa con $NiSO_4$ como metal de carga.

Etapa de purificación	Actividad (U/mL)	Proteínas (µg/mL)	Act. Esp. (U/mg)	Recobrado (%)
Sobrenadante de cultivo	**0.72**	**36.7**	**19.6**	**100.0**
Fracción eluida del lecho cromatográfico	**16.2**	**25.2**	**634.9**	**39.0**

Tabla III Cuadro de purificación en cama expandida de levanasacarasa con $CuSO_4$ como metal de carga.

Etapa de purificación	Actividad (U/mL)	Proteínas (µg/mL)	Act. Esp. (U/mg)	Recobrado (%)
Sobrenadante de cultivo	**0.46**	**104.0**	**4.5**	**100.0**
Fracción eluida del lecho cromatográfico	**10.0**	**60.0**	**104.6**	**90.0**

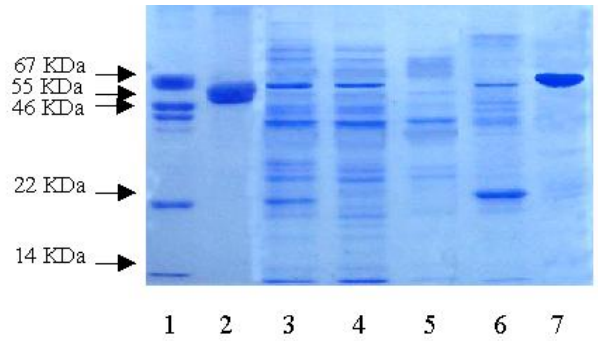


Figura 4. Análisis de las proteínas de G.diazotrophicus AD5 por Electroforesis (SDS-PAGE) en cada paso de la purificación. 1-Patrón de peso molecular. 2-Levanasacarasa natural. 3-Sobrenadante de cultivo. 4-Fracción no unida a la matriz. 5- Primer lavado. 6-Segundo lavado. 7-Eluato.

Producción de fructo-oligosacáridos por la levanasacarasa recombinante.

Los FOS (1- kestosa, 1,1-nistosa y 1-fructosil-nistosa) presentan un elevado interés comercial por ser compuestos hipocalóricos naturales con poder edulcorante cuya ingestión, además, tiene efectos positivos en el mejoramiento de la microflora intestinal tanto para el hombre como para otros animales (Gibson y col., 1995; Yun, 1996). La levanasacarasa, por su capacidad de producir FOS a partir de la sacarosa, es una enzima de utilidad industrial. Con el propósito de evaluar la producción de FOS se realizaron cromatografías en capa fina para determinar el contenido de FOS, fructosa, levana y demás carbohidratos, obtenidos en la reacción cuando se incubaron la enzima purificada LsdA fusionada a cola de histidina (WH) libre e inmovilizada así como la enzima natural no fusionada a cola de histidina (WT)

en cada caso con tampón sacarosa a 30 y 42ºC (Fig. 5). En todos los casos se obtuvo un perfil de producto similar siendo relevante la cantidad de FOS y levana cuando reaccionó con sacarosa al 30%.

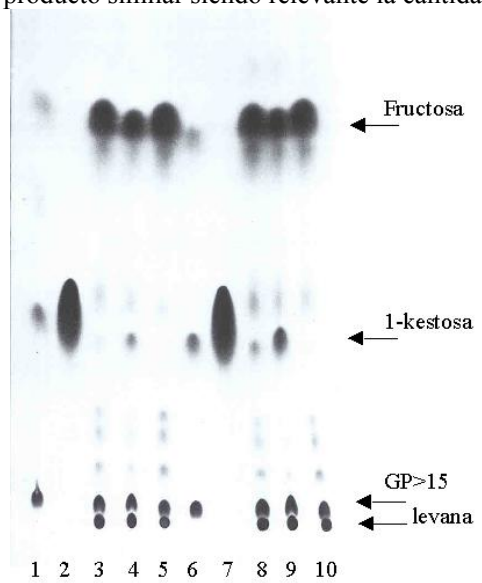


Figura 5. Cromatografía en capa fina (TLC) para el análisis de los carbohidratos, productos de la reacción de la levanasacarasa recombinante. 1 y 6 -Patrón de peso molecular. 2 y 7- Patrón de 1-kestosa. 3 y 8 -Productos de la reacción de la levanasacarasa de *G. diazotrophicus* WT a 30 y 42ºC. 4 y 9 - Productos de la reacción de la levanasacarasa de *G. diazotrophicus* AD5 WH a 30 y 42ºC. 5 y 10 - Productos de la reacción de la levanasacarasa de *G. diazotrophicus* AD5 WH inmovilizada a 30 y 42ºC.

Inmovilización de levanasacarasa en Alginato de calcio.

La LsdA fusionada a cola de histidina (WH) purificada fue inmovilizada en alginato de calcio al igual que la enzima natural no fusionada a cola de histidina (WT) y comparada con los resultados obtenidos para la enzima libre por Hernández (1999) en términos de eficiencia catalítica y estabilidad. Como se observa en la figura 6 la enzima es activa a todas las temperaturas ensayadas con un máximo entre 60 y 70ºC sin embargo la actividad residual se mantuvo hasta 60ºC después de incubar la enzima inmovilizada durante 24 horas a la temperatura de ensayo, disminuyendo a las temperaturas de 70 y 80ºC, donde se afectaba la integridad de la perla de alginato donde se encontraba inmovilizada la enzima.

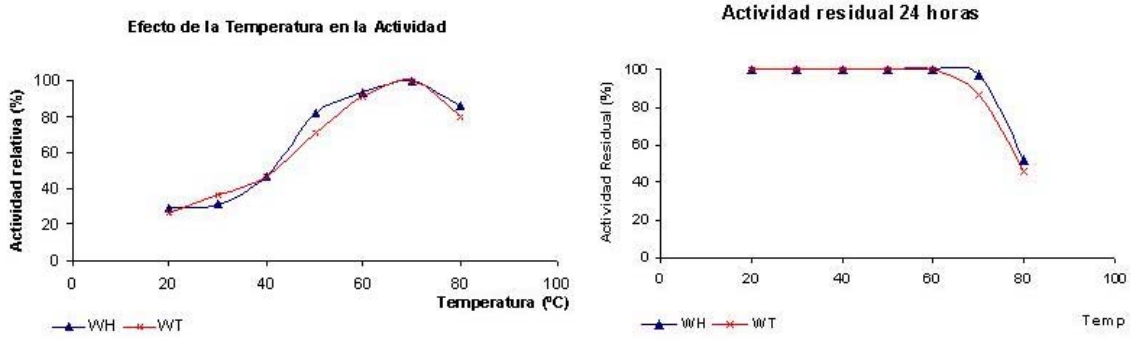


Fig. 6 Efecto de la temperatura sobre la actividad. y efecto de la temperatura sobre la actividad residual.

Al determinar el efecto del pH en la actividad se observó que la máxima actividad fue obtenida a pH 5.5-6 similar al obtenido para la enzima libre. Sin embargo la enzima libre presenta una menor actividad

relativa a los pH extremos siendo más estable en el caso de las enzimas inmovilizadas, tanto la enzima LsdA WH como la LsdA WT.

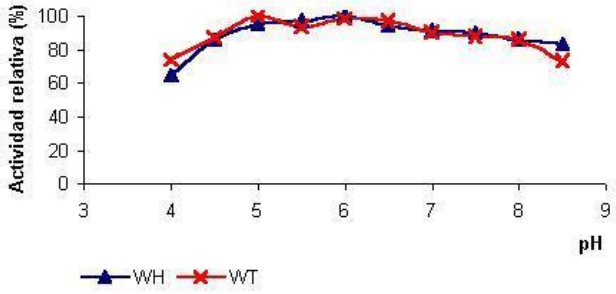


Fig. 7 Efecto del pH sobre la actividad enzimática de la enzima LsdA natural WT y LsdA natural fusionada a cola de histidina (WH) inmovilizadas en alginato de calcio.

Una de las ventajas del uso de enzimas inmovilizadas es su reutilización. La estabilidad de la enzima fue determinada en reacciones batch incubando la LsdA en 60% de sacarosa y determinando cada 24 horas la la glucosa liberada, obteniendo que el biocatalizador con la enzima inmovilizada era capaz de mantener la actividad durante 96 horas. Figura 8.

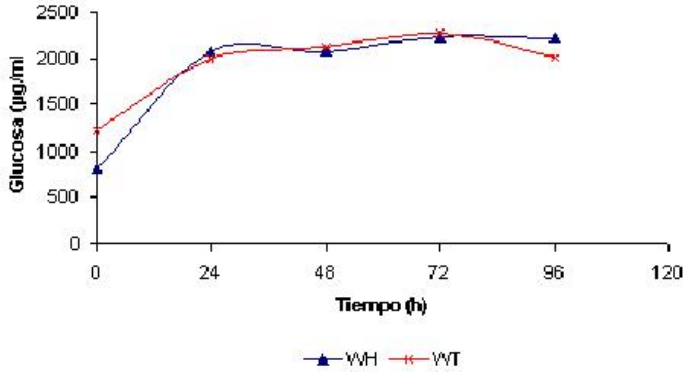


Fig. 8 Estabilidad de la enzima inmovilizada en alginato de calcio.

Conclusiones:

Los mejores rendimientos en la producción de la levanasacarasa recombinante de *G. diazotrophicus* AD5 se obtienen a las 48 horas de fermentación a pH inicial 8.0. Aplicando una cromatografía de afinidad a quelatos metálicos se puede purificar la levanasacarasa recombinante producida por *G. diazotrophicus* AD5, con recobrados superiores al 35% tanto en cama empacada como en cama expandida, comprobando que el uso de cobre como metal de afinidad permite recobrados del 90%. La inmovilización de la enzima fusionada a cola de seis histidinas en alginato de calcio mantiene las propiedades catalíticas de la misma.

Referencias:

Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72: 248-254.

Cavalcante, V.A. y Döbereiner, J. (1988) A new acid-tolerant nitrogen-fixation bacterium associated with sugarcane. Plant Soil 108: 23-31.

Coego, A., Ramirez, R., Menéndez, C., Arrieta, J., Hernández, L., Suarez, V., Selman, G. & Pérez, S. (1992). Isolation and characterization of nitrogen-fixing bacteria associated to sugarcane. Rev Latinoam Microbiol. 34: 189-195.

Cairns, A.J. y Pollock, C.J. (1988) Fructan biosynthesis in excised leaves from Lolium temulentum L. I. Chromatographic characterization of oligofructans and their labelling patterns following 14CO2 feeding. New Phytol. 109: 399-405.

Hernández, L., Arrieta J., Menendez C., Vazquez R., Coego A., Suarez V, Selman G., Petit-Glatron M.F. y Chambert R.(1995). Isolation and enzymatic properties of levansucrase secreted by Acetobacter diazotrophicus SRT4, a bacterium associated with sugar cane. Biochem. J. 309: 113-118.

Hernández, L., Ramírez, R., Hormaza, J.V., Madrazo, J., y Arrieta, J.G. (1999). Increased levansucrase production by a genetically modified Acetobacter diazotrophicus strain in shaking batch cultures. Letters in Applied Microbiology, 28: 41-44.

Laemmli, U. K.1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. Nature, 227: 680-685.

Yun, J.W. (1996) Fructooligosaccharides- occurrence, preparation and application. Enz. Microb. Technol. 19: 107-117.

IMMOBILIZATION OF CHITOSAN-MODIFIED INVERTASE ON ALGINATE-COATED CHITIN SUPPORT VIA POLYELECTROLYTE COMPLEX FORMATION.

IMMOBILIZACION DE INVERTASA MODIFICADA CON QUITOSANA A TRAVES DE LA FORMACION DE UN COMPLEJO POLIELECTROLITO CON UNA MATRIZ DE QUITINA-ALGINATO.

Leissy Gómez*, Hector L. Ramírez, Maria L. Villalonga, Yunior Hernández y Reynaldo Villalonga.

Grupo de Tecnología Enzimática, Centro de Estudios Biotecnológicos, Universidad de Matanzas,

Matanzas, C.P. 44740, Cuba. Tel: 53 45 261251, Fax: 53 45 253101,

e-mail: leissy.gomez@umcc.cu

Resumen:

La invertasa de *Saccharomyces cerevisiae* fue químicamente modificada con quitosana y posteriormente inmovilizada en una matriz de quitina-alginato de sodio a través de la formación de un complejo polielectrolito. El rendimiento del proceso de inmovilización fue de un 85% y la enzima retuvo un 97% de la actividad inicial del conjugado invertasa-quitosana. La invertasa incremento su temperatura óptima en 5°C y su termoestabilidad en 9°C después de la inmovilización. La enzima inmovilizada es más estable en soluciones con una alta fuerza iónica y 4 veces más resistente al tratamiento térmico a 65°C que su contraparte nativa. El biocatalizador preparado retiene el 80% de su actividad catalítica original después de estar sometido a un régimen operacional continuo de 50 h a 37°C.

Palabras claves: Invertasa, quitina, inmovilización de enzimas, estabilización de enzimas, complejo polielectrolito.

Summary:

Saccharomyces cerevisiae invertase was chemically modified with chitosan and further immobilized on sodium alginate-coated chitin support. The yield of immobilized protein was determined as 85% and the enzyme retained 97% of the initial chitosan-invertase activity. The optimum temperature for invertase was increased by 5°C and its thermostability was enhanced by about 9°C after immobilization. The immobilized enzyme was stable against incubation in high ionic strength solutions and was 4-fold more resistant to thermal treatment at 65ºC than the native counterpart. The biocatalyst prepared retained 80% of the original catalytic activity after 50 h under continuous operational regime in a packed bed reactor.

Keywords: Invertase, chitin, enzyme immobilization, enzyme stability, polyelectrolyte complex.

Introduction.

Manipulation of the enzyme protein structure by covalent conjugation with carbohydrate derivatives is a useful method for improving functional stability to these biocatalysts. During last years, many papers have been published describing the chemical (Venkatesh and Sundaram, 1998; Villalonga et al., 2000; Darias et al., 2002), chemo-enzymatic (Longo and Combes, 1995) and enzymatic (Villalonga et al., 2003a,b) glycosidation of enzymes with a variety of sugar compounds, including neutral (Yamagata et al., 1994; Masárová et al., 2001) and ionic polysaccharides (Sakurai et al., 1997; Gómez and Villalonga, 2000; Darias and Villalonga, 2001) as well as cyclodextrin derivatives (Fernández et al., 2002a,b; Fernández et al., 2003). In general, artificial glycosidation of enzymes yields to increased resistance against thermal and proteolytic inactivation, and improved stability in the presence of surfactant and chaotropic substances (Venkatesh and Sundaram, 1998; Villalonga et al., 2000; Gómez and Villalonga, 2000; Fernández et al., 2002a,b). These are important characteristics for using carbohydrate-modified enzymes in biotechnological and industrial applications.

However, there are several technological advantages associated with the use of immobilized enzymes over soluble native or modified enzyme forms (Tischer and Kasche, 1999). In fact, insolubility of immobilized enzymes allows for their: i) multiple reuse, ii) easy separation from the reaction media, iii) controlled product formation, iv) continuous operation of enzymatic processes, v) rapid termination of reactions, and vi) greater variety of engineering designs (Klibanov, 1979).

Adsorption of enzymes on charged supports through electrostatic interactions has been widely used for immobilizing enzymes because of the easy of preparation and the possibility of reuse of the support (Rosevear 1984; Kennedy et al., 1990). However, immobilization of native enzymes on conventional ionic exchanger resins is frequently not very strong, and most proteins are fully desorbed from such matrices at moderate ionic strength or pH changes (Torres et al., 2002). That is why the development of new procedures for immobilizing enzymes on charged solid supports via electrostatic interactions receives special relevance in enzyme technology.

In previous works, we described the covalent cross-linking of enzymes with chitosan as a useful method for improving functional stability to these biocatalysts in aqueous solution (Gómez et al., 2000; Darias and Villalonga, 2001). In the present study, we report the polyelectrolyte complex formation mediated immobilization of an invertase-chitosan conjugate on sodium alginate-coated chitin support. To the best of our knowledge, the idea of preparing neoglycoenzymes containing ionic polysaccharides and to evaluate their immobilization on supports coated with an opposite charged polyelectrolyte is novel, and has not been investigated so far.

Materials and Methods.

Materials

Sodium alginate from *Laminaria hyperborea* was purchased from BDH (Poole, UK). Analytical data were: molecular weight = 1.97×10^5 (Smidsrød, 1970), uronate composition = 37.5 % mannuronate, 62.5 % guluronate (Grasdalen et al., 1979). Invertase from *S. cerevisiae* (1840 U/mg) was purchased from Fluka (Buchs, Switzerland). Chitin from lobster shells (degree of deacetylation = 10% (Baxter et al., 1992), average particle size = 30 µm) was obtained from Empresa Mario Muñoz (Havana, Cuba). Chitosan was prepared by alkali deacetylation of chitin (Kurita et al., 1977). Analytical data were: molecular weight = 2.1×10^4 (Roberts and Domszy, 1982), degree of deacetylation = 90% (Baxter et al., 1992). All other chemicals were analytical grade.

Enzyme immobilization

For preparing the alginate-coated support for invertase immobilization, 600 mg of the anionic polysaccharide were dissolved in 60 ml potassium phosphate buffer, pH 6.0 and then 150 mg EDAC were added. The solution was stirred for 1 h at room temperature and further mixed with a suspension of chitin (3 g) in 30 ml distilled water. The reaction was maintained at 25ºC for 16 h under continuous stirring. The solid was collected by centrifugation, washed several times with distilled water until not carbohydrates were detected in the wastes, and finally suspended in 90 ml of 50 mM sodium acetate buffer, pH 4.5.

Four milligrams of chitosan-modified invertase, prepared as previously described (Gómez et al., 2000), were added to the solution containing the alginate-coated support and the mixture was stirred during 3 h at 4ºC. After the immobilization, the support was repeatedly washed with 20mM sodium acetate buffer, pH 4.5 and the amount of adsorbed enzyme was estimated by difference after measuring the non-immobilized protein.

Assays

The enzymatic activity of native and modified invertase was determined by adding 100 µl of enzyme solution to 400 µl of 200 mM sucrose in 50 mM sodium acetate buffer, pH 4.6. After 10 min at 37ºC the reaction was stopped and the reducing sugars were determined using 3,5-dinitrosalicylic acid (Bernfeld, 1955). One unit of activity was defined as the amount of enzyme required to hydrolyze 1.0 µmol of sucrose per min under the described conditions. Total carbohydrates were determined by the phenol-sulfuric acid method (Dubois et al., 1956) using glucose as standard. Invertase concentration was estimated from A_{280nm} (1 mg/ml) = 2.25 (Trimble and Maley, 1977).

pH optimum

The hydrolytic activity of the enzyme preparations (0.5 U/ml final concentration, corresponding to 100% in the graphic) toward sucrose were measured at 37ºC in 50 mM citric acid/Na_2HPO_4 buffer solution with pH ranging from 2.2 to 6.2.

Temperature optimum

The hydrolytic activity of the enzyme preparations (0.5 U/ml final concentration, corresponding to 100% in the graphic) toward sucrose were measured at different temperatures ranging from 30ºC to 70ºC. The corresponding values of optimum temperature were calculated from Arrhenius plots.

Thermal stability profile

Invertase forms were incubated at selected temperatures in 50 mM sodium acetate buffer, pH 5.0 (0.5 U/ml final concentration, corresponding to 100% in the graphic). Aliquots were removed after 10 min incubation, chilled quickly, and assayed for enzymatic activity.

Kinetics of thermal inactivation at 65ºC

The enzymes were incubated at 65ºC in 50 mM sodium acetate buffer, pH 5.0 (0.5 U/ml final concentration, corresponding to 100% in the graphic). Aliquots were removed at scheduled times, chilled quickly, and assayed for enzymatic activity.

Operational stability of immobilized invertase in a packed bed reactor.

A solution of sucrose (200 mM) in 50 mM sodium acetate buffer, pH 4.6 was introduced to the reactor (length 10 cm, diameter 1.2 cm) at a flow rate of 20 ml/h through the upper inlet part. The reactor was operated under continuous regime during 50 h at 30ºC. The solution leaving the reactor was collected at scheduled times and assayed for invertase activity.

Results.

To prepare the support for enzyme immobilization, chitin was coated with sodium alginate through amide linkages. This process, catalyzed by a water-soluble carbodiimide, yielded an amount of 6 mg of the anionic polysaccharide attached to each gram of support. On the other hand, invertase was chemically modified with chitosan as previously described (Gómez et al., 2000) in order to prepare an enzyme form suitable to be used in the proposed immobilization method.

Different experimental conditions were studied for determining the optimum parameters for invertase immobilization. The effect of solution pH during the immobilization process on enzyme activity is shown in Figure 1.

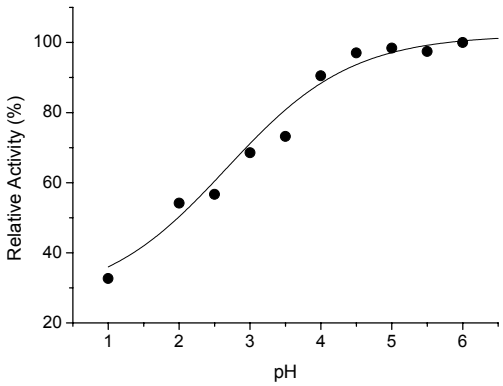


Figure 1. Influence of pH on the immobilization of chitosan-invertase conjugate on alginate-coated chitin support.

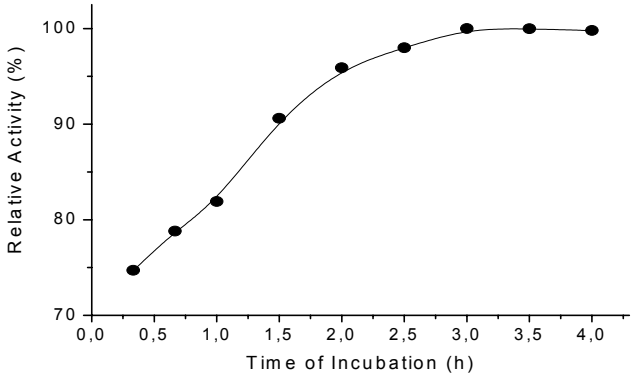


Figure 2. Influence of incubation time on the immobilization of chitosan-invertase conjugate on alginate-coated chitin support.

It can be seen that the higher catalytic activity of the immobilized invertase occurred at pH above 4.5, and further experiments were performed at this value of pH. The time course of invertase immobilization is shown in Figure 2. The degree of immobilized enzyme was higher even at lower incubation times, but maximum immobilized activity was observed after 3 h incubation.

The effect of initial protein concentration in the bulk solution on the immobilized amount of invertase was determined by incubating the enzyme with the support during 3 h at pH 4.5 and 4ºC. As is illustrated in Figure 3, the immobilized activity increases progressively when the concentration of the enzyme in solution increases, reaching maximal activity at values higher than 43 µg/ml protein concentration. Consequently, this value of initial invertase concentration was selected as optimum for further experiments. Under these conditions, the yield of immobilized protein was determined as 1.1 mg/g support, representing 85% of the initial amount of incubated enzyme. Immobilized invertase retained 97% of the initial specific activity of the enzyme-chitosan complex, representing 79% of the native. On the other hand, the amount of native invertase loaded on the alginate-modified support was significantly lower, and this preparation was not further considered in the present study.

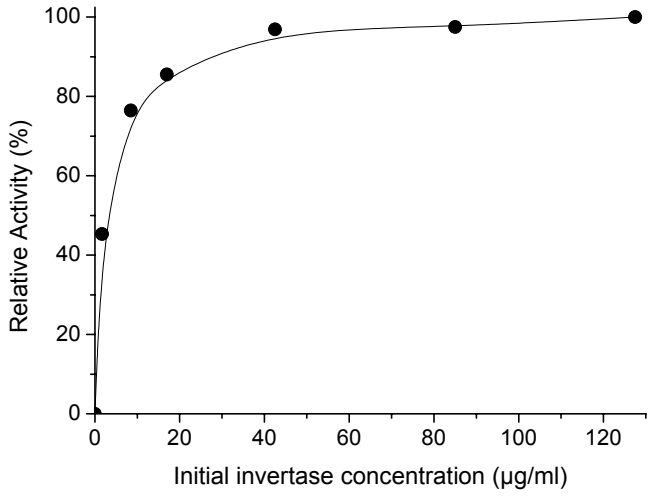


Figure 3. Influence of initial protein concentration on the immobilization of chitosan-invertase conjugate on alginate-coated chitin support.

The affinity for sucrose was slightly increased for invertase after covalent glycosidation with chitosan: native and modified forms gave apparent K_m values of 15.6 µM and 12.4 µM, respectively. On the contrary, the affinity for substrate was reduced for the immobilized invertase preparation, with an apparent K_m value of 27.7 µM.

The pH-activity profile for native, modified and immobilized enzyme forms is shown in Figure 4. The optimum range of pH for invertase was slightly increased and shifted to acidic values of pH after modification and immobilization. Optimum pH of native enzyme lies in the range of 4.2-4.6, whereas optimum pH of the modified and immobilized invertase curves the range of 3.8-4.6 and 3.4-4.6, respectively.

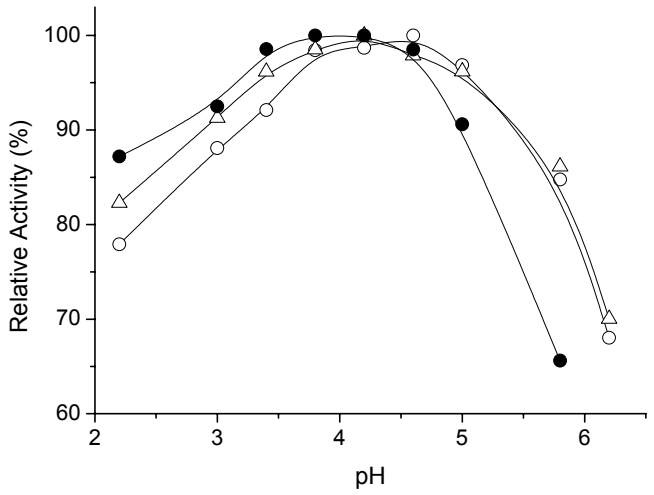


Figure 4. Optimum pH for native (O), modified (●) and immobilized (∇) invertase preparations.

Figure 5 depicts the temperature-activity profile for all invertase preparations. The optimum temperature for sucrose hydrolysis was increased from 55ºC to 60ºC for the enzyme after covalent modification with chitosan. Similar increase in optimum temperature was observed for the immobilized invertase.

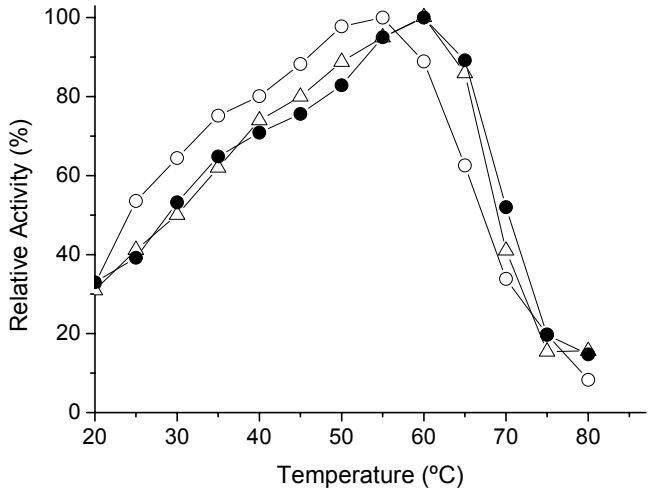


Figure 5. Optimum temperature for native (O), modified (●) and immobilized (∇) invertase preparations.

The thermal stability profile of all invertase preparations, determined for the activity retained after heating the enzymes at different temperatures during 10 min, is shown in Figure 6. The immobilized invertase was significantly more resistant to heat treatment at temperatures higher than 50ºC, in comparison with native counterpart. Consequently, the value of T_{50}, defined as the temperature at which 50% of the initial activity was retained, was increased from 57ºC to 66ºC for the enzyme after immobilization on the negative charged support. It should be noted that thermal stabilization showed by the immobilized invertase preparation was lower when comparing with the corresponding to the chitosan-modified enzyme form (T_{50} = 17ºC).

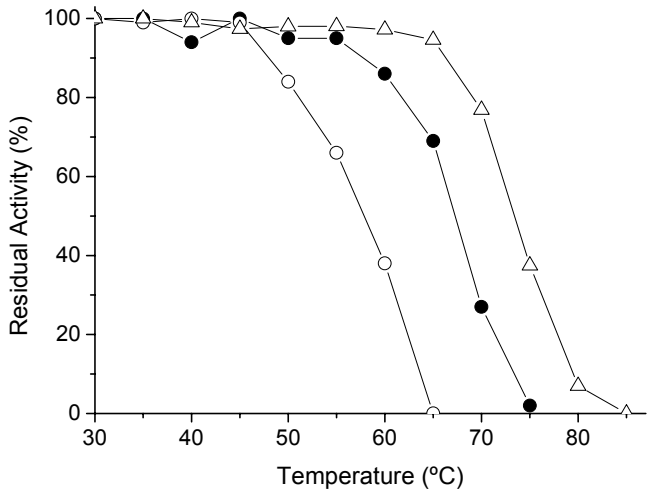


Figure 6. Thermal stability profile of native (O), modified (●) and immobilized (∇) invertase preparations.

Figure 7 reports the kinetics of thermal inactivation of the enzyme forms exposed at 65ºC. All invertase preparations lost activity progressively with time according to a biphasic inactivation kinetics, but the immobilized enzyme was 4-fold more resistant to thermal treatment than the native counterpart. Interestingly, this thermal stabilization was lower when comparing with the corresponding to the chitosan-invertase complex (Gómez et al., 2000).

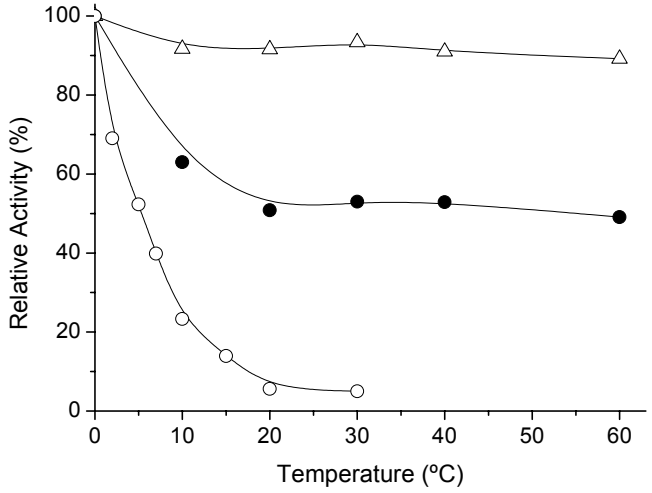


Figure 7. Kinetics of thermal inactivation of native (O), modified (●) and immobilized (∇) invertase preparations at 65°C.

The immobilized biocatalyst was resistant to incubation at 1 M NaCl ionic strength in 50 mM sodium acetate buffer, pH 4.5, retaining full enzymatic activity after 4 h incubation at 30ºC under these conditions. On the other hand, the immobilized enzyme could fully retain its activity in 50 mM sodium acetate buffer, pH 4.5 after 45 days if stored at 4ºC (data not shown).
The operational stability of immobilized invertase was studied in a packed bed reactor for 50 h at 30ºC. As can be observed in Figure 8, the activity of the immobilized catalyst was slightly decreased according

to a first-order process, losing about 20% of the initial activity after 50 h of continuous operation. The operational inactivation rate constant of the immobilized invertase, under the conditions described above, was calculated as $k_{opi} = 0.36\ h^{-1}$.

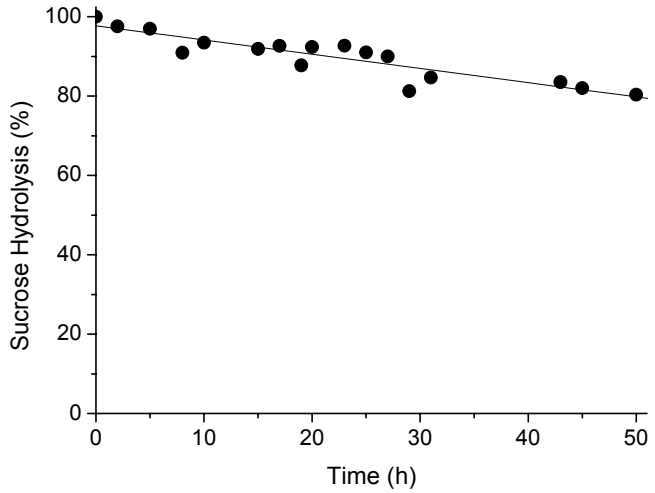


Figure 8. Operational stability of immobilized invertase in a packed bed reactor at 30ºC.

Discussion.

In the present study, a chitosan-invertase conjugate was adsorbed in high yield via electrostatic interactions on chitin supports previously coated with sodium alginate. Chitosan form highly stable polyelectrolyte complexes with sodium alginate, which are only dissociated under very extreme conditions (Becheran, 1998). Through such kind of electrostatic interactions, we prepared an immobilized biocatalyst resistant to high ionic concentration and having excellent storage stability and continuous operational performance in a bed reactor (Figure 8).

The apparent Michaelis Menten constant for invertase was affected after immobilization. Diffusional effects, caused by the three dimensional structure of the support and the alginate chains, may be mainly responsible for the increase in K_m value.

The optimum pH of both the modified and immobilized enzyme forms was shifted to acidic range. This fact could be explained by the attachment of the cationic polyelectrolyte to invertase, in agreement with the general observation that the positive-charged supports displace pH-activity curves of the enzymes attached to them towards lower pH values (Abdel-Naby et al., 1999; Hsieh et al., 2000).

The immobilized enzyme was more resistant to thermal treatment than the native counterpart. However, the thermal stability showed by the immobilized adduct was lower when comparing with the parent chitosan-modified form (Figures 6 and 7). This result was not surprising, taking into account that the heat resistance showed by invertase-chitosan conjugate was mediated by the contribution of several structural factors; including the formation of intramolecular electrostatic interactions between the positive charged polysaccharide and the anionic residues at the protein surface (Gómez et al., 2000). In fact, it was also demonstrated that invertase form stable electrostatic complexes with cationic polymers (Dautzenberg et al., 1991). In the present study, part of the stabilizing positive charges from the polymer chains are involved in the formation of polyelectrolyte complexes with sodium alginate, then decreasing the thermal stability properties of the immobilized enzyme.

Conclusions.

In the present paper we described a new immobilization method for enzymes chemically modified with ionic polysaccharides, based on the formation of polyelectrolyte complexes with supports coated with opposite charged polymers. The biocatalyst prepared by loading chitosan-modified invertase on sodium alginate-coated chitin showed increased thermostability when comparing with native enzyme. The optimum temperature and pH range for catalytic activity was increased for invertase after immobilization. The biocatalyst prepared was also stable at high salt concentration and showed excellent storage and operational stability. The results here presented suggest that the electrostatic immobilization strategy described might be a useful tool for improving the functional and operational properties of further enzymes.

Acknowledgments.

This research was supported by The Third World Academy of Sciences, through a grant to R. Villalonga (Grant 01-279 RG/CHE/LA).

Reference.

Abdel-Naby MA, Sherif AA, El-Tanash AB, Mankarios AT. 1999. J Appl Microbiol 87: 108-114.
Baxter A, Dillon M, Taylor KDA, Roberts GAF. 1992. Int J Biol Macromol 14: 166-169.
Becheran L. 1998. MSc Thesis. Havana University.

Bernfeld P. 1955. Amylases α- and β-. Methods Enzymol 1: 149-158.

Darias R, Herrera I, Fragoso A, Cao R, Villalonga R. 2002. Biotechnol Lett 24: 1665-1668.
Darias R, Villalonga R. 2001. J Chem Technol Biotechnol 76: 489-493.
Dautzenberg H, Kötz J, Philipp B, Rother G, Schellenberger A, Mansfeld J. 1991. Biotechnol Bioeng 38: 1012-1019.
Dubois MK, Gilles A, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. 1956. Anal Chem 28: 350-356.
Fernández M, Fragoso A, Cao R, Baños M, Villalonga R. 2002a. Enzyme Microb Technol 31: 543-548.
Fernández M, Fragoso A, Cao R, Villalonga R. 2003. J Mol Catal B Enzymatic 21**:** 133-141.
Fernández M, Villalonga ML, Fragoso A, Cao R, Villalonga R. 2002b. Biotechnol Appl Biochem 36: 235-239.
Gómez L, Ramírez HL, Villalonga R. 2000. Biotechnol Lett 22: 347-350.
Gómez L, Villalonga R. 2000. Biotechnol Lett 22: 1191-1195.
Grasdalen H, Larsen B, Smidsrød O. 1979. Carbohydr Res 68: 23-31.
Hsieh HJ, Liu PC, Liao WJ. 2000. Biotechnol Lett 22: 1459-1464.
Kennedy JF, Melo EHM, Jumel K. 1990. Chem Eng Prog 45: 81-89.
Klibanov AM. 1979. Anal Biochem 93: 1-25.
Kurita K, Sannan T, Iwakura Y. 1977. Makromol Chem 178: 3197-3202.
Longo MA, Combes D. 1995. FEBS Lett 375: 63-66.
Masárová J, Mislovičová D, Gemeiner P, Michalková E. 2001. Biotechnol Appl Biochem 34: 127–133.
Roberts GAF, Domszy JG. 1982. Int J Biol Macromol 4: 374-377.
Rosevear A. 1984. J Chem Technol Biotechnol 34: 127-150.
Sakurai K, Miyazaki K, Kodera Y, Nishimura H, Shingu M, Inada Y. 1997. Glycoconj J 14: 723-728.
Smidsrød O. 1970. Carbohydr Res 13: 359-372.
Tischer W, Kasche V. 1999. Trends Biotechnol 17: 326-335.
Torres R, Mateo C, Fuentes M, Palomo JM, Ortiz C, Fernández-Lafuente R, Guisan JM, Tam A, Daminati M. 2002. Biotechnol Prog 18: 1221-1226.
Trimble RB, Maley F. 1977. J Biol Chem 252: 4409-4412.

Venkatesh R, Sundaram PV. 1998. Protein Engng 11: 691-698.
Villalonga R, Fernández M, Fragoso A, Cao R, Di Pierro P, Mariniello L, Porta R. 2003a. Biotechnol Bioeng 81: 732-737.
Villalonga R, Fernández M, Fragoso A, Cao R, Mariniello L, Porta R. 2003b. Biotechnol Appl Biochem 38: 53-59.
Villalonga R, Villalonga ML, Gómez L. 2000. J Mol Catal B Enzymatic 10: 483-490.
Yamagata Y, Arakawa K, Yamaguchi M, Kobayashi M, Ichishima E. 1994. Enzyme Microb Technol 16: 99-103.

“MICROBIOTA RESPONSABLE DE LA DESULFURACION DE BIOGAS A PARTIR DE VINAZA TRATADA”

"MICROBIOTA RESPONSABLE OF DESULPHURISATION OF BIOGAS FROM TREATED VINASSE"

Vergara,[1] L.; Villa,[2] P.; León,[2] M.; Pérez,[2] H.

1. Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes (IIPF).
   Carretera 43 Km ½ Cangrejeras. Bauta. Cuba. CP:11400
   iipf@ceniai.inf.cu
2. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
   Vía Blanca # 804 esq a Carretera Central. San Miguel del Padrón. La Habana. Cuba. Aptdo Post 4026.
   villap@icidca.edu.cu

Las vinazas de destilerías constituyen una fuente de contaminación ambiental, debido a su alta carga de compuestos orgánicos e inorgánicos. Su tratamiento, además de dar solución al problema medioambiental, contribuye al fomento de tecnologías limpias; facilita un aprovechamiento racional del agua al ser usadas en la agricultura; a la vez que constituye un aporte económico-social fundamentado en la producción de biogás asociada; de gran aplicación como combustible industrial y doméstico. La eliminación del sulfuro de hidrógeno que aparece como gas contaminante del biogás y produce efectos indeseables tanto para la industria como para la salud humana, constituye un aspecto de vital importancia, por lo que conociendo las ventajas que ofrecen los métodos biológicos de desulfuración, se caracterizó la microbiota presente en una vinaza de destilería previamente tratada en un reactor UASB, con la cual se había logrado una remoción del 98% del sulfuro de hidrógeno presente en el biogás producido durante la digestión anaerobia. Se reporta el conteo de microorganismos y la presencia de bacterias aerobias facultativas, levaduras, hongos y bacterias anaerobias glucolíticas. No se reportan bacterias metanogénicas. Mediante el estudio del crecimiento microbiano y el comportamiento del pH en tres medios específicos, se detectó la presencia de microorganismos que utilizan los compuestos reducidos del azufre. Se comprobó la tendencia al incremento del pH en el medio y se ratificó la utilidad del empleo de métodos biológicos como una alternativa eficiente, económica y con beneficios ecológicos.

Distilleries vinasses represent a source of pollution, as waste waters, due to their high organic and inorganic load. Their treatment, besides it gives a solution to an environmental problem, contributes at the same time to the spreading of clean technologies; viabilizes a rational utilization of water since they are used in agriculture and finally constitutes a social and economical contribution based on the associated biogas production, widely used as domestic and industrial fuel. The removal of hydrogen sulfide; a pollutant of the produced biogas with undesirable effects in both industry and human health, is an issue of vital importance, thus knowing the advantages that biological desulphurisation methods offers, the microbiota present in a sample of distillery vinasse previously treated in an UASB reactor, was characterized, which lead to a 98% of removal of the hydrogen sulfide produced during the anaerobic digestion. The counting of microorganism and the presence of facultative aerobic bacteria, yeast, fungi and glycolitic anaerobic bacteria was reported. No report of methanogenic bacteria was done. Through the study of microbial growth and pH behavior in three specific culture media, the presence of microorganisms using reduced sulfur compounds was detected. The trend toward the increasing of pH was corroborated and the usefulness of biological methods as an efficient, economical and ecological friendly alternative for biogas desulphurisation was ratified.

palabras claves: biogás, vinazas, desulfuración biológica, reactor UASB.

key words: biogas, vinasses, biological desulphurisation, UASB reactor.

INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo de la humanidad, asociado a la continua industrialización, urbanización y empleo de motores de todo tipo, ha devenido en incremento de la contaminación ambiental. Algunos de los problemas más graves que enfrentamos provocados por la emisión de compuestos orgánicos e inorgánicos, son las lluvias ácidas, el efecto invernadero y el envenenamiento de las aguas y los suelos a través del vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales (Earthwatch United Nations Enviroment Program, 1992).

Entre los residuales industriales responsables de producir serias afectaciones ecológicas, se encuentran los de la industria alcoholera, cuyas producciones requieren cantidades considerables de agua y generan por tanto grandes cantidades de desechos líquidos; entre ellos las vinazas de destilerías, las cuales debido a su composición físico-química (alta carga orgánica con alta demanda química de oxígeno (DQO)), representan un serio problema a la hora de determinar el destino de sus vertimientos, que de ser en ríos y mares provocaría afectaciones probadas a la flora y la fauna, así como problemas irreversibles a corto plazo en suelos, manto freático y cultivos (González, 2001; Soto y Ramiro, 1998).

La búsqueda de soluciones a tales dificultades representa un reto tanto para la comunidad científica internacional, como para los gobiernos de las diferentes naciones. El estado cubano permanentemente enfrascado en mejorar su política de atención al medio ambiente, realiza esfuerzos denodados por encontrar soluciones particularmente el MINAZ, ha venido orientando en los últimos años el incremento de la construcción de plantas modulares de tratamiento de aguas residuales de mediana capacidad en diferentes complejos (Hernández, 1995; Valdés y otros 1993); a punto de su puesta en marcha se encuentra la planta del CAI Heriberto Duquesne en Villa Clara, que dará tratamiento a 800 m^3 de vinazas y producirá 16000 m^3 de biogás por día.

Resulta interesante que en nuestro país existe un potencial de biogás equivalente a 300000 t/día de petróleo (considerando solo residuos agrícolas e industriales), pero en la actualidad no se aprovecha ni el 1%, aunque se desarrolla un programa Nacional de Biogás, en coordinación con los grandes vertederos de residuos biológicos (Fernández, 1999) y se preveé un fuerte desarrollo de este campo en los años venideros (MINAZ-Proyección 2005-2010, 2000).

Con dichas plantas, además del tratamiento del residual para evitar la contaminación, se logra un uso racional del agua, por ejemplo en la producción de biogás, cuya utilización representa un reglón de importancia económica y ecológica al incidir en la disminución del empleo de combustibles fósiles.

El tratamiento de este tipo de residual puede ser mediante procesos anaeróbicos, entre los cuales los reactores de flujo ascendente con lecho de lodos (UASB), constituyen una muestra con probadas ventajas comerciales (Valdés y otros 2000; Famá, 1995; Noyola, 1992).

El biogás obtenido a partir del tratamiento anaeróbico de estas aguas, presenta como inconveniente la presencia de sulfuro de hidrógeno (H_2S) como gas contaminante; el cual resulta nocivo en la industria y la salud humana. Existen para la desulfuración del biogás varios métodos, sin embargo, en las últimas décadas se prefiere el empleo de métodos biológicos debido a sus reconocidas ventajas (An y Kim, 2000; Kennes y Thalasso, 1998; Buisman y Prins, 1994; Frechen, 1994; Sublette y Gwozdz, 1991)

En relación con lo expuesto, este trabajo tuvo por objetivo cuantificar la microbiota presente, así como detectar microorganismos que utilizan los compuestos reducidos del azufre en un reactor de desulfuración de biogás; obtenido a partir de vinaza de destilería tratada en un reactor de digestión anaerobia de flujo ascendente con lecho de lodo, más conocido como reactor UASB.

MATERIALES MÉTODOS

Origen, características e identificación de las muestras.

Se estudio la vinaza procedente de la columna de destilación de la destilería "Heriberto Duquesne" ubicada en la provincia de Villa Clara; cuya alta concentración de sulfatos (2.67 g/l) justifica que al ser empleada en la producción de biogás (durante su tratamiento), se obtuvieran en el mismo altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno (1.5-2.5 %); valores por encima de lo permisible (0.1 %) (Valencia, 2002).

Una vez sometida la vinaza al proceso de digestión anaerobia en el reactor de flujo ascendente con lecho de lodo (UASB), se empleó en la desulfuración de biogás durante 45 días. En esta experiencia se analizaron las siguientes muestras:

- Muestra inicial (Ii): Vinaza tratada antes de ponerse en contacto con el biogás (hora 0).
- Muestra final-liquida (F_L): Vinaza tratada presente en el reactor de desulfuración al finalizar la experiencia).
- Muestra final-capa (F_C): Capa superficial formada en el reactor de desulfuración al finalizar la experiencia).

El pH inicial de la vinaza tratada fue 7.9 y se mantuvo constante durante los 45 días de experimentación, debido a la alta capacidad tampón de la misma (Valencia, 2002).

Planta piloto de tratamiento de residuales. Características y condiciones de trabajo.

La planta piloto de tratamiento de residuales del ICIDCA para este tipo de estudio, cuenta con un reactor UASB; de forma cilíndrica y fondo cónico. El reactor se inoculó con lodo albañal digerido floculento de la planta de tratamiento de residuales albañales del río Quibú. La temperatura se mantuvo a 30 ^{0}C en cuarto termostatado. El biogás producido se almacenó para su posterior purificación.

La planta cuenta además con un equipo para la desulfuración de biogás conformado por dos botellas de Boyle Mariotte; una con el biogás producido a partir del tratamiento de la vinaza en el reactor UASB (biogás sin tratar) y otra que recibe el biogás desulfurizado. Al centro de las mismas se encuentra un balón de tres bocas, una de las bocas para la entrada del biogás sin tratar; otra para la entrada del aire (cantidades de aire adicionadas tan bajas como del 2% del volumen de biogás producido) y la tercera para la salida del biogás desulfurizado hacia la botella de almacenamiento. Dicho balón contenía 500 ml de vinaza tratada (para garantizar la mayor superficie de contacto).Los recipientes eran herméticos, lo que permitió realizar la reacción sin entrada de aire del exterior y evitó la fuga de gases.
El porciento de remoción de sulfuro de hidrógeno que se obtuvo bajo estas condiciones fue 99% (Valencia, 2002).

Cuantificación de la microbiota.

Se tomaron las muestras en condiciones asépticas antes de la entrada en el balón de desulfuración (hora 0) y al finalizar la experiencia.
El recuento total de bacterias aerobias facultativas se realizó por el método de diluciones decimales en Agar Nutriente (AN). Las placas se incubaron a 30 ºC para su conteo transcurridas 48 horas.
El recuento total de bacterias anaerobias glucolíticas y metanogénicas se realizó por la técnica del número más probable (NMP) en medios anaerobios conteniendo glucosa como fuente de carbono (Maestrojuan, 1987) y acetato como fuente de energía (Touzel y Albanac, 1988). Los frascos se incubaron a 30 ºC durante 7 días (glucolíticas) y 21 días (metanogénicas) para su posterior recuento.
Se empleó Agar Malta (MA) (Biocen) para el recuento total de hongos y levaduras por el método de diluciones decimales. La incubación se realizó a 30 ºC durante 5 días.

Detección de microorganismos que utilizan los compuestos reducidos del azufre.
Se realizaron siembras por duplicado de las tres muestras en dos de los medios líquidos específicos para el desarrollo de bacterias que utilizan los compuestos reducidos del azufre (M1) (Touzel y Albanac, 1988) y (M2). (Kurosawa y otros 2000). En el caso del medio 3 (M3) (condiciones anaeróbias) (Coto, 2002)., el ensayo se realizó por duplicado, incubando a 30 ºC, en zaranda a 75 rpm (Cesková y otros 2000; Gambil y Burker, 1999) y se determinó durante 16 días a intervalos de 48 horas crecimiento microbiano, mediante lecturas de la absorbancia a 600 nm, así como el pH

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Cuantificación de la microbiota.
En la tabla I se muestra el recuento de microorganismos presentes en el reactor, en la misma se observa que el contenido de bacterias aerobias facultativas en la muestra inicial es del orden de 10^8 UFC / ml, mientras que en las 2 fases de la hora final este valor tuvo un incremento de 1 logaritmo. Para comprender esta diferencia, es necesario recordar que las 2 fases de la hora final corresponden a muestras sometidas al proceso de desulfuración y posiblemente este incremento en el número de UFC/ml se deba al desarrollo y proliferación de los microorganismos que utilizan los compuestos reducidos del azufre, entre otros.

Tabla I. Cuantificación de la microbiota en las muestras analizadas

Muestras	Bacterias aerobias facultativas (UFC/ml)	Bacterias anaerobias glucolíticas (NMP/ ml)	Bacterias metanogénicas (NMP/ ml)	Levaduras (UFC/ml)	Hongos (UFC/ml)
Inicial	5.6×10^8	3.3×10^8	ND	10×10^4	2.4×10^9
Fase líquida	3.0×10^9	1.7×10^3	ND	10×10^5	2.0×10^7
Fase Capa	7.3×10^9	1.7×10^3	ND	30×10^6	5.4×10^7

Teniendo en cuenta que previo al proceso de desulfuración, la vinaza fue sometida a un tratamiento de digestión anaerobia, en el que intervienen diferente grupos tróficos, entre los que se encuentran las bacterias glucolíticas y metanogénicas (Famá. 1995; Mc Inerney y Bryant, 1991), se realizó la cuantificación de las mismas, cuyos resultados se ofrecen a continuación:

El NMP de bacterias anaerobias glucolíticas fue de 3.3×10^8 en la muestra inicial y 1.7×10^3 tanto en la fase líquida como en la capa, esta diferencia se justifica al analizar que la muestra inicial al provenir del proceso anaerobio, posee un mayor número de microorganismos anaerobios viables, mientras que en las últimas muestras este valor se ve disminuido, posiblemente por la sola presencia de las facultativas.

No se detectaron bacterias metanogénicas en ninguna de las fases de la muestra final, debido a que estas bacterias se desarrollan en ambiente de anaerobiósis estricta y la presencia de oxígeno, aún en cantidades muy pequeñas influye negativamente en su viabilidad. Algunos autores reportan que en los gránulos formados en el reactor UASB, ocurre una distribución homogénea de las bacterias presentes y consideran que los distintos tipos de bacterias metanogénicas se situan al centro o entre el centro y la perisferia del gránulo (Famá, 1995; Villa y otros 1993; Guyot, 1992; Grotenhuis y Kissell, 1991), lo que justifica que no se detecten estas en ninguna de las fases, incluyendo a la muestra inicial. Según reportes de estos autores no ocurre lo mismo con las bacterias glucolíticas, las cuales por encontrarse en la superficie del gránulo pueden ascender.

La presencia de levaduras se debe probablemente al origen de la vinaza, que procede del proceso de producción de alcohol, donde las levaduras juegan un rol determinante. Es de señalar que el incremento del número de UFC/ml en las muestras finales, con respecto a la inicial, puede deberse a que las condiciones del proceso de desulfuración favorezcan su desarrollo, especialmente apreciable en el caso de la fase capa que por estar ubicada en la superficie del líquido, posee mayor aireación.

En la tabla I se aprecia además una disminución del contenido de hongos entre las muestras inicial y ambas muestras finales, posiblemente debido a varias causas:

- Presencia de bacterias antagonistas y/o sus metabolitos.
- Competencia por el sustrato debido a la presencia de mayor cantidad de bacterias.
- La concentración del sulfuro de hidrógeno presente en el reactor no resulta favorable para los mismos.

En los resultados obtenidos por Villa y otros (2001) en cuanto a caracterización microbiológica de vinazas tratadas anaeróbicamente en reactor UASB, se observó 109 UFC/ml de bacterias aerobias mesófilas, 3.5 x 104 UFC/ml de levaduras y no se reportó la presencia de hongos. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el presente trabajo, exceptuando el caso de los hongos.

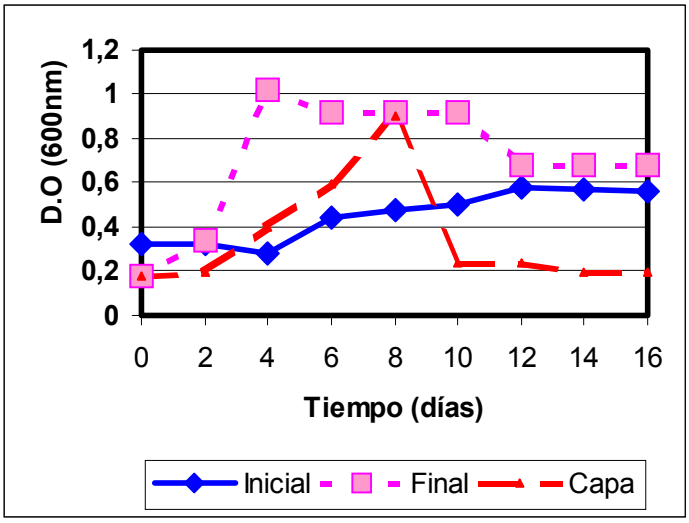
Detección de microorganismos que utilizan los compuestos reducidos del azufre.

Con el objetivo de continuar la caracterización de la microbiota del reactor y teniendo en cuenta la capacidad de remoción del sulfuro de hidrógeno del biogás por la vinaza en estudio, así como conociendo que en la parte oxidativa del ciclo del azufre las bacterias sulfuro incoloras juegan un importante rol, al emplear los compuestos reducidos del azufre (H2S, S0,,S2O3-) como donor de electrones para la obtención de energía durante el crecimiento (Robertson y Kuenen, 1991), se sembraron las muestras en los medios liquídos: M1, M2 y M3 a diferentes pH, considerando el amplio rango de pH que se reporta para este grupo de microorganismos (entre 1-10**)** (Madigan y otros 1997; Robertson y Kuenen, 1991).

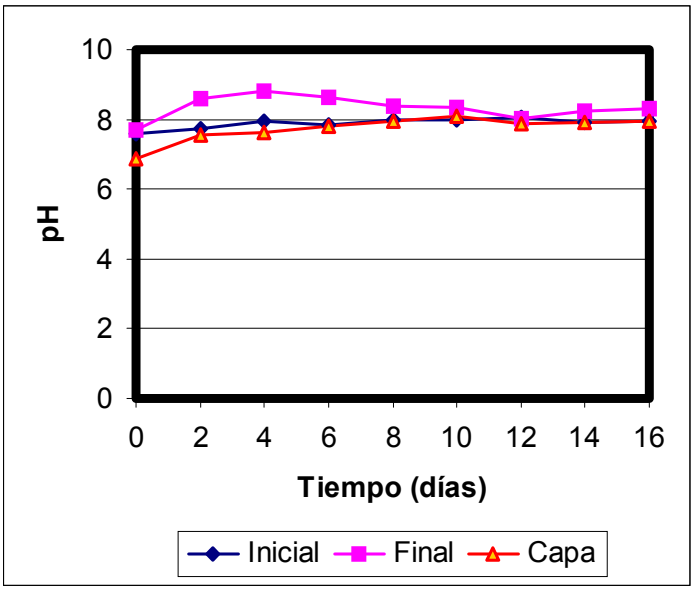
En relación con este parámetro no solo se reporta el rango permisible para el crecimiento de estos microorganismos, sino además que dependiendo del tipo de oxidación que se produzca, se obtendrá uno u otro producto final y con ellos valores de pH diferentes. Tal es el caso de la obtención de ácido sulfúrico como producto final **(**Madigan y otros 1997) o tetrationato (Sorokin y otros 1996), por sólo citar ejemplos extremos.

Los resultados del comportamiento de las muestras (I, F_C y F_L) en los diferentes medios, se exponen individualmente a través del ploteo de los valores de DO *vs* Tiempo y pH *vs* Tiempo, así para el caso de M_1 (gráfico 1) el máximo crecimiento en la muestra inicial se obtuvo a los 12 días de incubación, a diferencia de la fase líquida y la capa, donde este valor se alcanzó al cuarto y octavo día, respectivamente. El mayor crecimiento se obtuvo en la fase líquida, seguido de la fase capa en la cual, a partir del octavo día ocurrió un brusco descenso.

Graf. 1: Crecimiento de la microbiota en el medio M_1 de la muestra inicial y las fases líquida y capa



Graf. 2: Variaciones de pH en el medio M_1 durante el crecimiento de la microbiota de la muestra inicial y las fases líquida y capa.



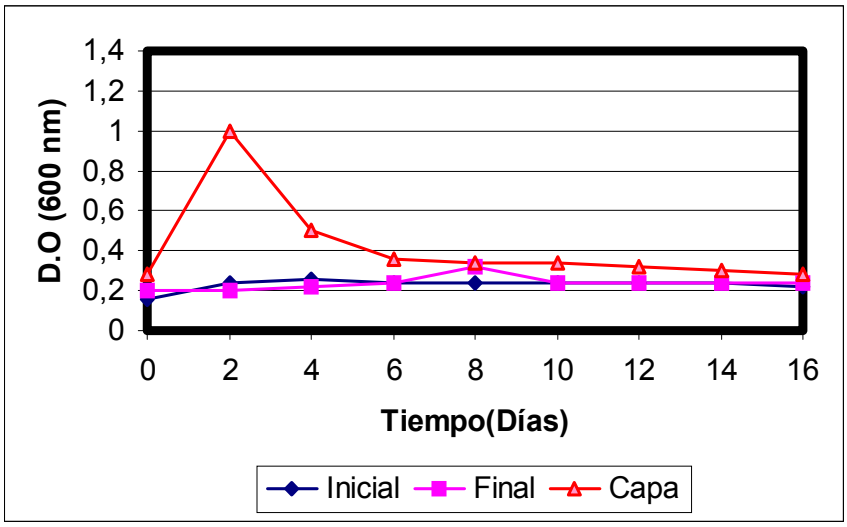
Aunque no se realizaron cálculos de la velocidad de crecimiento en el presente trabajo, se evidencia, a través de la pendiente de curva de la fase líquida, una velocidad de crecimiento de la biomasa superior a la del resto de las muestras.

En relación con el análisis del pH, los resultados se muestran en la gráfica 2, donde se observa que en la muestra inicial y en la fase capa ocurrió una ligera elevación de pH hasta valores cercanos a 8, mientras

que en la fase líquida se alcanzaron valores de apróximadamente 9. Resulta interesante el hecho de que en esta última existe correspondencia entre el aumento del pH y el máximo crecimiento. Este comportamiento de incremento del pH, se corresponde con los resultados reportados por Sorokin y otros (1996) trabajando con microorganismos alcalófilos en medio con tiosulfato.
A pesar de ser el medio M_1 algo más rico que el M_2, ambos contiene igual concentración de tiosulfato, por lo que con el objetivo de detectar mediante ellos microorganismos sulfuro oxidantes, debe prestarse atención a la diferencia de pH entre ambos (M_1 neutro y M_2 ácido), ya que esta condición puede propiciar el crecimiento de diferentes microorganismos.

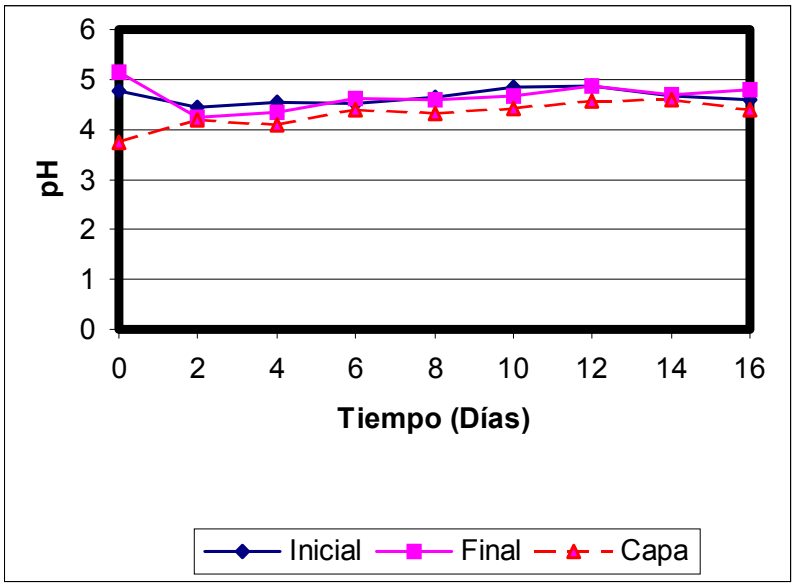
En el gráfico 3 correspondiente al medio M_2, para las muestras inicial y fase líquida, no se observan incrementos importantes del crecimiento microbiano en el tiempo, sin embargo en la fase capa, con una pendiente abrupta de la curva, se obtiene el máximo crecimiento a las 48 horas, a diferencia del M_1, donde un valor cercano al valor anterior, se obtiene al octavo día de incubación.

Graf. 3 Crecimiento de la microbiota en el medio M_2 de la muesta inicial y las fases líquida y capa



El comportamiento del pH de las 3 muestras en M_2 resultó similar entre si, manteniéndose los valores de pH entre 4 y 5, sin embargo, es preciso recordar que el pH inicial de este medio era 3.3, lo que representa que todas las muestras provocaron apróximadamente el mismo incremento (gráfico 4).

Graf. 4: Variaciones de pH en el medio M_2 durante el crecimiento de la microbiota de la muestra inicial y las fases líquida y capa.

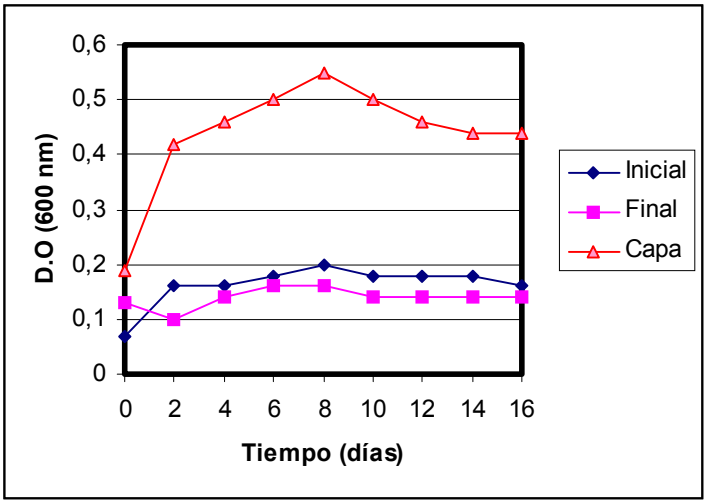


Del análisis de los gráficos 3 y 4 se puede inferir que en la fase capa, existe una microbiota capaz de oxidar el thiosulfato a pH ácido.

El medio 3 (M_3) se empleó con la finalidad de conocer la existencia de microorganismos capaces de utilizar los compuestos reducidos del azufre en presencia de nitrato como aceptor de electrones (condiciones anaerobias); aspecto este reportado en la literatura (Nemat y otros 2001; Janssen y otros 1997; Madigan y otros 1997).

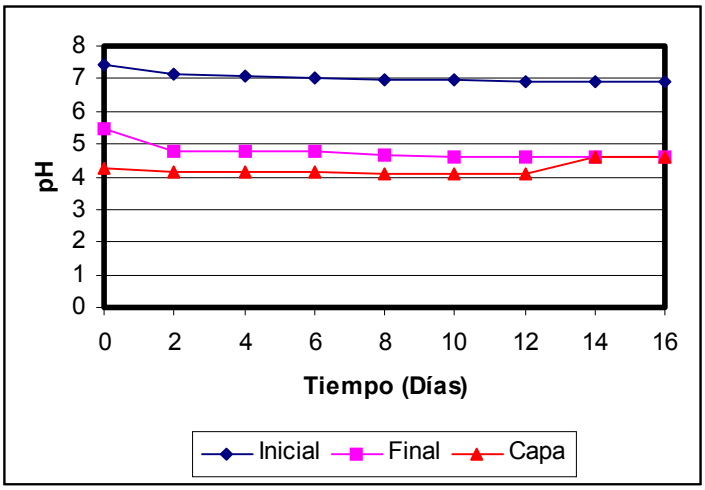
En el gráfico 5 la muestra inicial exhibe un comportamiento de poca variación del crecimiento en el tiempo y es en el octavo día que se obtiene el máximo crecimiento, que no excede al doble del valor inicial. En la fase líquida el máximo crecimiento aparece entre el día 6 y 8, valor por debajo del observado en la muestra inicial; aunque en ambas corresponde solo a pequeños aumentos. Sin embargo, en la fase capa, al octavo día corresponde el máximo crecimiento; comportamiento similar al reportado para M_1, aunque el valor máximo de crecimiento obtenido en M_3 no lo supera.

Graf. 5 Crecimiento de la microbiota en el medio M_3 de la muestra inicial y las fases líquida y capa



Al analizar el gráfico 6I se observa un comportamiento diferenciado de la muestra inicial sobre el pH del medio, atribuible posiblemente al crecimiento, aunque escaso, de los microorganismos presentes en esta muestra, manteniéndose de forma estable en pH neutro. Sin embargo las otras dos muestras mantuvieron valores alrededor del pH inicial del medio.
Del estudio en este medio es posible concluir, que existen en la capa microorganismos aerobios facultativos capaces de utilizar el tiosulfato bajo condiciones de anaerobiósis, en presencia de nitrato como aceptor de electrones. Estos microorganismos pudieran estar aportando valor numérico al conteo de bacterias aeróbias facultativas ya que se conoce que existen géneros como *Thioploca, Thermothrix, Thiomicrospira* y *Thiobacillus denitrificans,* los cuales son aerobios facultativos y bajo condiciones de anaerobiósis utilizan el nitrato (Madigan y otros 1997).

Graf 6 Variaciones de pH en el medio M_3 durante el crecimiento de la microbiota de la muestra inicial y las fases líquida y capa



CONCLUSIONES

Del estudio de las muestras analizadas, es posible concluir:

- La presencia de bacterias aerobias facultativas, las cuales se incrementan de la hora inicial de la experiencia, a las diferentes fases de la hora final. Lo que ocurre de igual modo con las levaduras, sin embargo, tanto las bacterias glucolíticas como los hongos decrecen de una muestra a la otra. No se reportan bacterias metanogénicas.
- El medio M1 favorece el crecimiento de los microorganismos de todas las muestras estudiadas, sin embargo, los medios M2 y M3, a pesar de tener condiciones diferentes, benefician principalmente el desarrollo de los que se ubican en la fase capa
- El medio M_1 resultó el más útil para detectar microorganismos que utilizan los compuestos reducidos del azufre bajo condiciones aerobias
- La fase capa agrupa la mayor diversidad de microorganismos que utilizan los compuestos reducidos del azufre presentes en el reactor, lo que se hace evidente con el crecimiento de estos a pH neutro, ácido y bajo condiciones de anaerobiósis en presencia de nitrato como aceptor de electrones a pH 4.5.
- Se comprobó la tendencia al aumento del pH en en todos los casos.

REFERENCIAS

- An, J.; Kim, B. 2000. J. Biotech. 8 (1): 35-44.
- Buisman, C.; Prins, W. 1994. "New process for biological (flue) gas desulfurization". Symposium Biological waste gas cleaning, Heiderber, FRG.
- Cesková, P.; Mand, M.; Hubacková, J. 2000. Biotechnol. Letters. 22: 699-701.
- Coto, O. 2002. Comunicación personal.

- Earthwatch United Nations Environment Program**.** 1992. “Chemical Pollution: A global Overview”. The International Register of Potentially Toxic Chemicals and the Global Environment Monitoring System‘s Monitoring and Assesment Research Centre. Geneva.
- Famá, G. 1995. “Caracterización ultraestructural del gránulo anaeróbico de diferentes reactores UASB industriales de México”. Informe de trabajo experimental. Univ. Autónoma Metropolitana. Depart. Biotecnol. México. 15p.
- Fernández, E. 1999. “Metodología de bajo costo para disminuir la concentración de sulfuro de hidrógeno en el biogás”. Tesis de Doctorado. Facultad de Ingeniería Química. ISPJAE. Cuba.
- Frenchen, F. 1994. Water Sci. Technol. 30 (4): 35-46.
- Gambil, D.; Burker, D. 1999. "Microbial enrichment as a plataform for modified individual projects in the microbiology". Southern Methodist University Texas. 13p.
- González, T. 2001. “Aspectos fisiológicos y moleculares de la decoloración enzimática de efluentes de destilería con el .Basidiomiceto *trametes sp.* 1-62”. Tesis doctoral. Departamento de Microbiología y Parasitología. Universidad de Alcalá.
- Guyot, J. 1992. “Introducción a la microbiología de los digestores anaerobios”. Bioprocesos anaerobios para el tratamiento de efluentes industriales ORSTOM-IMP-UAM-Iztalapa. Mexico. 17p.
- Hernández, C. 1995. “Segundo Forum Nacional de Energía”. Comisión Nacional de Energía. Informe MINAZ. 132 p.
- Janssen, A.; Lens, P.; Lettinga, G. 1997. Biotechnol. Bioeng. 53: 32-40.
- Knnes, C.; Thalasso, F**.** 1998. J. Chem. Technol. Biotechnol. 72: 303-319.
- Kurosawa, H.; Nakagomi, T.; Kanda, K.; Nakamura, K.; Amano, Y. 2000. “High Density Cultivation of Thiobacillus". http.//www.personal.psu.edu.users.micro.html.
- Madigan, M.; Ko, M.; Parker, K. 1997. " Prokaryotic Diversity. Bacteria". Microbiology of microorganisms. 8 th ed., Prentice Hall International Inc. : 637-720.
- Maestrojuan, G. 1988. “Inmovilización de bacterias metanogénicas en diferentes soportes”. Tesis de Doctorado. Instituto de la Grasa. Sevilla. España.
- Mc Inerney, M.; Bryant, M. 1981**. “**Basic principles of bioconversions in anaerobic digestion and methanogenesis”. Biomass conversion process for energy and fuels. (Ed). S. Sofer; O. Zabrosky. : 277-296.
- MINAZ-Proyección 2005-2010”. 2000. Informe interno MINAZ-ICIDCA. 213p.
- Nemat, M.; Jenneman, G.; Voordouw, G**.** 2001. Biotechnol. Bioeng. 75 (5): 424-434.
- Noyola, A. 1992. “Bioprocesos anaerobios para el tratamiento de efluentes industriales”. Reactores anaerobios de segunda y tercera generación. ORSTOM-IMP-UAM-Iztalapa. México. :15-30.
- Robertson, L.; Kuenen, S. 1991. "The Colorless Sulphur Bacteria". The Prokaryotes. Ed.2nd. Ballows, H.; M. Truper.(eds). Sringer-Verlag, New York. : 385-413.
- Sorokin, D.*;* Lysenko, A.; Mityushina, L. 1966. Microbiol. 65 (3): 326-338.
- Soto, P.; Ramiro, M. 1998. “Taller sobre el diagnóstico nacional de fuentes contaminantes de residuales peligrosos”. Congreso Internacional de Azúcar y Derivados de la Caña. La Habana. Cuba.
- Sublette, K.; Gwozdz, K. 1991. Appl. Biochem. Biotech. 28/29: 635-646.
- Touzel, S.; Albanac, M. 1988. "Microbiological Aspects of Anaerobic Digestion"**..** Maharashtra Association for the Cultivation of Science, Research Institute (ed). D. R. Ranade; Gadre, R. India. 122p.
- Valdés, E.; Obaya, Mc.; Rodríguez, F.; Santiesteban, C. 1993. “Obtención y aprovechamiento del biogás en la industria azucarera”. Informe Comisión Nacional de biogás. ICIDCA. 7p.
- Valdés, E.; Obaya, Mc.; Rodríguez, F.; Santiesteban, C.; Ramos, J. 2000. “Biogás de residuales”. Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. ICIDCA. Cuba. 3ra edición. (ed). Gálvez, O.T. :417-421.
- Valencia, R. 2002. “Reducción del sulfuro de hidrógeno en el biogás, empleando como fuente de microorganismos las aguas residuales de las fabricas de azúcar y de destilerías de alcohol”. Tesis de diploma. Facultad de Ingienería Química. ISPJAE. Cuba.

- Villa, P.; Pérez, H.; Vergara, L. 2001. “Caracterización microbiológica de mosto de destilería procedente de un reactor UASB. Detección de bacterias desulfuradoras”. Informe proyecto 1.08. ICIDCA. 10 p.
- Villa, P.; Valdés, E.; Obaya, Mc.; Ramos, J. 1993. “Caracterización y aislamiento de microorganismos presentes en lodos granulados”. ICIDCA. 10p.
- Watkins, J. 1997. “Controlling sulfur compounds in wastewater”. Chem. Eng. :123-130.

FRUCTOOLIGOSACCHARIDES (FOS) AS A HEALTHY ALTERNATIVE TO SUGAR DIVERSIFICATION IN CUBA

FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS (FOS): UNA ALTERNATIVA POSIBLE EN LA DIVERSIFICACIÓN AZUCARERA EN CUBA

Lázaro Hernández García

Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB). División de Plantas. Apartado 6162, Habana 10600, Cuba. lazaro.hernandez@cigb.edu.cu

Abstract

Fructooligosaccharides, commonly known as FOS, are oligosaccharides with fructose as the major monomeric residue. FOS are low-caloric and non-cariogenic sweeteners, but it is their status as prebiotics that rather counts for their increasing demand in the food and neutraceuticals markets. FOS ingestion selectively promotes the proliferation of colonic useful bacteria, bifidobacteria and lactobacilli, causing the competitive exclusion of pathogens and other associated benefits to human and animal health. Current systems for the industrial production of FOS are based on either the transfructosylation of sucrose in bioreactors using fungal enzymes or the enzymatic endohydrolysis of plant inulins. Both technologies are expensive, and consequently FOS price exceeds at least twenty times the current price of refined sugar.

Two approaches conducted to develop a Cuban technology for a cost-effective production of FOS are investigated at CIGB. The research, still in the first steps, envisages –the sucrose conversion to FOS in a bioreactor by immobilized fructosyltransferases (FTFs) produced in recombinant yeast and –the direct production of FOS in transgenic sugarcane plants.

key words: fructooligosaccharides, fructan, kestose, prebiotic, bifidobacteria

Resumen

Los fructooligosacáridos, conocidos también como FOS, son oligosacáridos con una composición mayoritaria de residuos de fructosa. Los FOS son edulcorantes hipocalóricos y no son cariogénicos, sin embargo es su carácter prebiótico lo que determina su creciente demanda en las industrias alimenticias y farmacéuticas. La ingestión de FOS estimula la proliferación selectiva de las bacterias intestinales deseables, bifidobacterias y lactobacilos, lo que provoca la disminución de patógenos y otros importantes beneficios en la salud del hombre y diferente animales monogástricos. En la actualidad existen en el mundo dos tecnologías de producción de FOS, la primera se basa en la transfructosilación de la sacarosa en biorreactores mediante enzimas de hongos y la segunda en una endo-hidrólisis enzimática de inulinas vegetales. Ambas tecnologías son caras lo que repercute en los altos precios de los FOS en el mercado internacional, 20 veces superiores al precio actual del azúcar refino.

En el CIGB se llevan a cabo dos líneas de investigación dirigidas al establecimiento de una tecnología para la producción masiva y rentable de FOS en Cuba. La investigación se enfoca en –la conversión de la sacarosa en FOS con el empleo de fructosiltransferasas inmovilizadas obtenidas en levaduras por la vía recombinante y en –la producción directa de FOS en plantas transgénicas de caña de azúcar.

palabras claves: fructooligosacáridos, fructano, kestosa, prebiótico, bifidobacteria

Introduction

Sucrose is worldwide used as a sweetener, but its high caloric value and caries-inducing effect have evoked a shift in consumer demand for healthier sweeteners, mainly in developed countries. The artificial non-sugars aspartame and saccharine are intensely sweet and low caloric but besides their undesirable cooling effect in mouth have raised public concerns about their safety. High-fructose corn syrup (HFCS) can be used to replace sucrose in soft drinks, canned fruits, jams and other food applications but they are inadequate to replace crystalline sucrose. Standard HFCS constitutes a mixture of glucose and fructose in roughly equal amounts. Fructose is 30% sweeter than sucrose, whereas glucose has only about 70% of the sweetness of sucrose, on a weight basis, so the syrup is as sweet as a sucrose solution of the same concentration but much less expensive to produce. Nowadays HFCS is extensively commercialized, but it is not advantageous over sucrose for health improvement. It is precisely in this direction that several sugar-processing companies in Asia, Europe and North America are actively marketing fructooligosaccharides, commonly known as FOS.

FOS are natural low-caloric sweeteners

FOS are fructans with a low degree of polymerisation (DP). By definition fructans are sugars with fructose as the major monomeric residue. Commercial FOS consist essentially of 1-kestose, nystose and fructosyl nystose, in which one to three fructosyl units are bound at the β-2,1 position of the fructose residue of sucrose, respectively. Another attractive FOS is neokestose, in which one fructosyl unit is attached at the glucose residue of the sucrose molecule. However, neokestose is not commercialised since the extraction process from natural sources such as onion and asparagus is low yielding and technically difficult.

FOS have physico-chemical properties (viscosity, taste, texture, solubility) nearly identical to sucrose, except its sweetening power is reduced. The trisaccharide 1-kestose has the highest sweetening strength that is only 31% of the sweetness of sucrose. However, FOS do not promote tooth-decay, have a much lower energy content than sucrose and do not influence the blood glucose and insulin levels (diabetes). An effective use of FOS in manufactured foods can be achieved by blending them with HFCS or high-intensity artificial sweeteners. In this sense, aspartame is very sweet but has no bulk, while FOS are less sweet and have plenty of body.

FOS are prebiotics

The commercial importance of FOS is mostly attributed to their prebiotic effects in humans and monogastric animals like pets, pigs, chicken, rabbits and horses. A prebiotic, by definition, is a non-digestible food ingredient that beneficially affects the host by selectively stimulating the growth and/or activity of one or a limited number of bacteria in the colon. Fructans, including FOS, are considered the classical prebiotics (Roberfroid and Delzenne, 1998). They are insensitive to digestive enzymes and are selective carbon substrates for Bifidobacteria and Lactobacilli. The proliferation of these useful bacteria by the colonic fermentation of FOS results in the competitive exclusion of intestinal pathogenic bacteria (*Escherichia coli*, *Clostridium* and *Salmonella*) and other important associated benefits to human and animal health. In the gut, Bifidobacteria convert fructans into short chain fatty acids and lactic acids allowing important associated benefits to human and animal health such as: prevention of colon cancer, reduction in serum cholesterol, increase in HLD/LDL ratio, decrease in blood pressure, increase in calcium and magnesium absorption, and production of B-vitamins.

Because prebiotics, in the form of FOS, help in the implantation of probiotics, many companies now include them in their probiotic formulas.

Fructan synthesis in microorganisms and plants

In microorganisms and plants fructans are produced from sucrose; in bacteria and fungi through the action of a single enzyme, in plants by two or more enzymes. Each enzyme is encoded by a single gene. Fructosyltransferases (FTFs) from bacteria convert sucrose to fructans with a high DP (>100 fructose residues). These polyfructans have a predominant occurrence of either β-2,1 or β-2,6 linkages and then are called inulin or levan, respectively. Exceptionally some bacterial FTFs also yield FOS. For example, levansucrase (LsdA) from the endophytic bacterium *Gluconacetobacter diazotrophicus* converts sucrose

to 1-kestose, nystose and levan (Hernández et al., 1995; Támbara et al., 1999). Most fungal FTFs convert sucrose to β-2,1 linked FOS with a DP between 3 and 5. Microbial FTFs are either secreted to the extracellular medium or remain attached to the cell wall.

Fructans accumulate naturally in about 15% of flowering plant species, including a number of traditional crop species such as wheat, onion, chicory, and Jerusalem artichoke, where they function primarily as a storage carbohydrate. In these plants, fructan synthesis occurs in the vacuole and starts with the enzyme sucrose:sucrose 1-fructosyltransferase (1-SST). This enzyme transfers the fructosyl residue from sucrose (GF) to another sucrose molecule, resulting in the formation of the trisaccharide 1-kestose and, at a lower rate, the tetrasaccharide nystose. To make fructans with a higher DP a second enzyme is needed. In chicory or Jerusalem artichoke, this enzyme is called fructan:fructan 1-fructosyltransferase (1-FFT) and produces inulin. In other fructan-producing plants fructan synthesis is organized in a slightly different way. In onion, the combination of the 1-SST and another type of FFT, fructan:fructan 6G-fructosyltransferase (6G-FFT), leads to the formation of the trisaccharide neokestose (F2-6G1-2F) In barley and other grasses, the participation of sucrose:fructan 6-fructosyltransferase (6-SFT) allows the synthesis of polyfructans with β-2,1 and β-2,6 linkages (Vijn and Smeekens, 1999).

In conclusion, in plants the combined action of FTFs results in a mix of fructans of different lengths, and additional enzymes cause branching or hydrolyze the chains to varying degrees. This mix of fructan end products causes problems for commercial manufacturers because a fairly homogeneous product is desirable. Consequently, additional processing is often necessary with fructans obtained from endogenous sources, driving up the cost of production.

Perspective FOS production from sucrose in bioreactors using recombinant FTFs produced in *Pichia pastoris*

Current industrial conversion of sucrose to FOS is performed in reactors using immobilized enzymes or intact cells from different fungal species. The process is expensive and produces a mixture a FOS that eventually requires purification. The availability of more appropriate FTFs produced at lower costs in a recombinant host may alleviate these constraints. *Pichia pastoris* constitutes an efficient protein production-secretion system that lacks endogenous sucrolytic activity and thus it is especially suitable for recombinant production of FTFs. The *G. diazotrophicus* levansucrase (LsdA) expressed in *P. pastoris*, although glycosylated displayed catalytic properties similar to those of the native enzyme, including high yields of FOS (Trujillo et al., 2001). Other promising candidates for commercial FOS production are plant 1-SSTs. These enzymes are naturally designed for sucrose conversion to 1-kestose, but can hardly be recovered from natural sources. Several plant FTFs produced in *P. pastoris* have turned out to be functional enzymes (Hochstrasser et al., 1998; Lüscher et al., 2000).

Perspective FOS production in transgenic sugarcane compared to current production technologies

FOS production from sucrose in bioreactors is expensive and has an unavoidable 50% loss of the substrate as glucose. The accumulated glucose inhibits the enzyme activity and is a major contaminant in the purification step. The enzymatic removal of the by-product glucose, by adding glucose oxidase or glucose isomerase, is prohibitively expensive. Fractionation of the chicory inulin into FOS fractions by using endofructanases is the second current alternative for FOS production but it is even more expensive and less commercially attractive.

FOS production in transgenic sugarcane is a straightforward process that would occur directly in the field, is potentially high-yielding, and thus should allow a substantial reduction of the current costs of FOS production.

In transgenic sugar beet expressing the 1-SST from Jerusalem artichoke 40% of the taproot dry weight was converted to short chain fructans without discernible impact on plant growth or phenotype (Sevenier et al., 1998).

References

- Hernández, L., Arrieta, J., Menéndez, C., Vazquez, R., Coego, A., Suárez, V., Selman, G., Petit-Glatron, M.F., Chambert, R. (1995) *Biochem J* 309, 113-118.
- Hochstrasser, U., Lüscher, M., De Virgilio, C., Boller T., Wiemken, A. (1998) *FEBS Lett* 440, 356-360.
- Lüscher, M., Hochstrasser, U., Vogel, G., Aeschbacher, R., Galati, V., Nelson, C.J., Boller, T., Wiemken, A. (2000) *Plant Physiol* 124,1217-1227.
- Roberfroid, M.B., Delzenne, N.M. (1998) *Annu Rev Nutr* 18, 117-143.
- Sevenier, R., Hall, R.D., van der Meer, I.M., Hakkert, H.J.C., van Tunen, A.J., Koops, A.J. (1998) *Nature Biotechnol* 16, 843-846.
- Támbara, Y., Hormaza J.V., Pérez, C., León, A., Arrieta, J., Hernández L. (1999) *Biotechnol Let*t 21, 117-121.
- Trujillo, L.E., Arrieta, J.G., Dafhnis, F., García, J., Valdés, J., Támbara, Y., Pérez, M., Hernández, L. (2001) *Enz Microb Technol* 28, 139-144.
- Vijn, I., Smeekens, S. (1999) *Plant Physiol* 120, 351-360.

UTILIZACIÓN DE UN PREPARADO PROBIÓTICO A PARTIR DE LACTOBACILLUS RHAMNOSUS DENOMINADO PROBICID EN LA ALIMENTACIÓN DE LAS AVES.

USE OF A PROBIOTIC FROM LACTOBACILLUS RHAMNOSUS DENOMINED PROBICID IN THE BIRDS FEEDING

Dulce M. Camps,[1] José A. Bravo,[1] Maria Antonieta Brizuela[2] y Paulina Serrano[2].

[1]Instituto de Investigaciones Avícolas
Ave 7 de Diciembre Rotonda del Cacahual. Boyeros. La Habana. Cuba
E-mail: viiacan@ ceniai.inf.cu
[2] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
Vía Blanca # 804 y Carretera Central, La Habana. Cuba
E-mail: icidca@ceniai.inf.cu

RESUMEN. Se realizaron dos experimentos, uno con 39 gallinas White Leghorn de 27 semanas de edad, distribuidas en 3 tratamientos con 13 réplicas, para probar la eficiencia de una dieta control (T1) y dos dietas que incluían 2% de *Lactobacillus rhamnosus* vivos (T2), y 4% de *Lactobacillus rhamnosus* muertos (T3). Se halló diferencia en la conversión y en la cantidad de huevos producidos a $p<0.05$ a favor del tratamiento que incluyó *Lactobacillus* vivos, con valores de conversión de 1.35 vs 1.40 para T1 vs T2, T3 respectivamente. La producción de huevo fue de 222 (T2) vs 215 (T1 y T3). El empleo de *Lactobacillus rhamnosus* vivos disminuyó significativamente la conversión alimentaria en 4 % e incrementó en 7 el número de huevos por ave. En el segundo experimento se probaron diferentes dosis de *Lactobacillus rhamnosus* vivos en 2240 pollos, de un día de edad, distribuidos en siete tratamientos con cuatro réplicas. El consumo acumulado (3.89 kg) y el peso vivo (1.89 kg) no difirió estadísticamente entre tratamientos. Se halló diferencias ($p< 0.05$) para la conversión al incluir el *Lactobacillus* en las dietas al 20 % en inicio, al 5 % en crecimiento y al 5% (T5) o no (T7) en acabado. La viabilidad fue diferente a favor de los tratamientos que incluyeron *Lactobacillus* en las dietas de inicio. Se logró mejorar la conversión del pollo de engorde en 6% y la viabilidad en 3% al utilizar el *Lactobacillus* a dosis de 20% en dietas de inicio y 5% en dietas de crecimiento.

Palabras claves: probiótico; *Lactobacillus rhamnosus*; alimentación de aves; gallinas ponedoras; pollos de engorde

ABSTRAC: Two trial were carried out, one with 39 laying hens, 27 weeks old each, were distributed in tree treatments with thirteen replicates in order to prove the efficiency of a control diet and two diet that included 2 % of live *Lactobacillus rhamnosus* (T2) and 4 % dead *Lactobacillus rhamnosus* (T3). Significant differences were found in the conversion and the production of eggs in favour of the treatments with live *Lactobacillus* with conversion of 1.35 vs. 1.40 for T1 vs. T2, T3 respectively. The eggs production was 222 (T2) vs. 215 (T1 y T3). The use of live *Lactobacillus rhamnosus* decrease significantly the food conversion in 4 % and increase the production in seven eggs for bird. In the second experiment was evaluate different concentrations of live *Lactobacillus rhamnosus* in 2240 broilers chickens day old that were distributed in seven treatments with four replicates. The feed intake (3.89 kg) and the live weights (1.89 kg) were not statistically different among treatments. The conversion was found different ($p< 0.05$) when the *Lactobacillus* was included in the diet at 20% in starting, 5% in growing and 5% (T5) or not (T7) in finishing. The viability was different in favour of the treatments that included *Lactobacillus* in the starting diet. The results obtained show that the conversion was better in

6% and the viability in 3% when the *Lactobacillus* was included in the diet at 20% in starting and 5% in growing.

Key Words: probiotics; *Lactobacillus rhamnosus*; birds feeding; laying hens; broilers chickens

INTRODUCCIÓN

Se denomina prebiótico a un ingrediente del alimento que estimula el crecimiento y la actividad de bífido bacterias y *Lactobacillus* en el tracto gastrointestinal lo cual propicia una mejor absorción de nutrientes y por tanto una mejor salud (Cummings y Macfarlane, 2002).

El término Probiótico se define como cultivos o mezclas de cultivos de microorganismos, los cuales tienen un efecto beneficioso sobre el tracto digestivo, ya que mejora su microflora natural (Ghadban, 2002).

Reuter,(2001) incluye en la definición de probióticos a cultivos de bacterias muertas y los metabolitos de las bacterias.

Tanto los prebióticos como los probióticos pretenden reducir o eliminar los microorganismos patógenos presentes en el tracto digestivo y de esa forma mejora la absorción de los nutrientes lo que permitirá elevar la resistencia inmunológica y lograr mayores rendimientos productivos.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar un preparado probiótico, elaborado a partir de una fermentación en estado sólido de *Lactobacillus rhamnosus LB/103-1-5* denominado PROBICID que ha sido logrado por el Instituto Cubano de los Derivados de la Caña de Azúcar (Brizuela y col. 2003), mediante su inclusión en el pienso para gallinas ponedoras y pollos de engorde.

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento en gallinas ponedoras.

Se utilizaron 39 gallinas White Leghorn de 27 semanas de edad, distribuidas aleatoriamente en 3 tratamientos con 13 réplicas de un ave cada una, ubicadas en jaulas individuales de 40 por 40 cms. Los tratamientos consistieron en probar la eficiencia en el comportamiento productivo al implantar *Lactobacillus* vivos o muertos en el tracto digestivo de las gallinas.

Los tratamientos fueron:

TI – Dieta control.
T2 – Dieta con *Lactobacillus* vivos a razón de 2.2 g/ave/día.
T3 – Dieta con *Lactobacillus* muertos a razón de 4.4 g/ave/día.

El agua y le alimento se suministraron a voluntad. Las composiciones de la dietas se muestran en la Tabla I. En la crianza se aplicó un sistema de iluminación de 16 horas de luz.

Diariamente se controló la mortalidad y la producción de huevos y semanalmente el consumo de alimento.

A las 66 semanas de edad se realizó un análisis de la calidad de los huevos que incluyó el peso individual de la postura así como la resistencia y el grosor de sus respectivas cáscaras a todos los huevos puestos durante 3 días consecutivos, mediante el empleo de equipos F.K.S. y una balanza de precisión de 0.01g.

Tabla I. Composición de las dietas utilizada durante el Experimento con gallinas ponedoras.(% BH)

Ingredientes	**Fase I**	**Fase II**
Maíz H.	54.2430	58.7648
Soya H.	28.9520	27.5616
Carbonato de Calcio	8.7090	9.4151
Aceite Vegetal	2.6270	2.0598
Fosfato dicálcico	2.6030	1.3307
Sal Común	0.3000	0.3000
DL-Metionina	0.1930	0.1949
Núcleo Vitamínico	0.1500	0.1500
Núcleo Mineral	0.1500	0.1500
Cloruro de Colina	0.0730	0.0730
Análisis Calculado %		
Proteína bruta. (%N x 6.25)	17.000	16.000
Energía Met. (Kcal / Kg)	2.780	2.750
Fibra bruta	3.316	2.000
Grasa bruta	5.298	2.000
Calcio	3.800	4.000
Fósforo asimilable	0.400	0.350
Met + Cis	0.730	0.700
Lisina	0.456	0.780
Treonina	0.650	0.550
Triptófano	0.205	0.180

Se le realizó análisis estadístico a los valores obtenidos para cada uno de los indicadores según modelo de clasificación simple. Los valores porcentuales se procesaron por prueba de proporciones con transformación de $sen^{-1} \sqrt{p}$. En los casos necesarios se aplicó el test de Rango Múltiple de Duncan (1955) para el contraste entre medias.

Experimento en pollos de ceba.

Un total de 2240 pollos sexados, de un día de edad, fueron distribuidos según diseño completamente aleatorizado en siete tratamientos con cuatro réplicas cada uno. Los tratamientos consistieron en probar diferentes dosis del *Lactobacillus rhamnosus* según el siguiente esquema:

Tratamiento	Dietas		
	Inicio	Crecimiento	Acabado
T 1	Control	Control	Control
T 2	Control	5	5
T 3	10	5	2
T 4	10	5	Control
T 5	20	5	5
T 6	20	5	2
T 7	20	5	Control

La inclusión de PROBICID en el pienso a niveles de 20, 10 y 2 % garantizaron 1.1, 0.55 y 0.5 g de *Lactobacillus* diario por ave respectivamente.La crianza se realizó en piso con cama de paja de arroz a una densidad de 12 aves por metro cuadrado.

El agua y el pienso se suministraron a voluntad. Se aplicó un programa de alimentación trifásico en el cual se utilizó de 1 a 18 días una dieta con 22 % de proteína y 3100 Kcal/kg; de 19 a 30 días otra dieta con 20 % de proteína y 3100 Kcal/kg y por último, una dieta con 18 % de proteína y 3200 Kcal/kg de pienso de 31 a 42 días.

Las aves recibieron un régimen de iluminación de 24 horas luz. Se llevaron controles diarios de mortalidad, semanales de consumo y a los 42 días se registró el peso vivo individual de todas las aves.

Los resultados fueron procesados por un análisis de varianza de clasificación simple y en los casos necesarios se contrastaron las medias por el test de rango múltiple y se halló la mínima diferencia significativa por Fisher.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del experimento en gallinas ponedoras.

En la Tabla II. se muestran los resultados de los principales indicadores productivos acumulados obtenidos para las diferentes variantes experimentales, durante las 40 semanas.

Tabla II Valores medios de los indicadores productivos acumulados durante las 40 semanas del experimento con gallinas ponedoras. (27 a 66 semanas de edad).

INDICADORES	TRATAMIENTOS			
	CONTROL	VIVOS	MUERTOS	ES/SIG
Consumo acum. , Kg.	30.12	30.03	29.99	± 0.09
Huevos / ave	215.21 a	222.0 b	214.52 a	± 6.49 *
% Huevos rotos	1.50	1.60	1.30	± 0.07
Conversión	1.40 a	1.35 b	1.40 a	± 0.03 *
% Viabilidad	100	100	100	
Peso del huevo, g	58.8	61.6	62.3	± 0.510
Grosor de la cáscara, mm	0.41	0.38	0.37	± 0.003
Resistencia de la cáscara, Kg / cm^2	4.06	4.05	3.80	± 0.210

El consumo acumulado no mostró estadísticamente diferencias entre los tratamientos y los valores medios oscilaron entre 109 y 110 gramos por ave por día. Tampoco se halló diferencias significativas para el indicador de la viabilidad, ya que no hubo mortalidad en las aves de los diferentes tratamientos.

Se aprecian diferencias significativas ($p< 0.05$) en la producción de huevos por aves que resultó ser de 7 huevos más en las aves que consumieron el *Lactobacillus* vivos (T2) que en el aquellas que consumieron los *Lactobacillus* muertos (T3) y las del control. Mejoras en la producción de huevo fue informado en los trabajos de Camps (1999), Serrano (2001) y Sánchez (2002) al emplear *Lactobacillus* en las dietas para ponedoras.

En el caso de la conversión, dada por la cantidad de alimento ingerido para producir una decena de huevos, mostró diferencias significativas a favor del tratamiento con *Lactobacillus* vivos con valores medios de 1.35, mientras que el resto de los tratamientos alcanzaron valores de 1.40.

El porciento de huevos rotos , así como los indicadores relacionados con su calidad, promediaron valores aceptables para esta categoría de aves y no presentaron diferencias estadísticas. El porciento de huevos rotos osciló entre 1.30 y 1.60, por su parte el peso del huevo varió entre 58.8 y 62.3 gramos, mientras que la resistencia y el grosor de la cáscara estuvieron entre 3.80 y 4.06 Kg/cm^2 y entre 0.37 y 0.41mm respectivamente.

La Figura 1. muestra el porcentaje de postura semanal para cada tratamiento. Como puede apreciarse el tratamiento 2, que corresponde a la dieta que incluye *Lactobacillus* vivos, fue el que mejores resultados mostró. Los descenso en los niveles de puesta en la semana 24 estuvieron relacionados con una muda que tuvieron las aves.

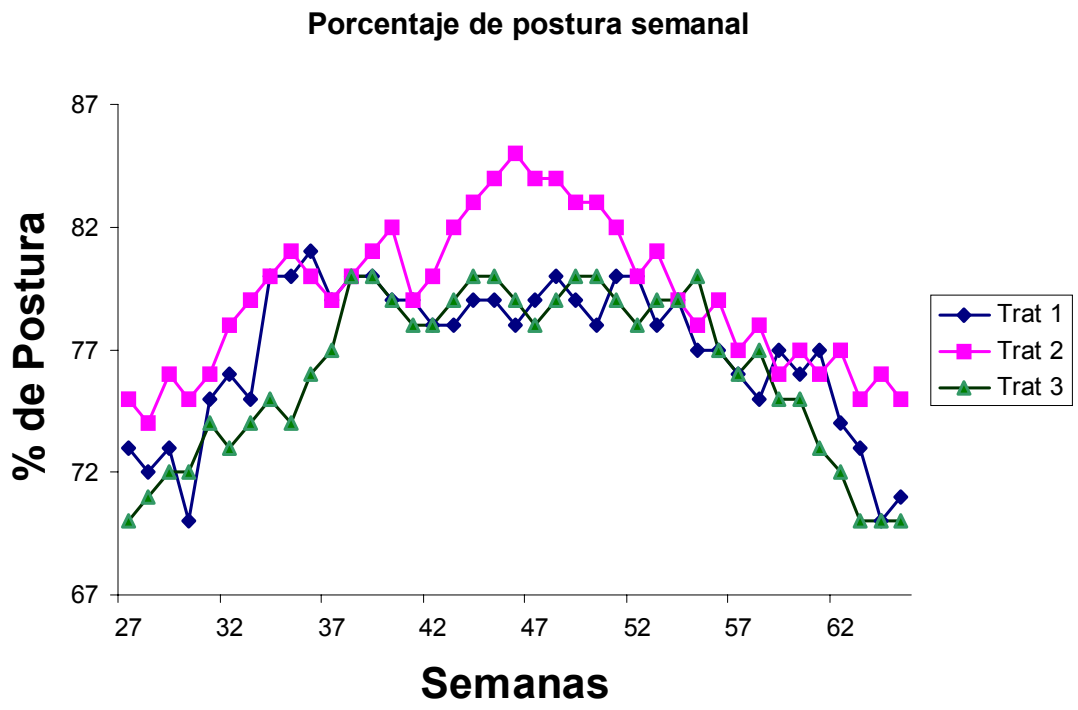


Figura 1. Porcentaje de postura semanal para los tres tratamientos ensayados en el experimento con gallinas ponedoras.

Resultados del experimento en pollos de ceba.

En la Tabla III. se muestran los valores medios de los parámetros estudiados a los 42 días.

No se halló diferencias significativas para el consumo acumulado entre los tratamientos, los cuales mostraron valores mínimos de 3.84 Kg. y máximos de 3.95 Kg.. En cuanto el peso vivo, los valores no fueron estadísticamente distintos entre los diferentes grupos estudiados, oscilando la media de peso entre 1.85 Kg. y 1.93 Kg.

La cantidad de alimento por Kg. de peso vivo producido (conversión alimenticia) fue de 1.98 y 2.02 en los mejores valores y de 2.06 y 2.05 en los peores resultados. La mejor conversión se halló en los tratamientos donde se incluyó el PROBICID al 20 % en el inicio, al 5 % en la dieta de crecimiento y al

tratamiento donde se incluyó el PROBICID al 20 % en el inicio, al 5 % en la dieta de crecimiento y al incluir 5% (T5) o no (T7) en la dieta de acabado. Éste último difirió a p< 0.05 del resto de los tratamientos y no así del T5, que a diferencia del anterior no difirió de los tratamientos que consumieron *Lactobacillus* al inicio pero si fue diferente de aquellos que no lo consumieron al inicio de la crianza.

Tabla III. Valores medios de los parámetros estudiados a los 42 días en el experimento con pollos de ceba.

Tratamientos	Consumo acumulado Kg.	Peso vivo Kg.	Conversión	% Viabilidad
1	3.902	1.85	2.11 c	90.0 b
2	3.931	1.85	2.13 c	89.37 b
3	3.940	1.92	2.05 b	93.75 a
4	3.945	1.92	2.05 b	92.18 a
5	3.851	1.90	2.02 ab	93.12 a
6	3.838	1.86	2.06 b	93.12 a
7	3.850	1.93	1.98 a	93.12 a
ES/sig	± 0.092	±0.074	± 0.016 *	± 0.60 *

También mostraron diferencias significativas los valores medios de los porcientos de viabilidad. Todos los tratamientos que incluyeron 20 % de PROBICID en la dieta de inicio (T5,T6,T7) y el tratamiento que incluyó 10% de Probicid al inicio, 5 y 2 % en crecimiento y acabado respectivamente fueron diferentes a p< 0.05 del resto de los tratamientos y no difirieron entre sí.

De los resultados se infiere que al utilizar PROBICID en la dieta se mejoró la conversión y la viabilidad del pollo de engorde siempre que se mantuvo la inclusión del mismo desde el inicio de la crianza, lo cual coincide con lo informado por Sharma y Katoch (1996) y Guillot (2001), quienes hallaron mejores comportamientos en el pollo de engorde al incluir probióticos en las dietas.

CONCLUSIONES

El empleo de *Lactobacillus rhamnosus* vivos a razón de 2.2 g /ave /día en gallinas White Leghorn disminuyó significativamente la conversión alimentaria en 4 % e incrementó en 7 el número de huevos por ave.

Al utilizar el *Lactobacillus rhamnosus* a dosis de 20% en dietas de inicio y 5% en dietas de crecimiento se logró mejorar la conversión del pollo de engorde en 6% y la viabilidad en un 3%..

Los resultados en pollos de engorde nos hace pensar que el probiótico puede comportarse favorablemente en aves jóvenes como el reemplazo de ponedora, que aunque no tiene un ritmo acelerado de crecimiento si necesita una absorción de nutriente que le permita ganar los pesos establecidos en cada semana de vida para llegar a la etapa adulta con una buena formación ósea y muscular.

BIBLIOGRAFIA

Badin, E., Boisniere B. Mogenet L. (1997): Florylex- Corporate communication standards. A 6.9.
Berg, R.D. (1998): Probiotics, prebiotics or “conbiotics”. **Trends Microbiol:6,** 89-92.
Brizuela, M. A. (2003): Selección de cepas de bacterias ácido lácticas para la obtención de un preparado con propiedades probióticas y su evaluación en cerdos. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias.

Camps, D.M, Brizuela M.A., Serrano P. (1999).): Diferentes concentraciones y tiempo de aplicación de un probiótico preparado a partir de *Lactobacillus acidophilus* en ponedoras comerciales. **Revista Cubana de Ciencias Avícolas. 23,**153-156.

Cavazzoni, V., Adami A.,. Castrovilli C.(1998): Performance of boiler chickens supplemented with *Bacillus coagulans* as probiotic. **British Poultry Science. 39** (4), 526-529.

Cummings, J. H., Macfarlane, G. T. 2002. Gastrointestinal effects of prebiotics**. British Journal of Nutrition. 87** Suppl 2, 145- 151.

Duncan, D. B. (1955): **Biometric. 11**, 1-42.

Ghadban, G. S. 2002. Probiotics in broiler production – a review, **Archiv fur Geflugel Kunde 66**, 49-58.

Reuter, G. 2001. Probiotics – possibilities and limitations of their application in food, Animal feed, and in pharmaceutical preparations for men and animals. **Berliner und Munchener tierarztliche Wochenschrift 114,** 410-419.

Sharma, E.S., Katoch, B. S. (1996). Field evaluation of combinations of selected useful microbes as growth promoters in broilers. **Abstracts. XX World's Poultry Congress**. New Delhi, India. Vol IV.

Sánchez, A. I. (2002): Empleo de sustancias con actividad probiótica en gallinaceas. **XVII Congreso Centroamericano y del Caribe de Avicultura**.

Schneit, C., Kiiskinen T., Toivonen V., Nasi, M. (1998): Effect of BROILACT on the Physicochemical Condition and Nutrient Digestibility in the Gastrointestinal tract of Broilers. **Poultry Science. 77**(3), 426-432.

Serrano, P. A., Brizuela M. A. , Camps D. M. (2001): Validación del probiótico PROBLAC en aves. **Revista Cubana de Ciencia Avícola. 25**(1), 17-21.

EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE NIVELES CRECIENTES DEL GRANO MOLIDO DE CANAVALIA SOBRE LA FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO DE LA CAÑA DE AZÚCAR.

EFFECT OF THE INCLUSION OF INCREASING LEVELS OF THE GROND GRAIN OF CANAVALIA ON THE SOLID STATE FERMENTATION OF SUGARCANE.

Aguilera, L.*; Elías, A.; Rodríguez, Y.***

*** UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba-9**, Aptdo. 8, C.P. 33500, Quivicán, La Habana, Cuba, **e-mail direcc9@enet.cu.**
**** Instituto de Ciencia Animal**. Carretera Central km 47½, San José de las Lajas, La Habana, Cuba**.** **e-mail: ica@ceniai.inf.cu**

RESUMEN

Se trabajó en la obtención de un nuevo tipo de Saccharina con la inclusión de diferentes niveles de canavalia para incrementar los valores de proteína bruta y proteína verdadera en este alimento. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 4 tratamientos y tres repeticiones, con niveles de inclusión de harina de canavalia de 0, 25, 50 y 75 %, respectivamente. Todos los tratamientos recibieron 1g de urea, 0.2 de sulfato de magnesio, 0.5 g de minerales y 10 % de Vitafert como inóculo. En el experimento se utilizó caña de azúcar limpia, sin hojas, pajas ni cogollo y molida después de 24 horas de cortada. Los ingredientes se mezclaron y se depositaron en frascos Roux y se incubaron a temperatura ambiente durante 24 horas. En el producto final hubo un incremento de la Materia Seca ($P<0.001$) que alcanzó un 59 % en el último tratamiento con respecto al primero de solo 33 %. La proteína bruta se incrementó hasta 11 unidades porcentuales (22 % para 75 % de harina de canavalia con respecto al control 11.30 %) ($P<0.001$). La proteína verdadera en los tratamientos con inclusión de canavalia superó el 50 % del nitrógeno y se obtuvo un valor de 15 para un 22 % de proteína bruta con la mayor inclusión de canavalia. Igualmente la Fibra Neutra Detergente, Fibra Ácida Detergente y la lignina disminuyeron ($P<0.001$) con el consiguiente incremento de la Digestibilidad de la Materia Orgánica ($P<0.001$) que fue significativamente superior en los de mayor porciento de canavalia.

Palabras Claves: Saccharina, Canavalia, Fermentación en Estado Sólido.

ABSTRACT

It was worked in the obtaining of a new type of Saccharina including different canavalia levels to increase the values of crude protein and true protein in this food. It was used a totally randomized design with four treatments and three repetitions, with levels of inclusion of flour of canavalia of 0, 25, 50 and 75%, respectively. All the treatments received 1g of urea, 0.2 of sulfate of magnesium, 0.5 g of minerals and 10% of Vitafert inoculum. In the experiment clean sugarcane was used, without leaves, straws or tops and ground 24 hours after cutting. The ingredients were mixed and deposited in Roux flasks and incubated at room temperature for 24 hours. In the final product there was a Dry Matter increase ($P <0.001$) that reached 59% in the last treatment regarding to the first of 33%. The crude protein was increased up to 11 percentual units (22% for 75% of canavalia flour regarding to the control 11.30%) ($P <0.001$). The true protein in the treatments with canavalia inclusion overcame 50% of the nitrogen and a value of 15 was obtained for 22% of crude protein with the biggest canavalia inclusion. At the same time the Neutral Detergent Fiber, Acid Detergent Fiber and the lignine decreased ($P <0.001$) with the rising increment of the Organic Matter Digestibility ($P <0.001$) that was significantly higher in those of the most canavalia percent.

Key words: Saccharina, Canavalia, Solid State Fermentation.

Introducción

Una de las situaciones más apremiantes de los países del Tercer Mundo en nuestros días es la escasez de fuentes proteicas disponibles para la producción animal.

Las fermentaciones en estado sólido han sido utilizadas ampliamente para el reciclaje de materiales voluminosos a través de tecnologías sencillas con las que se logra incrementar los niveles proteicos, mejorar el balance de aminoácidos y la digestibilidad de las materias primas empleadas (Durand y otros 1987, Mathot y Brakel 1990, Mathot y otros 1992 y Pedraza y otros 1995).

La caña de azúcar es un alimento con bajo nivel proteico sin embargo, si se fermenta en estado sólido con urea y sales minerales es posible aumentar el crecimiento microbiano, específicamente las levaduras, y obtener una caña enriquecida en proteína: la saccharina. Elías y otros (1990), que secada y molida constituye un alimento apropiado para la nutrición animal.

Sin embargo, los niveles de inclusión de saccharina en la dieta están limitados por los altos tenores de fibra que posee y por los valores de proteína verdadera que son insuficientes para los requerimientos de los animales(Elías y otros 1994, Lezcano y otros 1994), esto ha propiciado una búsqueda de soluciones y una vía es a través de la inclusión de cereales, viandas, frutos ricos en almidón, fuentes proteicas, follajes y otros sustratos (Elías y Lezcano 1994).

La Canavalia ensiformis es una leguminosa que se destaca por su contenido de nutrimentos, su adaptación a un amplio rango de condiciones climáticas y agronómicas, con capacidad para producir en suelos con bajos contenidos de nutrientes y en regiones con precipitación tan baja como 700 mm/año (Viera y Ramis 1994). Es una planta de alta producción de follaje y granos (alrededor de 7 t MS/ha y 3 t/ha respectivamente), alto contenido de proteína bruta en los granos (más de 30 %) y en las hojas (más de 18%) (Bressani et al 1987; Vargas y Michelangeli 1994 y Díaz et al 1997).

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la inclusión de una fuente proteica de origen vegetal: la canavalia en la fermentación de la caña de azúcar y en la calidad del producto final.

Materiales y Métodos

Tratamiento y diseño: Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 4 tratamientos y tres réplicas por tratamiento a escala de laboratorio. Se analizó el efecto de los niveles de sustitución de la caña por canavalia con inclusiones de (0, 25, 50,75%). Tabla 1.

Tabla I. Tratamientos

Tratamientos	Caña (%)	Canavalia (%)	Agua
1	100	0	0
2	75	25	5
3	50	50	20
4	25	75	35

Procedimiento: Para la fermentación en estado sólido se cosecharon las legumbres del grano de canavalia, se desgranaron a mano, se secaron al sol y se molió bien la canavalia. Se utilizó caña de azúcar limpia, sin hojas, ni pajas, ni cogollo y molida en molino Bolgar estacionario después de 24 horas de cortada según tecnología propuesta por Elías y otros (1990). Se pesaron 100g de las materias primas y se mezclaron con 1% de urea, 0.2% de sulfato de magnesio, 0.5% de minerales y 10% de vitafert como inóculo. Se utilizo frascos Roux como cámara de fermentación y se incubo a temperatura ambiente (26ºc) durante 24 horas.

Muestreo y análisis: Se pesaron 10g de muestra y se añadieron 90ml de agua destilada estéril. Se agito durante 30 minutos en zaranda y se filtro a través de gasa.

Al filtrado se le determinaron indicadores fermentativos como: pH y ácidos grasos volátiles (AGV) según Cottyn y Boucqué (1968).

Al resto del producto fermentado se le determino materia seca (MS) y proteína bruta (PB) según la AOAC (1995), la proteína verdadera (PV) según el método de Berstein (1970) citado por Meir (1986). La materia orgánica y digestibilidad de la materia orgánica por KOH por Kesting (1977), la fibra ácida detergente (FAD), la fibra neutra detergente (FND), Celulosa y Lignina por Van Soest y Wine (1967), la hemicelulosa se calcula por diferencia (FND- FAD) y la ceniza, fósforo y calcio por AOAC (1995a).

Los datos obtenidos se procesaron por el paquete estadístico SPSS versión 5.0, se realizaron análisis de correlación y se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos por la prueba de rangos múltiples de Duncan (1955).

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en este trabajo se muestran en las tablas II y III. En la tabla II que muestra los indicadores de la fermentación se nota que aumenta la materia seca (MS) y esta relacionado con la inclusión creciente de la harina de canavalia la cual tiene una materia seca(86-91%) FAO (2003) superior a la del sustrato a sustituir.

El pH aumenta y esto puede ser debido a la presencia de la ureasa presente en el grano molido de canavalia que aumenta los niveles de amoníaco. FAO (1990). Los ácidos grasos volátiles totales (AGVt) tienen poca variación.

Tabla II. Indicadores de fermentación.

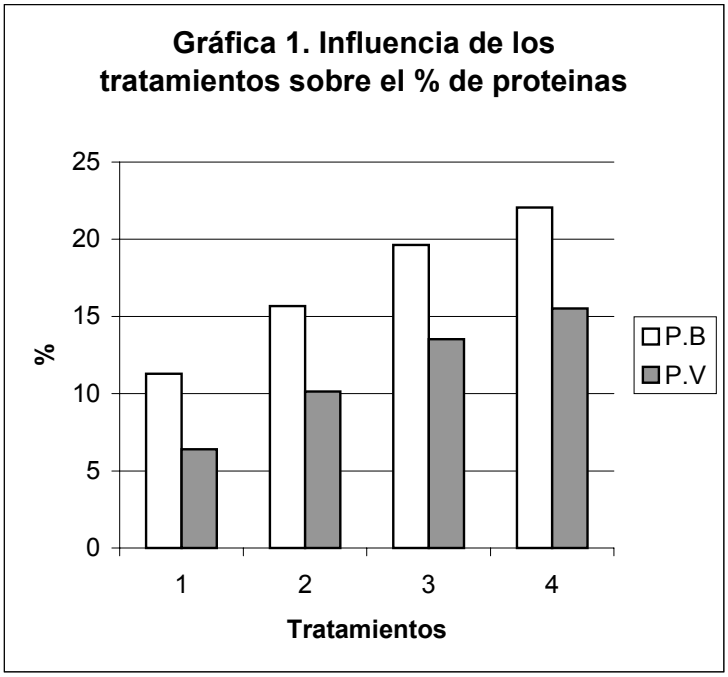
Indicadores	1	2	3	4	ES(±)	Signf.
MS	33.16a	45.55b	52.41c	59.96d	1.0065	P<0.001
PH	4.3a	8.43b	8.45b	8.41b	0.0493	P<0.001
AGVt	8.17ab	8.98b	6.17a	9.96b	0.6340	P<0.05
ACH	5.11	5.1	3.47	5.66	0.5532	N.S
PRH	2.05a	2.44b	1.88a	2.72b	0.0985	P<0.01
BTH	1.01a	1.44b	0.81a	1.58b	0.1170	P<0.01

Los análisis bromatológicos se muestran en la tabla III. donde se nota que la proteína bruta (PB) se incremento hasta 11 unidades porcentuales (22% para 75% de harina de canavalia con respecto al control 11,30%), la proteína verdadera en los tratamientos con inclusión de canavalia superó el 50% del nitrógeno, alcanzando para una inclusión de 75% de harina de canavalia un valor de 15%. En la gráfica 1. se observa como la proteína bruta y la proteína verdadera aumentan por tratamientos a medida que aumenta la inclusión del grano molido de canavalia ya que este aporta un 34.53% de proteína según Padilla y Díaz (1997).

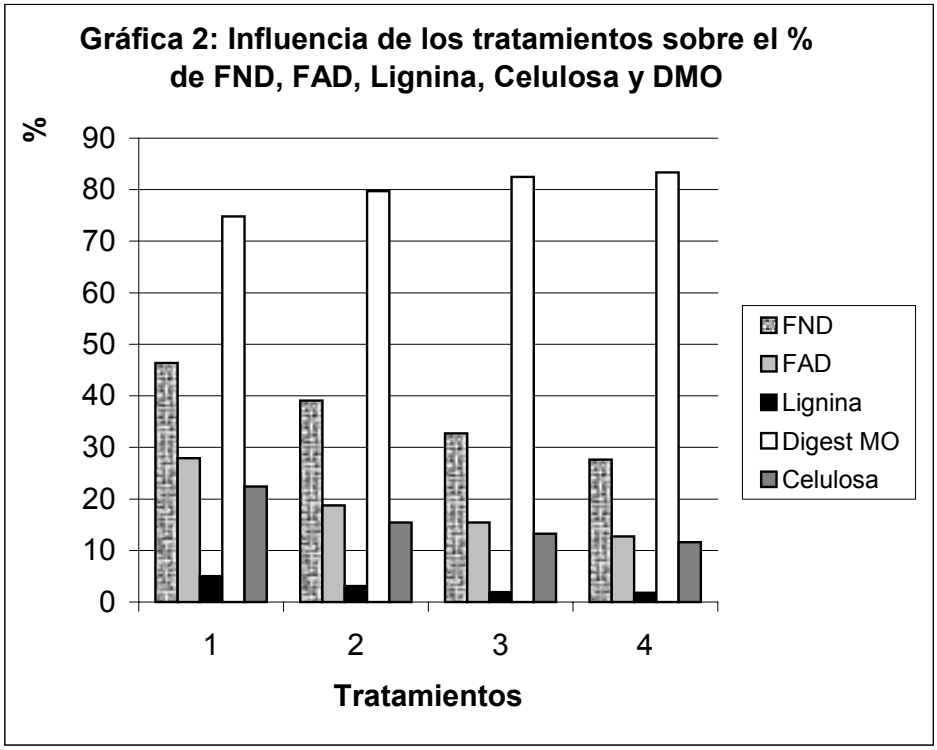
Tabla III. Análisis bromatológicos.

Tratamientos	1	2	3	4	ES()	Signif.
P.B	11.3ª	15.68b	19.64c	22.06d	0.3235	P<0.001
P.V	6.4ª	10.14b	13.53c	15.52c	0.8701	P<0.001
FND	46.39d	39.09c	32.71b	27.65ª	0.9084	P<0.001
FAD	27.9d	18.76c	15.4b	12.73ª	0.3803	P<0.001
Lignina	5.0c	3.07b	1.92ª	1.82ª	0.1681	P<0.001
Digest MO	74.81ª	79.72b	82.45c	83.33c	0.3723	P<0.001
Celulosa	22.44d	15.44c	13.25b	11.63ª	0.2953	P<0.001
M.O	93.96ab	93.22ª	93.89ab	94.74b	0.3766	P<0.001
Ceniza	6.04	6.78	6.11	5.26	0.3765	N.S
Ca	0.49	0.7	0.45	0.52	0.0611	N.S
P	0.17a	0.27b	0.31b	0.36c	0.0141	P<0.001

La MO aumento ligeramente, la ceniza y el Ca no tuvieron diferencias significativas y el fósforo (P) aumento a medida que se incluyó la harina de canavalia. Tabla III.



En la grafica 2. se muestra como la fibra neutra detergente(FND), la fibra ácida detergente(FAD), la lignina y la celulosa disminuyeron por tratamientos con el consiguiente incremento de la digestibilidad de la materia orgánica(M.O) que fue significativamente superior en los de mayor % de inclusión del grano molido de canavalia ya que esta posee menor contenido fibroso que el sustrato sustituido y producto de la fermentación hay un mayor fraccionamiento de la fibras según Durand y otros (1987a).



Conclusiones

- La inclusión creciente del grano de canavalia molido en la fermentación en estado sólido de la caña de azúcar aumenta la proteína bruta y la proteína verdadera.

- A medida que se aumentan los niveles del grano de canavalia molido disminuyen los contenidos de FND, FAD, lignina y celulosa con el consiguiente incremento de la M.O, aumentando así la energía digestible para los animales.

Bibliografía

1. AOAC, 1995. Official Methods of Analysis. 16th Ed. Off. Agric. Chem. Washington, D.C. U. S. A.

2. Bressani, R., Goméz, R., García, A. & Elias, L. 1987. Chemical composition, aminoacid content and protein quality of canavalia spp. J. Sci. Fd. Agric. 40:17.

3. Cottyn, B. G. y Boucqué, C. V. 1968. Rapad method for gas fluid. J. Agric. Fd. Chem. 16:107 (1968).

4. Díaz, M. F., González, A., Curbelo, F., Cruz, A. M. & Mora, C. 1997. Evaluación de especies de alto tenor proteico en la obtención de concentrados de proteína foliar (CPF). Revista cubana de ciencia agrícola. 31:183.

5. Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple F tests. Biometrics 11:1.

6. Durand, A., Grajek, W. y Gervais, P. 1987. The Inra-Dijon process for the single-cell protein production on sugar-beet pulp with Trichoderma viride TS. Food, Feed and Fuel from Biomass. Chp. 10. Ed. By D.S. Chahat in Oxford & IBHpubli. LTD. New Delhi: 123

7. Elías, A.; Lezcano, O.; Lezcano, P.; Cordero, J.; Quintana,L. 1990. Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico en estado sólido (saccharina). Rev. Cubana Ciencia Agrícola. 24:1.

8. Elías, A.; Lezcano, O. 1994. Efecto de la inclusión de niveles de harina de maíz en la fermentación de la caña de azúcar. Rev. Cubana Ciencia Agrícola. 28:319.

9. FAO. 1990. Utilizacion de alimentos tropicales: frijoles tropicales.

10. FAO. 2003. Animal feed resources Information System. http://www.fao.org

11. Kesting , V. 1977. Sektren Tievernagreing vortagstagong der Gesellschatt Foro ernahungder.DDR:306

12. Lezcano, P., Valdivia, M. y Marrero, A. I. 1994. Utilización de la Saccharina en la alimentación de monogastricos. Memorias II Enc. Monogastricos, Instituto de Ciencia Animal, La Habana.

13. Mathot, P., Debevere, C., Walhain, P.,Baudart, E., Théwis, A. y Brakel, J.. 1992. Composition and nutritive value for rats of *Aspergillus niger* solid fermented barley. Animal feed Science and technology 39:227

14. Mathot, P. y Brakel, J. 1990. Amelioration de la valeur alimentaire déxcedents ou de residus agricoles par fermentation a l´etat solide. Med Fac. Landbounww. Rijksuniv. Gent.55:1539

15. Meir, H. 1986. Laborpractike. Tierernahrung und futtermitte lkunde fur Tierproduktion. Verlag, Germany.

16. Padilla, C. y Díaz, M. 1997. Producción de granos para animales de autoconsumo. Instituto de Ciencia Animal. Cuba.

17. Pedraza , R. M., Crespo, L. M., Ramos, L. B. y Martínez, S. J. 1995. Bagazo seco enriquecido (Bagarip). Alimento para animales obtenido por fermentación en estado sólido de la caña de azúcar. Seminario Científico Internacional por el XXX Aniversario del ICA. p. 183

18. Van Soest, P. J. & R. H. Wine. 1967. Use of detergents is the analysis of fibrus feeds. Iv. Determination of plant cell-constituents. J. Assoc. Agric. Chem. 56(4):781.

19. Vargas, R. E. y Michelangeli, C. 1994. Utilización de la Canavalia ensiformis (L) en dietas para aves y cerdos.II Enc. Reg. Nutr. Alim. Monogast. La Habana. Cuba.

20. Viera, J y Ramis, C. 1994. Manejo agronómico de la canavalia. II Encuentro Regional de Nutrición y alimentación de monogástricos. La Habana . Cuba.

EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE NIVELES CRECIENTES DEL TUBÉRCULO DE YUCA (MANIHOT SCULENTA) SOBRE LA FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

EFFECT OF THE INCLUSION OF INCREASING LEVELS OF THE TUBER OF YUCCA (MANIHOT SCULENTA) ON THE SOLID STATE FERMENTATION OF THE SUGARCANE

Rodríguez,Y*; Elias, A; Aguilera, L***

***UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba-9**, Aptdo. 8, C.P. 33500, Quivicán, La Habana, Cuba, **e-mail direcc9@enet.cu.**
** **Instituto de Ciencia Animal**. Carretera Central km 47½, San José de las Lajas, La Habana, Cuba**. e-mail: ica@ceniai.inf.cu**

RESUMEN

Se trabajó en la obtención de un nuevo tipo de Saccharina con la adición de el tubérculo de la yuca apreciándose mejoras energéticas en el producto final. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamiento con niveles de inclusión de 0, 16 ,36 y 56% de yuca respectivamente . Todos los tratamientos recibieron 4% de soya ,2g de urea, 0.2 de sulfato de magnesio , 0,5g de minerales y 10 % de Vitafert como inóculo. Se utilizó caña de azúcar limpia sin hojas, pajas ni cogollo y molida después de 24 horas de cortada y yuca rayada después de 24 horas de cosechada. Los ingredientes se mezclaron, se depositaron en frascos Roux y se incubaron a temperatura ambiente durante 24 horas. En el producto final no hubo incrementos apreciables de la Materia Seca con la creciente adición de la yuca, sin embargo hubo un aumento de la proteína bruta en 5 unidades porcentuales con la mayor inclusión de yuca (18,45%), además de un incremento de la Digestibilidad de la Materia Orgánica (hasta un 84%) siendo significativamente superior (P<0,001) por la disminución de la Fibra Neutra Detergente, Fibra Ácida Detergente y la lignina (P<0.001) con una correlación entre estas de -0,96, apreciándose esto mejor en el cuarto tratamiento con un consiguiente detrimento de la celulosa (P<0.001). El producto obtenido es muy energético por poseer abundante fuente de almidón.

Palabras Claves: Saccharina, yuca, Fermentación en estado sólido.

ABSTRACT

It was worked in the obtaining of a new type of Saccharina including of the tuber of the yucca with energetics improvements in the final product. A totally randomized design was used with four treatments and three repetitions by treatment, with levels of inclusion of 0, 16 ,36 and 56% of yucca respectively. All the treatments received 4% of soybean ,2g of urea, 0.2 of sulfate of magnesium, 0.5g of minerals and 10% of Vitafert inoculum. Clean sugarcane was used without leaves, straws or tops and ground 24 hours after cutting and lined yucca 24 hours after harvesting. The ingredients were mixed, deposited in Roux flasks and incubated at room temperature for 24 hours. In the final product there were not an appreciable increase of the Dry Matter with the growing addition of the yucca, however there was an increase of the crude protein in 5 percentual units with the higher yucca inclusion (18,45%), besides an increase of the Digestibility of the Organic Matter (until 84%) being significantly superior (P <0,001) for the decrease of the Neutral Detergent Fiber, Acid Detergent Fiber and the lignina (P <0.001) with a correlation among these of -0,96, this was better appreciated in the fourth treatment with a rising detriment of the cellulose (P <0.001). The obtained product is very energetic because of possessing an abundant source of starch.

Key Words: Saccharina, yuca, Solid State Fermentation.

INTRODUCCIÓN

En la entrada del nuevo milenio, la necesidad de maximizar la producción de alimentos para el ganado vacuno (piensos concentrados, pastos y forrajes, suplementos y minerales, etc) a la vez optimizar el uso de los recursos y reducir o eliminar la contaminación ambiental, demanda el desarrollo de programas de vanguardia que aumentan la producción de leche y carne en armonía con el medio ambiente.

La explotación intensiva de animales resulta fácil si se dispone de materias primas suficiente, situación que no es la existente en gran parte de los países. En la actualidad apremia las limitaciones financieras para la adquisición de cereales y fuentes proteicas para la alimentación animal, mucho más si tomamos en cuenta que mucho de estos productos son también destinados a la alimentación humana: Marrero (1998) y Aranda (2000). De aquí que la búsqueda de nuevas alternativas alimentarías constituya una tarea de primer orden.

Es una planta que tiene características que la sitúan como la de mayor rendimientos de materia verde, energía y fibra, obtenidos en ciclos de tiempos menores que otras especies y en condiciones de clima y suelos en las que otras plantas tienen dificultades, Escobar (1993).

La caña de azúcar es una de las gramíneas que más se utiliza en la alimentación de los rumiantes por su alta producción de biomasa y mayor disponibilidad sobre todo en la época de seca, pero debido a sus altos tenores en fibra y baja concentración de proteína se ha trabajado sobre ella para elevar su composición nutritiva, mediante la adición de otros suplementos y su fermentación.

Durand et al (1993) plantean que la FES(fermentación en estado sólido) no es más que las transformaciones microbiológicas sobre materiales sólidos, donde el contenido de líquido en el sistema esté al nivel correspondiente de la actividad del agua, asegurando el crecimiento y el metabolismo de los microorganismos así como la formación de productos deseables, pero sin exceder la capacidad máxima de retención del agua de la sustancia sólida. Generalmente, durante la fermentación se observa un incremento en la fracción soluble del alimento, así como la cantidad y calidad de las proteínas expresadas en su valor biológico, y también con frecuencia, incrementa el contenido de vitaminas hidrosolubles, mientras que los factores antinutricionales muestran una disminución

Hace años se ha venido trabajando en los procesos de fermentación en estado sólido de la caña de azúcar donde se utiliza la planta limpia, sin hojas ni cogollo o el bagacillo que sale del tándem del central para obtener un producto de mejor calidad energético- proteico, Elias y otros (1990). En estos procesos fermentativos se han utilizado disímiles materias donde se han incluido fuentes amiláceas como boniato y maíz obteniéndose un producto de una mayor concentración energética y proteica(Rodríguez et al 1998). Una de las nuevas opciones en que se ha venido investigando es en la utilización del tubérculo de yuca como material energético en los procesos de fermentación de la caña de azúcar.

Desde hace mucho tiempo se veneran las ventajas de la yuca. Se da en suelos pobres o en tierras marginales donde no se pueden producir otros cultivos. Necesita pocos fertilizantes, plaguicidas y agua(800-1800mm anuales), pudiendo alcanzar rendimientos de 15-30Tm/año en suelos marginales. Además, como la yuca puede cosecharse en cualquier momento de los ocho a los 24 meses después de plantarla, puede quedarse en la tierra como defensa contra una escasez de alimentos inesperada, Montaldo (1990)

La yuca tolera la sequía(sin reducir su producción) porque posee tres características particulares: Los estomas se cierran cuando el aire esta seco, las raíces extraen el agua del suelo profundo(2.5m) y su sistema fotosintético fija el carbono atmosférico aun disponiendo de poco agua(en estrés hídrico prolongado)

sobrevive en suelos escasos en fósforo porque establece asociaciones(micorrizas) con hongos que suministran ese elemento, también se desarrollan en suelos ácidos(con aluminio). Las raíces pueden cosecharse a los 7 meses de plantado el cultivo y permanecer en el suelo por tres años.

La materia seca del parénquima de la raíz esta constituida en su mayor parte(90-95%) por la fraccion no nitrogenada , es decir por carbohidratos(almidón y azucares), el resto de esta materia seca corresponde a fibra(1-2%), grasa(0.5-1%), cenizas o minerales(1.5-2.5%) y proteína(2%), Alarcón (1998).

Es una planta de la cual se utiliza las hojas y las raíces, estas últimas forma parte de la alimentación humana. Su uso más frecuente es en la agroindustria en la obtención de almidón, también se utiliza en la alimentación animal con buenos resultados donde se ofrece como planta entera molinada, raíces frescas o en forma de harinas en mezclas con otras materias.

Cuando esta se incorpora en dietas para rumiantes se conoce que la lenta liberación de su almidón para la producción de energía la hace importante en la utilización del nitrógeno no proteico en la alimentación animal y dada su concentración energética puede ser un sustitutivo de los cereales en la dieta

Por lo que en nuestro trabajo nos proponemos valorar el efecto de la inclusión de niveles crecientes del tubérculo de yuca sobre la FES y composición bromatológica de la caña de azúcar fermentada inoculada con vitafert.

MATERIALES Y MÉTODOS

. Para la realización de este experimento se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 4 tratamientos y tres repeticiones por tratamiento a escala de laboratorio. Los tratamientos fueron: 1- caña 100% y soya 4%, 2- caña 80%, yuca 16% y 4% soya, 3- caña 60%, yuca 36% y 4% soya, 4- caña 40%, yuca 56% y 4% soya según se observan en la tabla 1.

Tabla I: Diferentes niveles de inclusión de caña, yuca y soya empleados en los tratamientos.

tratamientos	Caña %	Yuca %	Soya %
1	96	0	4
2	80	16	4
3	60	36	4
4	40	56	4

Todos los tratamientos recibieron 2% de urea y 0.2% de sulfato de Sodio y 0,5% de minerales y 10 % de Vitafert como inóculo(producto obtenido por vía biotecnológica rico en levaduras y bacterias lácticas). En el experimento se utilizó caña de azúcar limpia sin hojas, pajas ni cogollo y molida después de 24 horas de cortada y yuca rayada después de 24 horas de cosechada. Los ingredientes se mezclaron y se depositaron en frascos Roux y se incubaron a temperatura ambiente durante 24 horas.
Al producto final después de la fermentación se le determino el pH y se tomo una muestra para determinar algunos indicadores de la fermentación:
Indicadores fermentativos a medir.

- pH
- Amoniaco(Conway,1957).
- Ácidos Grasos Volátiles totales y parciales(McAnally, 1944).

Se le realizo la materia seca para determinar la composición bromatológica del producto fermentado
Indicadores bromatológicos a medir:

- Materia seca, AOAC(1995).
- Nitrógeno total, AOAC (1995).
- Nitrógeno proteínico, Meir (1986).
- Materia orgánica.
- Digestibilidad de la materia orgánica por KOH, Kesting (1977).
- Fibra neutra detergente, Van Soest y Wine (1967).
- Fibra acida detergente, Van Soest y Wine (1967).
- Celulosa, Van Soest y Wine (1967).
- Hemicelulosa(Se calculara por diferencia FND – FAD).
- Lignina, Van Soest y Wine (1967).
- Cenizas, AOAC (1995).
- Fósforo, AOAC (1995).
- Calcio, AOAC (1995).

Los datos obtenidos se procesaron por el paquete estadístico SPSS versión 5.0, se realizaron análisis de correlación y se determino si hay diferencias significativas entre los tratamientos por la prueba de rangos múltiples de Duncan (1955).

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Con la inclusión creciente del tubérculo de yuca no hubo diferencias significativas en cuanto al porciento de Ms por esta poseer similar materia seca a la de la caña de azúcar como se puede apreciar en la tabla II. Sin embargo hubo un descenso del pH con la inclusión de los diferentes niveles de yuca ya que esta tiene una acción acidogena sobre el sustrato a fermentar por el aporte de azucares de fácil fermentación aun siendo la fuente de energía el almidón, y posible liberación de ácido láctico ya que no hay diferencias muy significativas en la producción de ácidos grasos volátiles (AGV), resultados similares se obtuvieron con la adición de otras fuentes amiláceas como el maíz donde el pH descendió a 4.7, Elias y otros (2001). En la producción de amoniaco no se encontraron diferencias significativas y muy poca variación en cuanto a la producción de AGV totales

Tabla II: Indicadores de la fermentación.

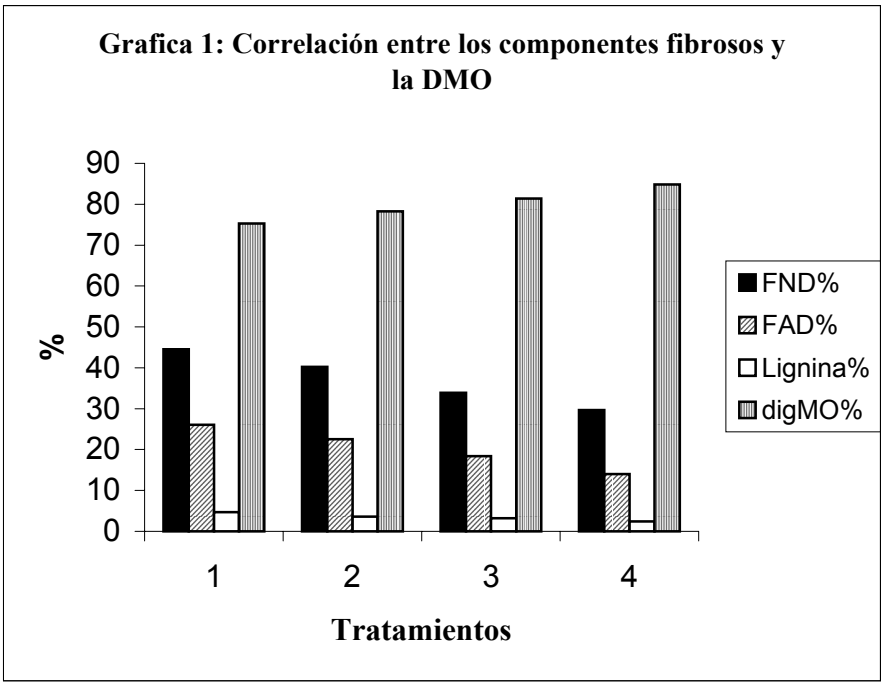
Tto	MS%	pH	NH_3	AGV_t	ACH	PRH	BtH
1	32.72	5.02 c	9.03	7.51 ab	4.66	2.39	1.42
2	34.13	4.80 b	10.31	8.25 b	5.33	2.28	1.25
3	34.35	4.69 bc	8.37	8.71 b	4.97	2.34	1.4
4	34.12	4.5 a	8.93	6.6 a	3.73	1.95	0.92
ES	0.4146	0.0346	0.6497	0.4456	0.4787	0.1407	0.1626
sign	NS	$p<0.001$	NS	$p<0.05$	NS	NS	NS

En cuanto a la composición bromatológica(ver tabla III) hubo un incremento de la proteína bruta(PB) con los diferentes niveles de inclusión de yuca elevándose hasta en 5 unidades porcentuales en el tratamiento de mayor inclusión el primer tratamiento (control) se comporto como los valores reportados de Saccharina en la literatura, Elias (1990). En el tratamiento3 con la inclusión del 36% de yuca la proteína bruta alcanzo valores similares a las mezclas de concentrados utilizados en la alimentación del ganado. En cuanto a la proteína verdadera no hubo diferencias entre tratamientos, estos resultados pueden estar debidos al cambio de la fuente de energía de azucares solubles a almidón el cual es liberado lentamente, aunque debe quedar grandes cantidades de aminoácidos y péptidos que fueron metabolizados y se encuentran disueltos en el sustrato sin llegar a formar las moléculas proteicas.

Tabla III: Composición bromatológica.

Tto	PB %	PV %	FND %	FAD %	Lignina %	Celulosa %	Digest MO %
1	13.75 a	7.07	44.54 d	26.8 d	4.70 d	23.08 d	75.29 d
2	17.78 b	7.28	40.24 c	22.57 c	3.62 c	18.46 c	78.28 b
3	18.95 bc	6.8	33.92 b	18.40 b	3.24 b	14.77 b	81.37 c
4	19.4 c	7.92	29.68 a	13.99 a	2.47 a	10.98 a	84.86 a
ES	0.3832	0.4976	0.7286	0.7885	0.1147	0.5511	0.5297
sign	p<0.001	NS	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001

En los componentes fibrosos se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos, la fibra neutra detergente(FND) y la lignina decrecieron en mas de un 40% con el nivel mas alto de inclusión, la fibra ácida y la celulosa disminuyeron en un 48 y 53% respectivamente aumentando la concentración y disponibilidad energética. Esta reducción de los componentes fibrosos da la potencialidad de este alimento de ser utilizado en categorías mas jóvenes de rumiantes que no toleran altos tenores fibrosos y de igual manera en algunas especies monogastricas. Hubo un incremento también de la digestibilidad de la materia orgánica(MO) elevándose hasta un 84% y un 83.37 para el 36% de inclusión de yuca, datos similares se obtuvieron con la inclusión de harina de maíz, Elias y otros (1994) con el mayor porciento de inclusión de yuca. En cuanto a los componentes fibrosos y la digestibilidad de la MO hubo una correlación negativa superior al 95%, la cual puede observarse en la **grafica1**



donde a medida que disminuyen los componentes fibrosos hay un incremento de la digestibilidad de la materia orgánica observándose diferencias significativas(P<0.001).

CONCLUSIONES

La inclusión del tubérculo de yuca en la fermentación en estado sólido de la caña de azúcar produce una disminución significativa de los tenores fibrosos en el sustrato con el consiguiente aumento de la digestibilidad de la materia orgánica incrementando la concentración y disponibilidad proteico energética del producto fermentado pudiendo ser utilizado en la alimentación en categorías jóvenes de rumiantes y algunas especies monogastricas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, F.(1998). Almidón Agrio de yuca en Colombia. Producción y recomendaciones. Tomo1. p: 43.
- Alarcón, Z.B. 1995. Cambio de peso de toretes en pastoreo en estrella africana y banco de proteína de Kudzú en condiciones tropicales. Tesis de Maestria en Ciencia. Centro de Ganadería, Colegio de Postgraduados. Montecillo México 157 p.
- AOAC. 1995. Official Mathods nf Analysis.16th Ed. 0ff. Agric. Chem., Washington, D.C, U.S.A.
- Aranda, l.E.M. 2000. Utilización de la caña de azúcar en le alimentación de rumiantes. Tesis de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de México. 90p.
- Buitrago, J. 1990. La yuca en la alimentación animal. Centro nacional de agricultura tropical(CIAT), Cali. Colombia. p: 287.
- Conway, E.J. 1967. Microdiffusion analysis and Volumetric Error. 4th Ed. Crosby Lockwood and Sons, Ltd. London.
- Duncan, D. D. 1055. Multiple range and multiple F test Biometrics 11:1.
- Durand, A., Grajek, W. & Gervais, P. 1993. The inra'Dijon process for the single cell protein production on sugar beet pulp with *Trichoderma viride* TS Food Feed and Fuel from biomass. Chapter 10. Ed. D.S. Chahal. Oxford & IBH Publ. Co. New Delhi p. 123
- Elías, A., Lezcano, 0., lezcano, P.. Cordero, J. y Quintana, L. 1990. Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnologia de enriquecimiento proteico de la caña de azúcar mediante fermentación en Estado sólido (Saccharina). Rev. Cubana Cienc. Agric. 24:1
- Elias, A; Lezcano, O. (1994). Efecto de la inclusión de niveles de harina de maiz en la fermentación de la caña de azucar. Rev cubana Cien Agric. 28: 319.
- Elias, A; Lezcano, O; Herrera, F. (2001). Algunos indicadores bromatologicos productos finales de la fermentación para la obtención de 4 tipos de sacarinas inoculadas con Vitafert. 35:153
- Escobar, A. 1993. Novedades en los sitemas de alimentacion del ganado destinado a la producción de leche en America latina y el caribe. Revista ACPA 1:5
- Kesting, V. 1977. Sektion Tiavevnagrung Vortragstagung der Gesellschaff Fur Ernahungdder. DDR. 306 p.
- Marrero A.I. 1998. Contribución al estudio de la utilización de la fibra dietética en las gallinaceas. Tesis de Dr. en Ciencias vaterinarias. ICA:2
- Meir, H. 1986. Laborpractike. Tierernahrung und futtermitte lkunde fur Tierproduktion. Verlag, Garmany.
- Molina. 1990. Potencial forrajero da la caña de azúcar para la ceba de ganado bovino. Producción da carne en el trópico. EDICA Cuba. 225 p.
- Montaldo. A, Montilla. J. 1996. La yuca frente al hombre del mundo tropical. Universidad central de Venezuela. CECOTUP-FEDEAGRO. Fondo de credito agropecuario. Maracay. p: 233.
- Rodríguez, Z., Elías, A. & Riverí, Z. 1998. Estudios de utilización de boniato (*Ipomea batatas Lam*) en la fermentación en estado sólido de la caña de azúcar. Rev. Cubana Cienc. agríc. 32:307

- Rodríguez. Z, Elias. A, Zuzel Riveri. 1998. Estudios de utilización de boniato en la fermentacion en estado sólido de la caña de ázucar. Rev Cubana Cien Agríc. 32(2):329.
- Ruiz M.E. 1994. Subproductos y residuos en la alimentación de bovinos. En. Memoria del IV curso Producción e investigación en pastos tropicales". Facultad da Agronomia, Universidad de Zúlia, La Sociedad Venezolana da Pastizales y forrajes. Capitulo Zuliano y el Banco de Maracaibo. Maracaibo, Venezuela. p. 69-87.
- Shimada, S. 1990. Utilización de la yuca en la alimentación animal.Tecnica pecuaria en Mexico. 21: 34.
- Valdes. G, Garcia. L, Gonzalez. E. 1991. Nota acerca de la utilización de la yuca en la suplementación de toros en ceba. Rev Cubana Cien Agríc33(4):253.
- Van Soest, P.J and R.H. Wine. 1967. Use of detergents is Ihe analysis of fibrus feeds. Iv. Determination of plant cell~constituents. J.Assoc.Agric. Chem. 56(4): 781.

ACTIVIDAD ANTICOCCIDIAL DEL 2-(2-NITROVINIL)-FURANO EN INFECCIÓN EXPERIMENTAL CON EIMERIA EN POLLOS

Ervelio Olazabal[a] , Reynaldo Moreno[b] , Héctor Z. Serrano[a] , Nilo Castañedo[a] .

a. Centro de Bioactivos Químicos, Universidad Central de Las Villas. E-mail ervelio@cbq.uclv.edu.cu . Telf. (5342) 281117, Fax. (5342) 281130.
b. Departamento de Producción de Aves, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

Se utilizó el 2-(2-nitrovinil)-furano sintetizado en el Centro de Bioactivos Químicos de la Universidad Central de Las Villas en 2 experimentos. I, aplicado en el agua de bebida a 2,4 y 8 µg/mL e inoculados con *Eimeria tenella* (1 X 10^5 oocistos/mL; II, tratados en el pienso a 8 y 16 ppm e inoculados con *Eimeria acervulina* (1 X 10^5 oocistos/mL. Se mantuvo un control infectado sin tratamiento en todos los experimentos y un grupo tratado con Amprolium 125 ppm y un control sin infectar ni tratar en el experimento I. Todas las aves infectadas fueron inoculadas con un mL de inóculo. Se obtuvo en el experimento I un control de lesiones de 58.57%, 67.14%, 72.86% y 60%, una ganancia relativa de peso de 80.08%, 86.78%, 83.86%, 75.18%, y 60.32% para las dosis de 2,4 y 8 µg/mL del 2-(2-nitrovinil)-furano, el Amprolium y el control infectado sin tratar respectivamente. Todos los grupos tratados tuvieron ganancias de peso significativamente mayores ($p < 0.05$) e índice de lesiones menores significativamente ($p < 0.05$) que el control inoculado sin tratar. En el experimento II se obtuvo un control de lesiones de 29.15% y 83.9% para las dosis de 8 y 16 ppm respectivamente. Se concluye que el 2-(2-nitrovinil)-furano tiene actividad anticoccidial por las dos vías de tratamiento utilizadas, siendo superior al Amprolium.

Palabras claves: Furano, *Eimeria tenella, Eimeria acervulina*, pollos.

Anticoccidial activity of 2-(2-nitrovinyl)-furan in experimental *Eimeria* infections in chickens.

SUMMARY

The 2- (2-nitrovinyl)-furan synthesized in the Center of Chemical Bioactives of Universidad Central de Las Villas in 2 experiments, was used. I, applied in drinking water 2, 4 and 8 µg/mL and inoculated with *Eimeria tenella* (1 X 10^5 oocysts/mL); II, treated in the feed 8 and 16 ppm and inoculated with *Eimeria acervulina* (1 X 10^5 oocysts/mL). An infected control nonmedicated in all the experiments and a group tried with Amprolium 125 ppm and a control nonmedicated, uninoculated in the I experiment were stayed. All infected birds with a mL of inoculum, were inoculated. A lesion control of 58.57%, 67.14%, 72.86% and 60%, a relative weight gain of 80.08%, 86.78%, 83.86%, 75.18%, and 60.32% with doses of 2, 4 and 8 µg/mL of 2- (2-nitrovinyl)-furan, Amprolium and nonmedicated, uninoculated control, were respectively obtained. All the treated groups had increase of weight significantly majors ($p< 0.05$) and lesion index significantly minor ($p< 0.05$) than the control uninfected, nonmedicated. In the II experiment a lesion control of 29.15% was obtained and 83.9% for the doses of 8 and 16 ppm respectively. The 2- (2-nitrovinyl)-furan has anticoccidial activity by two treatment way used, being much better than the Amprolium, was demosntrated.

Key word: Furan, *Eimeria tenella, Eimeria acervulina,* chickens

INTRODUCCION

La coccidiosis aviar es una enfermedad producida por protozoos del género Eimeria que provoca en el mundo grandes pérdidas económicas por concepto de mortalidad, disminución de la ganancia de peso y gastos de medicamentos. Estos últimos pueden representar más de 800 millones de dólares anuales en el mundo (Williams, 1998).
Kilgore (1960), plantea que las pruebas de laboratorio cuidadosamente controladas son de valor y podrían proporcionar una cantidad muy grande de información en la evaluación en la evaluación de anticoccidiales en un tiempo relativamente corto, y que si un producto no es eficaz frente a una exposición moderada o severa en el laboratorio, generalmente no será eficaz en condiciones de campo. Waletzky (1970) plantea que es unánime el criterio de tomar en cuenta la mortalidad al evaluar a ***Eimeria tenella*** y ***E. Necatrix*** y la ganancia de peso para todas las especies.

Los medicamentos con distintas drogas anticoccidiales han sido utilizados para prevenir brotes agudos de la enfermedad, pero la vida de algunos de ellos ha sido limitada, debido a la aparición de cepas resistentes (North, 1978), lo que indica la necesidad de continuar produciendo nuevos anticoccidiales. Los productos más utilizados en pollos de ceba son los coccidicidas que brindan una protección adecuada contra esta enfermedad. Entre estos se encuentran: Halofuginona, Monensina, Salinomycina, Lasalocid, Toltrazuril, con los cuales se obtienen buenos resultados en peso y viabilidad (Clarke, 1974; Ivore, 1977; Danforth et al., 1977; Huchzermeyer, 1978; Edgar et al., 1979; Parsons et al., 1982; Haberkorn, 1986). No obstante, los productos coccidiostáticos permiten el desarrollo de la inmunidad en las aves y son aconsejables utilizarlos en los primeros momentos y posteriormente rotarlos con medicamentos más potentes para reforzar el crecimiento compensatorio de los pollos (Chapman, 2001).

En este sentido el Centro de Bioactivos Químicos de la UCLV tiene un producto derivado del furfural con posibilidades de utilizarse para el control de esta enfermedad, debido a que ha tenido resultados positivos en screening realizados con anterioridad, frente a coccidias.

El objetivo del trabajo fue verificar la actividad del 2-(2-nitrovinil)-furano (G-O) sobre *Eimeria tenella* en pollos invadidos experimentalmente.

MATERIALES Y METODOS

Experimento I.

a) Sustancia activa.

Se utilizó el G-O sintetizado por el CBQ de la UCLV

El G-0 o 2-(2-nitrovinil)-furano

en estado puro es un sólido cristalino de color amarillo, funde entre 74 y 75°C, es inestable, se descompone con facilidad con el calor, se oxida al aire, es prácticamente insoluble en agua y muy soluble en solventes orgánicos apolares como metanol, etanol, acetona, en otros de mediana polaridad como éter dietílico y en apolares como el n-hexano (Olazábal et al., 2003).
El formulado de G-O fue realizado por el grupo de formulación del Centro de Bioactivos Químicos (CBQ) en alcochol etílico a una concentración del 2% .

b) Animales de ensayo y su mantenimiento

Se utilizaron pollitos Leghorn recien nacidos de un día de edad, machos, libres de coccidias adquiridos una Planta de Incubación de Santa Clara. Estas aves se criaron libres de coccidias hasta las dos semanas de edad. Se utilizó para la alimentación de los mismos pienso de ceba libre de anticoccidiales y agua a voluntad. Las aves fueron mantenidas en jaulas de alambre galvanizado en un local del Laboratorio de Parasitología del CBQ, aislado de insectos con temperaturas de 23-28 ^{0}C y HR entre 40-70%.

c) Infección

La cepa de *Eimeria tenella* se obtuvo del Laboratorio Nacional de Parasitología del Instituto de Investigaciones Avícolas, fue mantenida por pases sistemáticos en el Laboratorio de Parasitología del CBQ. Los oocistos así obtenidos se cultivaron en el laboratorio hasta el estado infectante, se contaron y guardaron en viales a temperaturas de 10 ^{0}C durante una semana.
Se obtuvieron pollitos de un día en una planta de incubación en la provincia Santa Clara que fueron criados hasta los 12 días de edad, en que fueron pesados para formar 6 grupos de 20 pollos con pesos similares. Estos recibieron los medicamentos en el agua de bebida el día 12 de edad y fueron inoculados el día 14 con 1 x 10^5 oocistos de *Eimeria tenella* por vía oral utilizando una cánula esofágica, excepto un grupo que se mantuvo como control sin infectar ni tratar.

d) Tratamiento

Se formaron los siguientes Grupos:
Grupo A. G-O 2 µg/mL.
Grupo B. G-O 4 µg/mL.
Grupo C. G-O 8 µg/mL.
Grupo D . Amprolium 120 µg/mL.
Todos los grupos desde el A hasta el D fueron tratados diariamente en el agua de bebida durante 7 días seguidos.
Grupo F. Control inoculado no tratado.
Grupo G. Control sin inocular ni tratar.
Todos los animales fueron sacrificados el día 7 posinfección, previo pesaje de los mismos para evaluar las lesiones de acuerdo con la escala de Jhonson y Reid (1970).

Experimento II

a)Sustancia activa

Se utilizó el G0 sintetizado en el CBQ, descrito en el experimento I.

b) Animales de ensayo y su mantenimiento

Se utilizaron 45 pollos de ceba mixtos de 3 semanas de edad, los que se dividieron en 3 grupos de 15 pollos cada uno que fueron mantenidos en jaulas de alambre galvanizado en un local del Departamento de Producción Animal: Aves de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. El local contó con todas las medidas de bioseguridad para evitar la contaminación de los animales con otras cepas de coccidia y agentes patógenos externos.

c) Infección

Se utilizó una cepa de *Eimeria acervulina* mantenida en el laboratorio por pases sucesivos que fue inoculada a una concentración de 1 x 10^5 oocistos/ml por ave, recibiendo cada una 1 ml dos días posteriores al inicio del tratamiento con el G0.

d) Tratamiento

El G0 fue mezclado con un pienso libre de anticoccidiales que fue suministrado *ad libitum* durante 9 días . Se formaron los siguientes grupos 1. G0 8ppm, 2. G0 16 ppm, 3. Control infectado no medicado.
Todos los animales fueron sacrificados el día 7 posinoculación para evaluar las lesiones de acuerdo con la escala de Jhonson y Reid (1970).

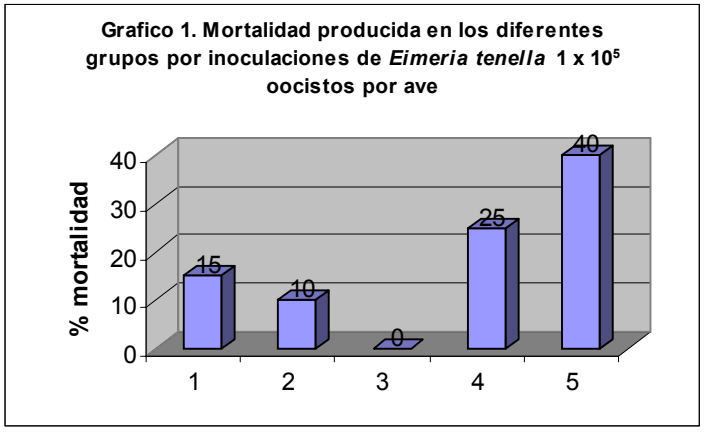
Criterios de efectividad

Se utilizaron los criterios de ganancia de peso (% referido al grupo de control no infectado y no tratado), tasa de muertes debidas a la infección, alteraciones macroscópicas en el intestino (hallazgos de la necropsia, lesiones de 0-4) .
Para el analizar la ganancia de peso se utilizó un ANOVA y para la comparación del grado de las lesiones entre los grupos un Wilcoxon. Se utilizó un nivel de significación $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el grupo inoculado sin tratamiento comenzaron a presentarse los síntomas clínicos de la coccidiosis a partir de los 5 días posinoculación. Coincidiendo con lo señalado por diferentes

investigadores, se presentaron primero diarreas amarillentas y posteriormente hemorrágicas (Long y Reid, 1982; Ruiz et al. 1985). Los síntomas clínicos más frecuentes observados en los animales estudiados fueron: tristeza, abatimiento, plumaje erizado, anemia, diarreas y expulsión de sangre en las heces. Este cuadro lesional se pudo reproducir con dosis de 10^5 oocistos por pollito de 3 semanas de edad que tuvieron una mortalidad de 40% en el grupo inoculado sin tratamiento (Gráfico 1), lo que confirmó la virulencia de la cepa utilizada. Otros investigadores han utilizado inóculos desde 15 x 10^3 hasta 1 x 10^5 oocistos para reproducir el cuadro lesional (Musaev, 1976; 1986, Mc Farland et al; 1992).



1 = G0 2 µg/ml, 2= G0 4 µg/ml, 3= G0 8 µg/ml, 4= Amprolium 125 µg/ml, 5= Control infectado no tratado.

En el análisis macroscópico efectuado en la necropsia, encontramos ciegos con hemorragias de diferentes grados en la mucosa de todos los grupos a excepción del grupo testigo no inoculado. Estas hemorragias tuvieron una presentación menor en todos los grupos tratados tanto con G-O como Amprolium con diferencias significativas ($p < 0.05$) con el control infectado no tratado. No se presentaron diferencias en el índice de lesiones de los grupos tratados (Tabla 1). La coccidiosis subclínica y coccidiosis clínica grado 1 son las formas más comunes de la enfermedad en la actualidad y es conocido que ello puede producir pérdidas que no son apreciables, por cuanto se manifiestan en una reducción del peso de los animales. Un número cada vez mayor de productores aprenden a aceptar cierto nivel de infección por coccidia siempre que la productividad continúe siendo satisfactoria (Magee, 1992) **.** Los últimos descubrimientos sobre la coccidia han cambiado la forma en que se interpretan las clasificaciones de lesiones y los conteos de ooquistes. Si bien estos parámetros continúan siendo fundamentales para el diagnóstico de la coccidiosis, en la actualidad muchos expertos reconocen que la correlación entre la clasificación de lesiones y la productividad puede no ser tan alta como se pensaba en el pasado (Bafundo y Donovan, 1988;Mc Kenzie et al., 1989; Conway et al., 1990; Hamet, 1993; Eckman, 1993; Bafundo, 1994,1998).

Por ejemplo, un estudio reciente demostró que el efecto de las lesiones en aves medicadas no fue tan perjudicial para la productividad como lo fue en las aves no medicadas (Conway et al. 1990)**.** Las clasificaciones de lesiones altas en las aves medicadas por lo general se asociaron sólo con cambios mínimos en la ganancia de peso. Otro estudio reveló que casi siempre se observan lesiones en aves medicadas con ionóforos, aunque la productividad generalmente se mantiene consistentemente alta (Mc Kenzie et al., 1989). Asimismo, en otro estudio se demostró que las lesiones clasificadas 1 o 2 no ejercieron un efecto negativo sobre los resultados comerciales (Hamet, 1993) . Estas publicaciones sugieren que la interpretación de la clasificación de lesiones como indicadores directos de la productividad de las aves no reflejan realmente la realidad (Bafundo, 1994)**.** La ganancia de peso de todos los grupos tratados tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) con el control infectado no

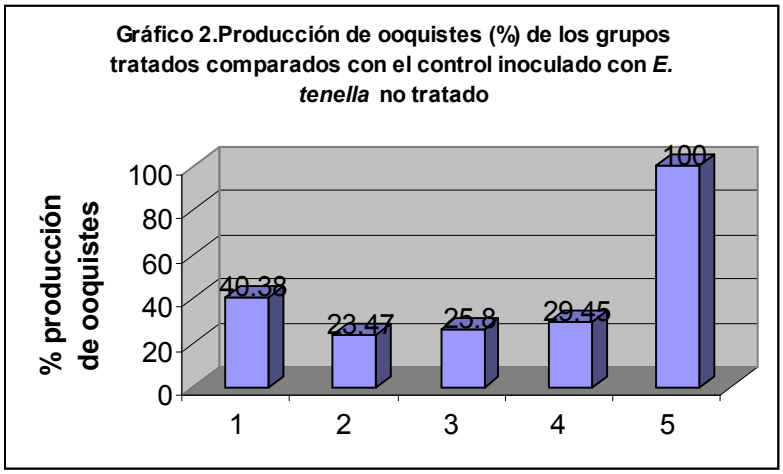
tratado y todos los grupos entre sí con un mejor comportamiento en la ganancia de peso para el grupo tratado con G0 4 µg/ml. El Amprolium tuvo una ganancia menor significativamente ($p < 0.05$) que los grupos tratados con G0. Esto evidencia que la ganancia de peso es más sensible para medir la efectividad del anticoccidial que las lesiones, debido que en estas últimas no hubo diferencias entre los grupos tratados.

Tabla 1. Actividad del G0 aplicado en el agua, en pollos inoculados con 10^5 oocistos de *E. tenella*

Tratamientos	Dosis µg/ml	Lesiones	EE	Control lesiones %	Ganancia de peso%	EE
G0	2	1.45a	0.17	58.57	80.08a	1.52
G0	4	1.25a	0.21	67.14	86.78b	1.04
G0	8	0.95a	0.12	72.86	83.86c	2.22
Amprolium	125	1.4a	0.17	60.00	75.19d	1.32
Control INT		3.5b	0.08	0.00	60.32e	0.67
Control NINT		0				

N = 20, EE = Error estandard, INT = Infectado no tratado, NINT = No infectado no tratado.
A,b,c,d,e = Letras diferentes en una misma columna difieren $p < 0.05$.

Braunius (1980) plantea que la coccidiosis cecal es una enfermedad aguda caracterizada por diarreas y heces sanguinolentas 4 días posinfección, la mayor catidad de hemorragia ocurre 5 ó 6 días después de la infección, esta declina entonces y los oocistos aparecen en las heces 7 días posinfección.
Todos los productos utilizados no inhibieron la producción de oocistos en las heces después del tratamiento por lo que este efecto puede considerarse como coccidiostático (Gráfico 2) . No obstante se ha planteado que los productos químicos anticoccidianos pueden pueden tener ambos efectos y que este puede variar al tratarse diferentes especies de coccidias (Braunius, 1980).



1 = G0 2 µg/ml, 2= G0 4 µg/ml, 3= G0 8 µg/ml, 4= Amprolium 125 µg/ml, 5= Control infectado no tratado

Aparentemente, confiar en el conteo de ooquistes para evaluar el efecto del anticoccidial es tan inexacto como basarse en las lesiones, debido a que no fue posible demostrar en estudios a campo recientes la existencia de una correlación entre el conteo de ooquistes en la cama y la productividad final de las aves (Chapman y Johnson, 1992).
En el experimento realizado con *E. acervulina* se evidenció un control de lesiones de 83.9% con la dosis de 16 ppm y un control bajo con la dosis de 8 ppm en el pienso. Estas diferencias con el experimento I pueden deberse a que las aves enfermas pueden dejar de comer pero generalmente no dejan de tomar agua y ello contribuye a que dosis más pequeñas por esta vía tengan efectos similares al doble de las mismas en el pienso (Mathis y McDougald, 1983). No obstante se corroboró su efecto sobre *E. acervulina* al reducir significativamente el grado de las lesiones producidas experimentalmente por estas , con diferencias significativas entre las dos dosis utilizadas y de ambas con el control (Tabla 2).

Tabla 2. Actividad del G0 aplicado en el pienso, en pollos inoculados con 10^5 oocistos de *E. acervulina*

Tratamientos	Dosis ppm	Lesiones	EE	Control lesiones %
G0	8	1.47a	0.10	29.15
G0	16	0.33b	0.06	83.9
Control INT		2.07c	0.02	0.00

a, b, c = Letras diferentes en una misma columna difieren $p < 0.05$.
INT = Control infectado no tratado

CONCLUSIONES

1. El G0 a 2,4 y 8 µg/ml en el agua de bebida reduce significativamente el grado de las lesiones en las aves de 14 días de edad, infectadas experimentalmente con *Eimeria tenella* 1 x 10^5 oocistos.
2. Las aves infectadas experimentalmente con *Eimeria tenella* 1 x 10^5 oocistos y tratadas con G0 incrmentan su peso significativamente comparadas con el control infectado no tratado y las tratadas con Amprolium 125 µg/ml.
3. Las aves infectadas experimentalmente con *Eimeria tenella* 1 x 10^5 oocistos y tratadas con G0 8 µg/ml incrementan más el peso que las tratadas con 2 y 4 µg/ml.
4. Las aves infectadas experimentalmente con *Eimeria tenella* 1 x 10^5 oocistos y tratadas con G0 2, 4, 8 y Amprolium 125 µg/ml reducen la eliminación de ooquistes pero no lo eliminan completamente.
5. El G0 a 8 y 16 ppm mezclado en el pienso reduce significativamente el grado de las lesiones en las aves de 21 días de edad, infectadas experimentalmente con *Eimeria acervulina* 1 x 10^5 oocistos.
6. La dosis de 16 ppm mezclada en el pienso tuvo un porcentaje de reducción de las lesiones (83.9%) mayor significativamente ($p < 0.05$) que el de 8 ppm.

REFERENCIAS

1. Bafundo, K.W; Donovan, D.J. (1988), *Poultry* 4:36-37.
2. Bafundo, K.W, (1998), Shuttle programs in broilers: advantages and disadvantages. Proc. 11th Latin American Congress of Vet. Sciences. Lima, Peru.
3. Bafundo, K.W. (1994), Trends in coccidiosis control: present considerations and future concerns. Proc. 43rd Western Poultry Disease Conference, Sacramento, CA. pp. 49-52.
4. Braunius, W. (1980), *World´s Poult Sci Jour* 38:176-185.
5. Chapman, H.D; Johnson, Z.B. (1992), *Poultry Science* 71:1342-1347.

6. Chapman H.D. (2001), *Poultry Science* 80:572-580.
7. Clarke, M; Díaz, M; Guilloteau, B; Hudd, A; Stocker, J. (1974), *Avian Pathology* 3:25-35.
8. Conway, D.P; Mc Kenzie, M.E; Dayton, A.D. (1990), *Avian Pathology* 19:489-496.
9. Danforth, H; Ruff, M; Reid, W; Johnson, J. (1977), *Poultry Science* 56:933-938.
10. Eckman, M.K. (1993), *Poultry Digest* 52:16-22.
11. Edgar, S; Flannagan, C. (1979), *Poultry Science* 58:1469-1475.
12. Haberkorn, A. (1986), Intermittent therapy: an alternative to permanent administration of anticoccidials. Proceeding of the Georgia Coccidiosis Conference. pp.302-307.
13. Hamet, N; Plassiart, G; Wiers, M. (1993), Influence of *Eimeria* multiplication on the restoration of intestinal mucosa of birds. I. *Eimeria acervulina*. Proc. 6th Int. Coccidiosis Conf., Guelph, Ontario, Canada.
14. Huchzermeyer, F. (1978), Lasalocid enhancing broiler growth. WPSA Meeting, Sao Paolo.
15. Ivore, P; Raynaud, J.P. (1980), *Annales de Reserches Veterinaires* 11:99-108.
16. Jhonson, J; Reid, W.M. (1970), *Exp Parasitol* 28:30-36.
17. Kilgore, R. (1960), *Ciencias Veterinarias* 5:185-192.
18. Long, P.L; Reid, M.)1982), A guide for the diagnosis of coccidiosis in chickens. University of Georgia. College of Agriculture. Experimental Stations. Special Publication.
19. Magee, D.L. (1992), *Broiler Industry* 51:52-62.
20. Mc Farland, J.M; Ricketts, A.P; Newcomb, D.M; Shively J.E; Glazer, E.A. (1992), Antimicrob Agents Chemother 36:368-371.
21. Mc Kenzie, M.E; Conway, D.P; Dayton, A.D. (1989), Relationship of weight gain and lesion scores as measures of ionophore effectiveness in broilers infected with *Eimeria acervulina*, *E. maxima*, and *E. tenella*. Proc. 5th Int. Coccidiosis Conf., Tours, France.
22. Musaev, M. (1976), **Naukova Dumka**. 71-76.
23. North, M. (1978), Coccidiosis. Coccidiosis. Poultry Deseases coccidiosis commercial chicken production. Manual Second Edition. pp. 632-638.
24. Olazábal, E; Castañedo, N; Gaitán, T.E; Rodríguez, Z; González, O; Serrano, H.Z; Díaz MI, Calvo, A.M. (2003), Method of obtaining 2-(2-nitrovinyl)-furan and the use thereof as a coccidiostatic.PCT WO 03/051858A1. 26.06.2003.
25. Parson, C; Baker, D. (1982), *Poultry Science* 61:2083-2088.
26. Ruiz, R; Hinojosa, L; Pérez, E. (1985), *Revista Avicultura* 29:221-229.
27. Waletzky, E. (1970), *Exp Parasitol* 28:42-62.
28. Williams, R.B. (1998), Int J Parasitol 28:1089-1098.

BIOPRANAL: SUPLEMENTO PROTEICO DE ACCIÓN PROBIÓTICA DESTINADO A LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.

BIOPRANAL: PROTEIN SUPPLEMENT OF PROBIOTICAL ACTION DESTINED TO THE FEEDING ANIMAL.

Dr. Ing. Agustín García Rodríguez.* Msc. Ing. Alfredo Marín Cárdenas**. Ing. Nelsy Herrera Coello*. Dr. Ing. Luis Gómez Rodríguez*.

*Centro de Análisis de Procesos. Universidad Central "Marta Abreu"de las Villas
**Centro Investigaciones Agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu"de las Villas
agarcia@qf.uclv.edu.cu

Summary:
The cream of obtained protein biomass in nonsterile conditions, using the Technology of Production of protein Biomass for zones of sustainable economy, has special qualities of self-conservation of the product and values of yield and superior productivities in comparison with similar products constituting a product that by the particularitities of its technology of obtaining, which uses a mixed culture of microorganisms and the natural zeolite like additive in the concentration of the cream, conforms a product to special qualities like protein aggregate to the piensos destined to the feeding of Pigs and to proven probiotical action in the piggies, as it is in this work, where discuss the main indices of qualitative characterization of the product and its technology of production that turn it a viable alternative for their application in zones of sustainable economy, like the Sugar Industry and others with minimal conditions of resources available.

Keys Words: Feeding Animal, Biotechnology, protein Biomass

Resumen:
La crema de biomasa proteica obtenida en condiciones no estériles, utilizando la Tecnología de Producción de Biomasa proteica para zonas de economía sostenible, posee cualidades especiales de auto conservación del producto y valores de rendimiento y productividades superiores en comparación con productos similares constituyendo un producto que por las particularidades de su tecnología de obtención, la cual utiliza una cultivo mixto de microorganismos y la zeolita natural como aditivo en la concentración de la crema, conforma un producto con cualidades especiales como agregado proteico a los piensos destinados a la alimentación de Cerdos y con acción probiotica probada en los cerditos, como se muestra en este trabajo, donde se discuten los principales índices de caracterización cualitativa del producto y de su tecnología de producción que lo convierten en una alternativa viable para su aplicación en zonas de economía sostenible, como los Centrales Azucareros y otras con mínimas condiciones de recursos disponibles.

Palabras. Claves: Alimentación Animal, Biotecnología, Biomasa proteica.

Introducción:

Cada día se hace más importante el desarrollo de tecnologías para lograr la elaboración de concentrados a partir de nuestros propios recursos naturales. En este sentido el país dispone de una abundante cantidad de productos alimenticios que nos proporciona la caña de azúcar y sus subproductos agroindustriales.
A consecuencia de estos aspectos surge entonces la tecnología simplificada de producción de biomasa proteica para la alimentación animal, cuyos resultados son aun insuficientes, específicamente por ineficiencias técnicas y tecnológicas no superadas. (Pérez et al. 1998, López et al. 1998 y García et al. 1998)
Una de la problemática más acuciante en esta tecnología es la facilidad de contaminación de producto y su deterioro en un tiempo muy breve, así como la incidencia de esto en el proceso que obliga cambiar el pie de fermentación (inóculo) entre los tres y siete días, provocando interrupciones muy seguidas y una muy baja eficiencia en la planta. (Toriza et al. 1998).
El BIOPRANAL es precisamente un producto diseñado para superar todas las limitaciones de conservación de productos similares antes desarrollados con la adición de un valioso efecto probiotico, (Marín et. al, 2003) ya que en su obtención incluye un novedoso cultivo mixto de levaduras y bacterias que unido a determinadas innovaciones generan una tecnología de producción original, técnica y económicamente viable y ambientalmente compatible.
En el presente trabajo se expone el fundamento de la tecnología de obtención y un resumen de los resultados mas relevantes relacionados con los efectos de auto-conservación y probiotico que caracterizan este producto. Así como algunas consideraciones técnico-económicas de su producción.

Desarrollo

Generalidades sobre la Tecnología de producción de BIOPRANAL

Consiste en la combinación adecuada de tres operaciones (mezclado, fermentación y concentración) llevadas a cabo en equipos convencionales diseñados o seleccionados al efecto. El proceso se caracteriza por efectuarse en condiciones no estériles y no requiere necesariamente de empleo de vapor de agua para ninguna de sus etapas, todo lo cual la convierte en una tecnología simple y asequible para su montaje en zonas de economía sostenible como granjas, centrales azucareros, zonas militares apartadas, etc, donde existe al menos energía eléctrica. Como sustrato puede ser cualquier corriente azucarada de un proceso, ajustada con agua a la concentración de 20 a 30 g /l de ART (Azúcares Reductores Totales) y mezclado con los nutrientes (fuente de nitrógeno y fosfatos tradicionales) en las proporciones requeridas para formar el medio de cultivo que posteriormente se mezcla con el inóculo preparado y propagado previamente en una proporción de 1:10 con respecto al volumen del medio de cultivo. El medio de cultivo inoculado constituido por un cultivo mixto especialmente para este proceso integrado por una mezcla de cepas de levaduras y bacterias es enviado a un fermentador de borboteo, donde en presencia del oxígeno del aire suministrado (1- 2 v.v.m.) ocurre el proceso de crecimiento y multiplicación celular hasta alcanzar la concentración deseada de células y de azúcar residual en el fermento, que indica la culminación de la etapa. La operación consume un tiempo de fermentación de aproximadamente 6 horas a temperaturas entre 30 y 38 grados centígrados y pH autorregulable alcanzando rendimientos superiores al 30% biomasa/sustrato, y productividades superiores a 0.78 g /l-h, operando bajo un régimen de batch incrementado. El fermento es posteriormente concentrado en un Sedimentador – Decantador de una etapa, empleando como aditivo zeolita natural en polvo aplicada bajo condiciones especiales, que aceleran el proceso y contribuyen a mejorar la calidad del producto BIOPRANAL (crema de biomasa proteica) que se

obtiene, con cualidades especiales que mejoran sus propiedades como alimento animal y con características originales el poseer cualidades de auto conservación elevadas, que permite almacenarlo sin condiciones especiales, ni aditivos, durante semanas sin experimentar afectaciones de la calidad original que lo limiten para el consumo como suplemento proteico en la alimentan animal con similares cualidades al producto fresco y propiedades probióticas. La operación de sedimentación demora no más de 4 horas por lote y permite obtener un volumen de crema de biomasa proteíca entre el 20 y el 30% de la capacidad volumétrica del fermento tratado con una concentración superior al 12 % de Materia Seca, y 29 g/l de Biomasa con índices superiores al 29 % base seca de P.V.(proteína verdadera) y 41% base seca de P.B.(proteína bruta). La composición química del producto se reporta en la Tabla No.1

Tabla 1. Resultados de la caracterización aminoácidica en base seca del BIOPRANAL y el crema de C. Utilis de Lopez et a. (1998)

A. Ácido (%) Base seca	**C. mixto Biopranal crema**	**C. utilis crema**
Aspartico	3.37	2.78
Treonina	1.76	1.43
Serina	1.74	1.04
Glutamico	3.78	6.41
Glicina	1.48	1.65
Alanina	2.71	2.08
Valina	1.93	1.63
Isoleucina	1.38	1.50
Leucina	2.54	1.89
Tirosina	1.23	0.60
Fenilalanina	1.39	1.34
Histidina	0.70	0.59
Lisina	2.58	2.65
Arginina	1.55	1.96
Prolina	1.36	0.09
Cistina	0.38	0.07
Metionina	0.56	0.37
Total AA	30.44	28.08
% N AA	4.870	4.49
%N total	5.986	6.72
N AA/N T	0.81	0.67

Se muestra la caracterización aminoácidica en base seca de las cremas de biomasa proteica obtenida por la tecnología propuesta y de la miel proteica producida con estas cremas y comparada con los valores de aminoácidos reportados por López et al, (1992), para la biomasa proteica obtenida al fermentar la C. utilis. Se observa una mejor

composición para las cremas obtenidas con el cultivo mixto de BIOPRANAL donde los principales aminoácidos como Lisina, la Metionina, con valores similares y otros como la Cistina y la Leucina superiores apreciablemente a a C. utilis asi como, los aminoácidos aspartico, treonina, serina, alanina, valina, leucina, tirosina, fenilalanina, histidina y prolina presentan mejores resultados que los reportados por López et al, (1992) para la C utilis, Solo en el caso de los aminoácidos glutámico, glicina e isoleucina, los indices de la crema obtenida con C. utilis son superiores en especial el glutámico, sin embargo en cuanto a la suma total de aminoácidos es ligeramente superior en dos unidades y el nitrógeno de los aminoácidos con respecto al Nitrógeno total es superior para el BIOPRANAL lo que refuerza la calidad de este producto.

Sobre la capacidad de autoconservación del BIOPRANAL

La crema de biomasa proteica experimenta un rápido deterioro lo que dificulta en gran medida su manipulación, almacenamiento y el traslado hacia las áreas de consumo. La búsqueda de un sistema de conservación que elimine este inconveniente es el objetivo de este trabajo. La solución alcanzada consiste en el desarrollo de la fermentación a partir de un inóculo constituido por un cultivo mixto de levaduras y bacterias lácticas. Este procedimiento permite conservar la crema de biomasa obtenida por mas de veintiún días, estabilizándose el pH en 3..96 y manteniendo también estables los índices promedios de calidad de la crema de biomasa proteica. Al utilizar este cultivo mixto de levaduras y bacterias se logró estabilizar el proceso de fermentación, alcanzando mas de 50 fermentaciones sucesivas empleando un mismo pie del cultivo sin que generara contaminación del proceso que obligara a reiniciar el mismo a pesar de las condiciones de fermentación no estériles característico de la Tecnología Simplificada de Producción de Biomasa proteica para zonas de economía sostenible. (Marin et. al 2003a)
Las fermentaciones se desarrollaron en un volumen de 20 litros (escala piloto), en un fermentador de acero inoxidable. Empleando el cultivo mixto de levaduras y bacterias referido anteriormente en la descripción de la tecnología. Se desarrollaron dos estudios simultáneos. I.- Estudio de la capacidad de auto conservación del BIOPRANAL. II.- Estudio de la estabilidad del pie de fermento del cultivo mixto (inóculo) en el proceso de fermentación.

Se realizaron 16 fermentaciones con el sistema de Batch incrementado con un volumen de 20 litros utilizando el cultivo mixto con un 20 % de claro recirculado y nutrientes urea y superfosfato mas 20 g/l de ART, a una temperatura de 38 °C y 2 vvm de aire.

De estas 16 fermentaciones se realizaron dos tratamientos con 8 fermentaciones sucesivas cada uno, el primero con el empleo de un cultivo mixto de levaduras Cándidas utilis empleado tradicionalmente en el país producción de Levadura Torula como control y el segundo utilizando el cultivo mixto de levaduras y bacterias empleado en el BIOPRANAL y obteniendo la crema en ambos casos según el proceso correspondiente para cada tecnología. (Pérez et al. 1998, y García et al. 2002)

I.- Estudio de la capacidad de auto-conservación

Las muestras de cremas se depositaron en frascos de cristal y se colocaron a temperatura ambiente por un periodo de 21 días realizándose las siguientes determinaciones analíticas: control de pH al final de la fermentación y posteriormente a la crema al inicio y posteriormente cada 24 horas, además a la crema se le determino materia seca, proteína bruta y verdadera al inicio y final del experimento según (AOAC, 1990).

Inicio y final: ART, pH, conteo celular, cenizas, materia seca.
Cada dos horas: ART, pH, Bx, conteo celular.

II.- Estudio de la estabilidad del pie de fermentación.

Este estudio se realizó para determinar el tiempo de duración máximo del cultivo mixto en fermentaciones sucesivas, manteniendo estables los parámetros de calidad de la misma y se comparo con la cultivo de C. utilis en las condiciones actuales de producción a escala piloto con una fermentación a Batch a 20 litros, concentración de ART de 25 g/l más urea y superfosfato triple, tiempo de fermentación 10 horas, se desarrollaron 29 fermentaciones sucesivas, se muestreo al inicio y final de la fermentación. Las fermentaciones con cultivo mixto del BIOPRANAL a escala piloto de producción, fermentación a Batch incrementado en 20 litros, concentración de ART de 20 g/l más urea, superfosfato triple y 20 % de claro recirculado, tiempo de fermentación 6 horas e incremento a las 4 horas y 38 °C de temperatura, se realizaron 84 fermentaciones sucesivas.
Inicio y final: Biomasa, ART y pH. Además a la muestra final se le determino materia seca, (y) rendimiento y (p) productividad.

Se realizó un estudio para determinar el periodo en que se mantiene estable todas las propiedades organolépticas y química – físicas en la crema obtenida en el proceso de producción de la biomasa proteica por vía simplificada, los resultados del mismo se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de los diferentes tratamientos de conservación de la crema.

Muestra	Trat. control	C. mixto inicio
Fermento (pH)	4.175	3.963
Crema (pH)	4.275	4.063
pH 24 h	4.500	4.025
pH 2 días	5.188	3.963
pH 3 días	-------	3.963
pH 4 días	-------	3.963
pH 7 días	-------	3.963
pH 14 días	-------	3.963
pH 21 días	-------	3.963
M. seca inicial	10.954	11.346
M. seca final	9.385	10.878
P. bruta inicial	46.124	47.325
P. bruta final	22.823	46.153
P. verd. inicial	26.875	32.969
P. verd. final	--------	32.241

Como podemos observar el comportamiento en el tiempo de la estabilidad de la crema obtenida, del tratamiento en condiciones actuales donde se fermento el cultivo mixto el cual nos sirvió de control, observamos su evidente deterioro a través de los índices, especialmente el pH que indica una rápida descomposición a los dos días cuando el producto se deteriora de forma irrecuperable.

Por su parte el cultivo mixto de BIOPRANAL mantiene sus cualidades casi inalterables durante los 21 monitoriados.
Además se realizó un estudio para determinar el periodo en que se mantiene el pie de fermentación en condiciones óptimas, donde se compara la fermentación del cultivo de C. utilis y el estudio la fermentación sucesiva del cultivo mixto de levaduras y bacterias. En la tabla 3 y 4, se muestran los resultados del estudio.

Tabla 3: Resultados del estudio de las fermentaciones del cultivo de Candida utilis

Corrida	Tiempo (h)	Biomasa (g/l)	ART (g/l)	pH	M. seca (%)	Y (%)	P (g/lh)
1	0	1.70	23.63	5.6			
	10	6.80	2.91	4.4	3.52	24.61	0.51
2	0	1.83	24.29	5.6			
	10	6.93	3.49	4.4	3.61	24.52	0.51
3	0	2.01	23.50	5.6			
	10	6.81	2.91	4.4	3.45	23.31	0.48
17	0	1.60	24.93	5.5			
	10	6.00	3.57	4.5	3.73	20.60	0.44
18	0	1.70	25.19	5.5			
	10	5.90	3.81	4.5	3.97	19.64	0.42
19	0	1.60	24.31	5.6			
	10	5.70	3.99	4.5	3.70	20.18	0.41
27	0	0.91	23.85	5.6			
	10	3.31	4.37	4.6	3.17	12.32	0.24
28	0	0.90	23.97	5.6			
	10	3.30	4.21	4.6	3.08	12.16	0.24
29	0	0.90	24.15	5.6			
	10	3.20	4.31	4.7	3.13	11.59	0.23

Los resultados muestran la caracterización al inicio y final de las fermentaciones en ambas tablas. Como se observa en la tabla 3 para la C. utilis, los valores al inicio 0 horas se mantienen similares en los parámetros de control del proceso (ART y el pH,) en todas las fermentaciones, no comportándose de la misma forma la biomasa que en las primeras fermentaciones comienza con valores alrededor de 1.60 g/l y a partir de fermentación 20 comienza a disminuir gradualmente llegando a valores de 0,90 g/l en la fermentación 27 lo que refleja la tendencia a disminuir (la viabilidad de las células debilitándose el pie de fermentación con la consecuente afectación del proceso. Los valores de los parámetros medidos a las 10 horas, se mantuvieron estables sin variación considerable hasta la fermentación 20 donde los valores oscilaron de la siguiente forma, biomasa 6.70 g/l, consumo de ART 20.62 g/l, pH alrededor de 4.3, % materia seca 3.41, rendimiento alrededor de 24.25% y productividad 0.50 g/lh,. A partir de la fermentación 20 comenzó la degradación del proceso hasta llegar en la fermentación 29 a valores de biomasa 3.20 g/l, un consumo de ART de 19,84 g/l, un valor de pH de 4,7, Brix igual a 2,59, la materia seca 3,13%, un rendimiento de 11.59% y una productividad de 0.23, muy desfavorables para el proceso que debía detenerse, lo que corroboran lo planteado en los instructivos técnicos elaborados por el MINAZ de Ciego de Ávila y Villa Clara que plantean que el cultivo debe cambiarse a los siete días.

Tabla 4: Resultados del estudio de las fermentaciones con cultivo mixto de BIOPRANAL

Corrida	Tiempo (h)	Biomasa (g/l)	ART (g/l)	pH	M. seca (%)	Y (%)	P (g/lh)
1	0	1.71	20.15	5.4			
	6	7.93	3.12	3.9	3.69	41.58	1.037
2	0	1.65	20.07	5.3			
	6	7.97	3.05	3.9	3.73	41.67	1.053
3	0	1.72	20.10	5.4			
	6	8.04	3.12	3.8	3.87	42.41	1.053
58	0	1.67	20.25	5.3			
	6	7.83	3.23	3.8	3.79	40.91	1.027
59	0	1.71	20.51	5.4			
	6	7.82	3.07	3.9	3.91	39.74	1.018
60	0	1.63	20.43	5.4			
	6	7.76	3.11	3.9	3.83	38.18	1.022
82	0	1.10	20.36	5.4			
	6	5.86	3.13	4.4	3.30	27.20	0.793
83	0	1.12	20.49	5.4			
	6	5.58	3.05	4.4	3.37	25.20	0.430
84	0	1.06	20.62	5.4			
	6	5.31	3.03	4.4	3.28	23.20	0.708

En la tabla 4 para el cultivo mixto de BIOPRANAL se observa que los valores de los parámetros medidos al inicio se mantienen similares en todas las fermentaciones sucesivas, como es el caso de los ART en 20.0 g/l y el pH en 5.4, el contenido de biomasa inicial se mantiene estable en valores de 1.7 g/l hasta la fermentación 82 que comienza a decrecer gradualmente. Al analizar los resultados obtenidos a las 6 horas muestran un comportamiento similar hasta la fermentación 76 con valores aproximados de biomasa de 7.76 g/l, un consumo de ART de 17.32 g/l, un valor de pH de 3.9, un % de materia seca de 3.83, un rendimiento biomasa/sustrato de 38.18% y una productividad de 1.02, en posteriores fermentaciones decrecen estos valores gradualmente, deteniendo las fermentaciones en la 84 donde comienza a deteriorarse el cultivo. Analizando estos resultados podemos asegurar una mayor estabilidad con el tiempo con el cultivo mixto de BIOPRANAL el cual indica cambiar el cultivo entre los 27 y 30 días, mientras que el cultivo C. utilis en las condiciones actuales solo mantiene la estabilidad de 7 a 10 días. Observe que los resultados cualitativos del producto final del proceso obtenido en el cultivo mixto de BIOPRANAL (Corrida 84) son similares al mejor resultado del estudio del cultivo de C. utilis, lo que refleja la potencialidad del cultivo mixto de levaduras y bacterias en el proceso fermentativo en estudio.

Sobre el efecto probiótico del BIOPRANAL.

Los probióticos son cultivos de microorganismos vivos en su mayoría Lactobacillus que colonizan el tracto intestinal de los animales que lo consumen y cuyo propósito es asegurar el normal equilibrio entre las poblaciones de bacterias beneficiosas y perjudiciales del aparato digestivo (Rodríguez, 1994). El efecto probiótico del BIOPRANAL se muestra a través de una disminución significativa de la incidencia de diarreas y muertes por trastornos digestivos en los grupos de cerditos tratados frente al grupo control. Se demuestra además la ganancia de peso alcanzada por estos grupos tratados comparadas con el control.(Marín et al. 2003) En nuestro país

no se producen probioticos y su empleo es casi nulo en la actualidad para la producción comercial de carne de cerdo.
La alimentación del lechón recién destetado es uno de los aspectos más críticos en las explotaciones porcinas por lo que el programa de alimentación que se desarrolle, tendrá un efecto significativo sobre los rendimientos futuros de los cerdos. .
En el mundo se ha incrementado, sobre todo a partir de 1980, el uso de probióticos comerciales preparados a partir de cultivos de microorganismos (bacterias y levaduras principalmente) desarrollados muchos de ellos sobre medios lácteos y que generalmente han brindado resultados positivos cuando se han suministrado a los animales (Tortuero et al 1995, Abe et al 1996).
En Cuba no producen productos comerciales con estas características, aunque a partir de 1985 en la Universidad Central de Las Villas se realizaron trabajos inoculando la miel proteica con Lactobacilos para garantizar su conservación y a la misma se le comprobó su efecto probiótico (González et al 1989).
Varios investigadores reportan mejoras en la eficiencia con que se utilizan los nutrientes, Rychen, et al. (1995), muestran que el suministro de probiótico incrementó significativamente la absorción de glucosa y nitrógeno amínico, además con la adición de 10^9 ufc/kg de dieta la utilización del nitrógeno mejoró en un 56%.
Cuando se le suministra directamente a la cría Hoopen (1989), encontró diferencia significativa en la ganancia media diaria a favor de los cerdos que recibieron "Probios" (L. acidofilo), desde el nacimiento hasta los 31 días lo cual fue corroborado por otros investigadores. en los cerdos que recibieron probiótico.
Abe, et al. (1995), mostraron que la ganancia de peso fue significativamente mayor en los cerditos lactante que recibieron probiótico que en el control, también mejoró la conversión alimentaría.
En el estudio efectuado se comparan el BIOPRANAL en dos formas de adición y la Miel Proteica Ácida.
Biomasa proteica fresca (Bpf) BIOPRANAL obtenido en Planta piloto de 20 litros de capacidad con una composición de 12.59 % MS, 45.77 % de PB, 36.82% de PV, pH de 3.9 estabilizado a los 48 horas y la concentración de bacterias acidófilas en el cultivo de 1.3×10^{10} cel/ml con una viabilidad de los mismos del 93.5% conservado a temperatura ambiente por 7 días.
Miel Proteica Acida (MPA), medio de suministrar el Lactobacillus bulgaricus como probiótico por varios investigadores en la región central del país (probiótico comercial), para la obtención del mismo se utilizó 32% de miel final, 13 % de Levadura torula base seca y 55% de agua, se inoculo con Lactobacillus bulgaricus al 2%, el mismo se incubó a temperatura ambiente por un período de 7 días obteniéndose una composición de 34.30 % de MS, 13.91 % de PB, el pH fue de 4 y la concentración de bacilos lácticos fue de 5.0×10^9 cel/mol con una viabilidad del 92.0 % y alcanza la estabilidad del pH a las 72 horas.
Se seleccionaron 128 cerditos recién nacidos (híbridos de la raza York Shire - Hamp Shire), pertenecientes a 12 camadas con un peso promedio de 1.1 Kg. (3 camadas por tratamiento con un promedio de 10 cerditos).
Se confeccionaron 3 tratamiento, con un período de adaptación de 7 días y un peso promedio entre los grupos similares.
El primer tratamiento sirvió como control, sin suministro de ningún medio probiótico y a los tratamientos restantes se les suministró el medio probiótico una vez al día, en el horario de la mañana durante 4 semanas. Tratamiento (Bpf) (BIOPRANAL), tratamiento (Bpf)BIOPRANAL + Pienso y tratamiento (MPA).
La dosis de probiótico utilizada en todos los tratamientos de estudio fue de 5 ml al día. Para al administración del probiótico se utilizó una jeringuilla de 10 ml estéril acoplado a un capilar de venoclix, y en el grupo BpF + Pienso se suministró los 5 ml/animal en el pienso.
Los grupos fueron sometidos al mismo sistema de alimentación y manejo, según normas ramales de la agricultura, el pesaje de los animales fue realizado cada 7 días (un pesaje inicial y 5 pesajes

en la fase experimental) y el control clínico fue diario lográndose analizar cada animal independientemente pues estaban marcados.
El procesamiento estadístico de los datos primarios se ejecuta mediante el paquete de programas SPSS para Windows.

Los resultados demuestran el efecto probiótico de la biomasa proteica obtenida del cultivo mixto de levaduras y bacterias lácticas, por vía simplificada, como se infiere ya desde el análisis de los resultados que se resumen en la tabla 5.

Tabla 5. Resultado diferentes tratamientos ganancia peso y ganancia media diaria (GMD)

Tratamiento	Ganancia de peso (g)	GMD (g)
Control	3 511,04 c	125,40 c
Bpf	5 234,98 a	186,96 a
Bpf. + Pienso	4 882,29 b	162,74 b
MPA	4 730.00 b	181.92 a

Las medias con letras diferentes difieren estadísticamente ($P<0.05$)

La ganancia de peso lograda por los diferentes tratamiento muestra los mejores resultados en el tratamiento con Bpf con una ganancia de 5 234.98 g valor que difiere significativamente con los restantes tratamientos, el resto de los tratamientos no difieren entre sí, siendo todos muy superiores al control que difiere significativamente con todos. En cuanto a la ganancia media diaria de peso observamos que los mejores resultados están en Bpf y MPA los cuales no difieren entre sí, siendo diferentes al tratamiento (Bpf + Pienso), dejando de ganar 19.21 g. menos y el tratamiento control es el de peores resultados, dejando de ganar con relación al tratamiento (Bpf + Pienso) 37.34 g.

En la tabla 6 aparecen las incidencias de diarreas de los diferentes tratamientos estudiados.

Tabla 6. Incidencia de diarreas por tratamiento.

Camadas	Control	Bpf	Bpf + Pienso	MPA
1	14	4	2	2
2	9	1	3	4
3	11	2	4	3
Total	34	7	9	9

Se puede observar como en el tratamiento control presenta un total de 34 incidencias, estando distribuidos en 14, 9 y 11 en las camadas 1, 2 y 3 respectivamente, el comportamiento de este grupo fue muy superior al resto de los grupos tratados con los diferentes medios.

En la tabla 7 se reporta la incidencia de cerditos muertos por tratamiento.

Tabla 7. Incidencia de muertes en los diferentes tratamientos.

Causas de muerte	Control	Bpf	Bpf pienso	MPA
Muertes totales	14	4	5	5
Trastornos digestivos	11	0	0	0
Desnutrición	1	1	1	2
Patologías congénitas	0	1	0	1
Aplastamiento	2	2	4	2
Intoxicación	0	0	0	0

De un total de muertes en el grupo control de 14 fueron 11 por trastornos digestivos. Mientras no encontramos muertes por trastornos digestivos en los grupos tratados, que reportan además menos muertes; el Bf con 4 y el grupo con Bf + Pienso con 5 al igual que 5 en el grupo de MPA, este índice es factor fundamental para medir la eficiencia probiotica de un producto.
El otro factor a medir que hubo incidencia fue las muertes por aplastamiento las cuales fueron 2 en el control, 2 en el grupo de Bpf, 4 en el grupo Bpf en el pienso y 2 en el MPA. No hubo muerte por intoxicación. Un caso por desnutrición en cada grupo y una muerte por debilidad congénita en el grupo de Bpf y uno en el tratamiento MPA.

Consideraciones económicas sobre el BIOPRANAL

Considerando los principales índices de costo de producción del BIOPRANAL referidos por García et. al (2002a) e inversionistas según García et. al (2000) y teniendo en cuenta períodos de recuperación de la inversión de un año, al no incluir la adquisición del compresor y localizado la Planta en zonas aledañas a Centrales Azucareros de donde emplearía sus insumos de agua, electricidad, aire y vapor de ser posible y sobre la base de otros índices vigentes para el costo de materias primas y la producción de carne de cerdo, se expone a continuación un análisis económico estimado de las ventajas de negocios que encierra este producto si se emplea como fuente proteica y probiotica en la alimentación animal.

Índices tenidos en cuenta:
Cp crema: 110 $ USD/ t Bajo las siguientes restricciones: Para instalaciones de 1 m^3 de fermento/lote o 6 m^3/lote de capacidad máxima sugerida de acuerdo a las características de factibilidad biotecnológica controlable para instalaciones no estériles de este tipo.(Considerando constante el costo de producción deducido para instalaciones de 1 m^3/lote, independiente de la capacidad de producción de la Planta) y solo consumo de electricidad como fuente de energía en el proceso.

Cp Miel B: 40 $ USD/t (puede ser Miel Final , en ese caso la eficiencia es algo menor, pero el costo de producción de la miel proteica disminuye apreciablemente)

Cp Miel proteica: 0.7 (110) + 40 (0.3) = 89 $ USD/ t

Cp Carne de cerdo en pie: Costo Miel Proteica/ 0.8 = 111 $USD/t (El índice 0.8 corresponde con el costo de alimentación del cerdo y el resto 0.2 significa los otros costos adicionales: manejo de la instalación porcina, costo de preceda, y otros.

Índice de Consumo: 5 kg de M. P. / kg de carne de cerdo en pie (Considerando la M.P. preparada con Miel Final.)

Precio de venta de la carne: 1000 $USD/ t (Índice aproximado del valor de la carne ofertada a las Empresas del Turismo en el Extranjero.)

Capacidad de Instalación:

Instalación I (Un biorreact. 1 m^3 efectivo)	Instalación II (dos biorreact. 6 m^3 efectivo)
600 kg de crema /d (1 m^3 de fermento/lote)	3.6 t crema /d (18 m^3 de ferment/lote)
(171 kg carne /d)	(1.028 t carne /d)
(857.1 kg M.P./d)	(5.14 t M.P./d)

Costo producción de carne:

857.1 * 0.089 / 0.8 = 95.35 $USD/d 5.14 * 89/0.8 = 571.8 $USD/d

Ganancia:

G = Valor Venta carne – Costo de producción carne:

G= 171.42 * 1.0 $ USD/d - 95,35 $USD/d G= 1028 * 1.0 $ USD/d – 571.8 $USD/d

G= 76.07 $ USD/d G = 456.2 $USD/d

Ganancia Anual (Base 350 dias/ año)

G = 26624.5 $USD/ a G = 159670 $USD/ a

Como se desprende de los resultados económicos expuestos, es rentable para una unidad productora de carne de cerdo asumir la tecnología propuesta como una alternativa mas segura de producir carne de cerdo en especial para zonas de economía sostenible que tengan disponibles recursos mínimos. Los costos de inversión y producción son mas asequibles a instalaciones aledañas a los Centrales Azucareros por disponer de Laboratorios de Control y suministro de aire comprimido y agua potable sin costos adicionales, por lo que la inversión puede costearse en menos de un año en este caso.

Conclusiones

- El BIOPRANAL es un producto biotecnológico producido por la fermentación controlada de sustratos azucarados con consistencia cremosa, con adecuado grado de contenido proteico y materia seca, así como presencia microbiana activa que puede emplearse como suplemento proteico en la alimentación o directamente como sustancia probiótica en el tratamiento de la salud animal. Su tecnología de producción simple es idónea para instalarse en zonas de economía sostenible y su cualidad de auto-conservación le permite ser almacenada un tiempo prudencial para su posterior empleo sin afectaciones apreciables en la calidad del producto. Productos similares que reúnan simultáneamente estas cualidades y que sean obtenidos en un proceso biotecnológico compacto, no estéril y simple, no se reportan.
- Se demuestra que con el empleo del cultivo mixto de levaduras y bacterias lácticas en el proceso de fermentación se logra mantener estables los parámetros físico químicos

medidos durante el periodo experimental de 21 días y por tanto la conservación de la biomasa proteica producida.

- Se demuestra que el empleo del cultivo mixto de levaduras y bacterias lácticas logra una estabilidad del proceso tecnológico apreciable al mantener más de 50 fermentaciones sucesivas sin que se contamine el pie ni halla contaminación del medio, representa 21 días de trabajo, mientras con la tecnología actual solo se realizan alrededor de 19 fermentaciones, que representaría apenas una semana de trabajo.
- Al suministrar el BIOPRANAL como probiótico en diferentes formas a las crías porcinas lactantes directamente por vía oral o en el pienso mejoran significativamente la ganancia de peso y la ganancia media diaria.
- La incidencia de diarreas disminuyó significativamente en los grupos tratados con BIOPRANAL en cualquiera de sus formas con respecto al control. No reportándose muerte de cerditos por este concepto cuando se empleó el mismo.
- Se demuestra que se obtienen resultados similares o mejores por el BIOPRANAL en igualdad de condiciones de aplicación, que con la Miel Proteica Ácida reconocida por sus efectos probioticos y empleada como referencia comparativa en el estudio, lo que confirma la efectividad del nuevo producto.

Referencias

1. AOAC (1990) " Official Methods of Analysis" 15 th Edition. Association of official and Analitical Chemist. Washington DC. USA
2. Abe, F.; Ishibashi, N. and Shimamura, S. (1995) Effect of administration of bifidobacteria and lactic acid bacteria to newborn calves and piglets. Journal of Dairy Science. 78(12): 2838-46.
3. Abe, F., Ishibashi, N. and Shimamura, S. (1996) The effect of administration of bifidobacteria on the intestinal flora and growth of newborn piglets. J. Gen. Appl. Microbiol. 42: 257- 62.

4.- García, A., Herrera, N., Marín, A., Brunet, T. y Díaz, I.(1998) Desarrollo de la tecnología de producción de biomasa proteica para la alimentación animal en zonas de economía sostenible. Revista Centro Azúcar. Mayo-Agosto. Año 25, # 2. pag. 18-24.

5.- García A., Marín A., Herrera, N., Gómez, L., Marrero, L., Zumaquero O., (2000) "Producción de alimento animal por vía fermentativa a partir de sustratos y residuos de la Industria Azucarera" Informe Final Proyecto CITMA Territorial Provincia Villa Clara. Cuba

6.- García A., Marín A., Herrera, N., Gómez, L., (2002a) "Perfeccionamiento de la tecnología simplificada de producción de biomasa proteica." MEMORIAS CD " 48 Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba (ATAC)." 13 -15 Noviembre Ciudad de la Habana. Cuba.

7.- Garcia, A., Marín A., Herrera, N., (2002b) " Perfeccionamiento del proceso de producción de biomasa proteica a partir de un cultivo mixto de microorganismos" ." MEMORIAS CD " VII Congreso Internacional de Diversificación sobre Azúcar y derivados de la caña de azúcar" 17 - 21 Junio. C. Habana. Cuba

8.- González, J. (1993) II Encuentro Regional de Nutrición y Alimentación de Monogástricos. ICA. Cuba.

9.- González et al. (1989)"Método de conservación de la crema de levadura y la miel proteica."Informe final de investigación. UCLV. (1989)

10.- Herrera, N. Díaz, I. (1998) Evaluación de métodos de conservación de biomasa proteica. Revista Centro Azúcar. Año 25.N^{ro}1. Ene-Abril. 24 -29

11.-Hooper, P. (1989) The role of probiotics (Intestinal inoculants) in production animals. Proceedings. World association of veterinary food Hygienists Xth (Jubilee) International

Symposium. Stockholm. P. 27-30; 2-7 July.
12.-López, J.L., R. Pérez, F. Toriza, J.R. Machado y N. Mazorra. (1998) Biomasa proteica semirustica. Una opción al productor de cerdos. Recopilación de los resultados obtenidos por el CIBA. 5 Aniversario.
13.-Marín A**.,** García A., Manso M. J(2003) "Estudio del posible efecto prebiótico de la biomasa obtenida por la tecnología simplificada en cerdos lactantes. "II Symposium de Biotecnología para la producción de alimento animal. BIOPRODA 2003. Instituto de Ciencia Animal. Habana. Cuba. Junio 17 – 19. 2003.
14.-Marín Cárdenas A.,García Rodríguez **A**.,.Herrera Coello N., (2003a) "Estudio de conservación de la crema biomasa proteica obtenida por la tecnología simplificada para zonas de economía sostenible." Memorias CD. II Conferencia Internacional de Química de la Universidad Central de las Villas. Santa Clara. Cuba. Junio 4– 6
15.-Pérez, R; Felicia Toriza; Mustafá, F; Dulce González; Pérez, J.L. y Ángela Borroto. (1998) "Tecnología de la producción de biomasa proteica semirrústica." Recopilación de los resultados obtenidos por el CIBA. pp.54-56.
16.-Rodríguez, M. L. (1994) Bacterias productoras de ácido láctico: Efecto sobre el crecimiento y la flora intestinal de pollos, gazapos y lechones. –Tesis de Doctorado; Universidad Complutense (Fac. Veterinaria) Madrid.
17.-Toriza, F. R. Pérez. J. Mustafá. J.L. López. Borroto. A. y Dulce González. (1998) "Estudio del tiempo de conservación de la crema de biomasa proteica empleando diferentes aditivos." Recopilación de los resultados obtenidos por el CIBA. 5 Aniversario.
18.-Tortuero, F.; Riopérez, J.; Martín, L. y Viñaras, R. (1993) " Bacillus cereus y virgniamicina en dietas para lechones". Arch. Zootecnia (143): 67-75.

OBTENCIÓN DEL PRINCIPIO FARMACÉUTICO ACTIVO 2-BROMO-5-(2-BROMO-2-NITROVINIL)-FURANO DERIVADO DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

Teófilo Exíquio Gaitán Placeres[(1)], Nilo Castañedo Cancio[(1)], Blanca Hernández Martínez[(2)], Gisela Peralta Meseguer[(2)]y Zenaida Rodríguez Negrín[(1)].

(1) Centro de Bioactivos Químicos, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
(2) Facultad de Química Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
Dirección postal: Toscano no. 828 entre Capitán Velasco y Blanca Pérez.
E-mail; egaytan@cbq.uclv.edu.cu

Resumen

Se reporta el estudio de las condiciones óptimas para la obtención de un compuesto biológicamente activo con potente acción combinada bactericida- fungicida a partir del furfural. Este último se obtiene de los desechos de celulosa de la industria azucarera.
El procedimiento de obtención implantado mediante la aplicación del diseño experimental y la operación evolutiva consiste en la bromación y la deshidrobromación de una materia prima (G-0) que se obtiene por condensación del furfural con nitrometano. Después de un conjunto de operaciones químico-tecnológicas, el producto puro obtenido con calidad farmacéutica está apto para la preparación de formulados aplicables en el tratamiento de afecciones de origen bacteriano y fungoso.
El procedimiento ha sido validado por técnicas estadísticas y computacionales de control de la calidad y patentado tanto nacional como internacionalmente. Existe una planta de producción del producto en el Centro de Bioactivos Químicos.

Palabras claves:
bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano, síntesis química, estabilización de proceso.

SYNTHESIS OF THE ACTIVE PHARMACEUTICAL PRINCIPLE 2-BROMINE-5-(2-BROMINE-2-NITROVINIL)-FURAN DERIVED OF THE SUGAR INDUSTRY

Teófilo Exíquio Gaitán Placeres[(1)], Nilo Castañedo Cancio[(1)], Blanca Hernández Martínez[(2)], Gisela Peralta Meseguer[(2)]y Zenaida Rodríguez Negrín[(1)].

(1) Chemical Bioactives Center, Central University "Marta Abreu" of Las Villas.
(2) Faculty of Chemistry and Farmacy, Central University "Marta Abreu" of Las Villas.
Postal address: Toscano No. 828 e/ Capitan Velasco and Blanca Pérez.
E-mail; egaytan@cbq.uclv.edu.cu

Summary

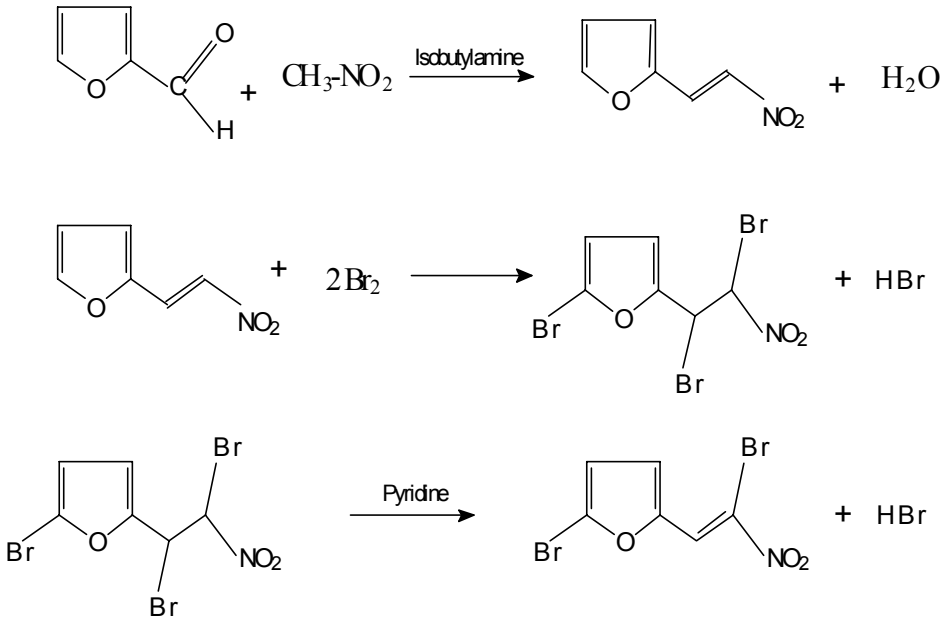
The study of the best conditions is reported for the obtaining of a biologically active compound with potent action combined germicide - fungicide starting from the furfural. This last one is obtained of the waste of cellulose from sugar industry.
The obtainment procedure implanted by means of the application of the experimental design and the evolutionary operation consists on the bromination and dehidrobromination of a matter it prevails that one obtains for condensation of the furfural with nitrometane. After a group of chemical-technological operations, the pure product obtained with pharmaceutical quality is capable for the preparation of having formulated applicable in the treatment of affections of bacterial and fungous origin.
The procedure has been statistically tested with the aids of computing program of quality control and patented so much national as internationally. A chemical workshop for production of the same one at Bioactive Chemical Center was installed.

Key words:
Bromine-5-(2-bromine-2-nitrovinil)-furan, chemical synthesis, process stabilization.

Introducción

Cuba, es un país con pocos recursos naturales y una industria química que comparada con otras naciones desarrolladas del primer mundo, no cuenta con las capacidades industriales instaladas de aquellos. En el mercado de medicamentos se han realizado considerables esfuerzos para alcanzar niveles de excelencia en los campos de la biotecnología y la producción de fármacos por vía sintética partiendo de fuentes nacionales.
Una de las materias primas más importantes con que cuenta la nación es el cultivo de la caña de azúcar y a partir de esta han sido desarrolladas tecnologías para la producción de rones, aguardientes, tableros de bagazo, muebles, alimento animal, nutrientes para los suelos cultivables y como aspecto novedoso se debe incluir la industria de los derivados por vía químico-sintética.
Es conocido que el furfural es uno de los compuestos químicos de amplio empleo en la industria química mundial, siendo posible su obtención en Cuba a partir de los desechos de la cosecha de la caña de azúcar.

El Centro de Bioactivos Químicos de Villa Clara adscrito a la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas está dedicado a la investigación-producción y comercialización de sustancias biológicamente activas a partir del furfural como materia prima esencial. El referido centro cuenta con una amplia gama de productos, dentro de los cuales se destaca el 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano cuya potente acción bactericida-fungicida ha motivado su comercialización en las esferas de sanidad animal y vegetal. Este resultado fue obtenido por Castañedo (1995). En los últimos años han sido registrados dos formulados que contienen este principio activo: el vitrofural empleado como esterilizante químico de vitroplantas el que ha sido registrado por Castañedo y colaboradores(1999) y el queratofural utilizado en el tratamiento de afecciones en animales, registrado también por Castañedo y colaboradores (1993).
El presente trabajo está encaminado a ilustrar el procedimiento general y las características esenciales del referido compuesto conocido como G-1.
Las reacciones principales que ocurren en el proceso de síntesis son las siguientes:



Materiales y Métodos

Los reactivos principales empleados en el proceso tecnológico son: G-O, furfural, bromo, disulfuro de carbono anhídrido acético, piridina y carbón activado, alcohol etílico etc., todos de calidad certificada.

La metodología consiste en bromar el 2-(2-nitrovinylfurano), usando disulfuro de carbono como disolvente, en presencia de carbón activado, durante determinado tiempo. El licor obtenido, aún en presencia de carbón activado, es sometido a un proceso rápido de deshidrobromación, con una mezcla de piridina en disulfuro de carbono y posteriormente se diluye con otra mezcla de etanol y anhídrido acético. A este proceso le sigue el aumento de la temperatura del sistema, y una vez alcanzado el valor prefijado para este parámetro se procede a la eliminación de la impureza

principal acompañante. Concluido este paso se realiza el de control analítico y se procede a separar el carbón y las impurezas restantes mediante filtración a presión reducida.

El licor de síntesis así obtenido se deja enfriar para que ocurra el proceso de cristalización y luego de transcurrido el tiempo establecido se procede a su separación mediante centrifugación. Esta masa de 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano se purifica por adsorción con carbón activado en etanol clase A, a una temperatura de alrededor de 70 ºC y un tiempo de contacto también establecido. La mezcla es filtrada a la temperatura referida y con presión reducida para eliminar los restos de carbón junto a las impurezas adsorbidas.

El líquido que contiene el 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano de calidad técnica es sometido a un proceso de enfriamiento para lograr la cristalización del principio activo.
Luego se filtra y la masa cristalina en forma de agujas amarillas se somete a un último y único proceso de recristalización, de modo que se obtiene el producto puro, el cual se somete a secado, tamizado, envase y al proceso de cuarentena hasta que es emitido el certificado de control de la calidad.

La síntesis fue realizada a diferentes escalas hasta llegar a los niveles de producción actuales.
La búsqueda inicial de condiciones se efectuó mediante el empleo de un diseño de experimentos del tipo 2^{9-5}, factorial fraccionado, y posteriormente fueron ejecutados distintos ciclos de EVOP de acuerdo con los criterios de Box (1969) para alcanzar las condiciones óptimas de operación.
Las relaciones de contraste correspondientes al diseño mencionado se expresan por:

$\mathbf{X_5 = X_2 X_3}$
$\mathbf{X_6 = X_2 X_3 X_4}$
$\mathbf{X_7 = X_2 X_4}$
$\mathbf{X_8 = X_1 X_2 X_3}$
$\mathbf{X_9 = X_1 X_3 X_4}$

Los factores y niveles correspondientes se relacionan en la tabla siguiente:

Tabla I:Factores y niveles de las variables empleadas en términos codificados adimensionales.

Código	**X_1**	**X_2**	**X_3**	**X_4**	**X_5**	**X_6**	**X_7**	**X_8**	**X_9**
Variable	**CS_2**	**Carbón activado**	**T síntesis**	**Br_2**	**t de reacción**	**Piri./CS_2**	**ETOH/ An. Acet.**	**Br_2**	**T Filtración**
N S	233.94	233.62	24.11	233.86	23.57	210/13.3	201/13	20.57	24.20
N I	125	12.90	12.94	13.18	13.41	201/13.09	201/0.0	0.00	12.96

Factores constantes:

- Masa de G-0.
- Tiempo de deshidrobromación.
- Temperatura de filtración para separar el carbón de síntesis
- Temperatura, tiempo de contacto y volumen de etanol empleado en la purificación con carbón activado.
- Porcentaje de de carbón activado empleado para purificar
- Volumen de etanol utilizado en la recristalización
- Temperatura de recristalización
- Secado durante 2.5 horas a temperatura y tiempo controlados

Como función respuesta fue seleccionad la pureza del producto puro

Después de alcanzadas las condiciones óptimas se realizaron 113 síntesis para verificar la aptitud del proceso; de ellas se seleccionaron 35 para evaluar la pureza empleando la técnica de HPLC.

Resultados y Discusión

Al procesar estadísticamente los resultados del diseño 2^{9-5} se comprobó que ninguno de las variables ejerce efecto significativo sobre el proceso, tabla II.

Tabla II: Resultados del análisis de varianza del diseño 2^{9-5}

Efectos principales	Valor-P
A: Bromo	0,8614
B: Tiempo de reacción.	0,9358
C: Etanol /Anhídrido acético	0,9420
D: Bromo final	0,2060
E: piridina/ CS_2	0,5974
F: Temperatura filtración.	0,6254
G: CS_2	0,7351
H: carbón activado	0,8294
I: Temperatura de síntesis .	0,8704

El modelo polinomial puede representase por:

$$\mathbf{Rp = 15{,}63 + 1{,}005 * CS_2 - 1{,}175 * C + 0{,}92 * Tsint. + 0{,}234 * Br_2 + 2{,}172 * t\ reacción - 0{,}216 * Pir/\ CS_2 + 0{,}481 * EtOHAn.Acect - 0{,}205 * Br_2 fin. + 1{,}206 * Tfilt.}$$

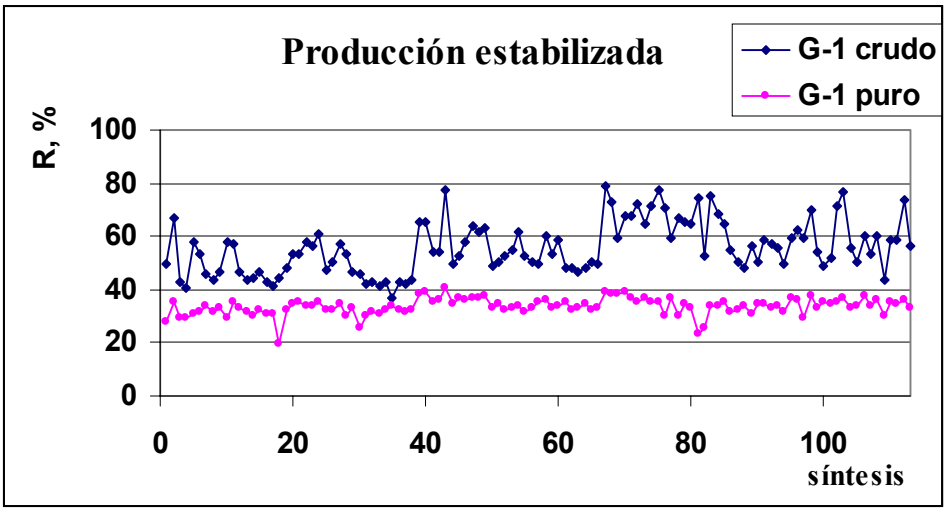
Los coeficientes de este polinomio que son estimadores de los efectos principales y combinados se relacionan a continuación:

$b_0 = \beta_0$
$b_1 = \beta_1 + \beta_{247} + \beta_{238} + \beta_{349}.$
$b_2 = \beta_2 + \beta_{35} + \beta_{346} + \beta_{47} + \beta_{138} + \beta_{567}$
$b_3 = \beta_3 + \beta_{25} + \beta_{246} + \beta_{128} + \beta_{149}$
$b_4 = \beta_4 + \beta_{236} + \beta_{27} + \beta_{139} + \beta_{56}$
$b_5 = \beta_5 + \beta_{23} + \beta_{46} + \beta_{267}.$
$b_6 = \beta_6 + \beta_{234} + \beta_{45} + \beta_{257}.$
$b_7 = \beta_7 + \beta_{24} + \beta_{256}.$
$b_8 = \beta_8 + \beta_{123}.$
$b_9 = \beta_9 + \beta_{249} + \beta_{134}.$

Con la ayuda de este modelo se efectuó el recorrido de la máxima pendiente llegándose a las mejores condiciones de trabajo. En esas condiciones se comprueba que el proceso de bromación se efectúa sin grandes efectos exotérmicos, la deshidrobromación del intermediario es rápida y se reduce considerablemente el tiempo de reacción. Este procedimiento fue registrado por Gaytán (2000-01) como patente e invención en Cuba y otros países.

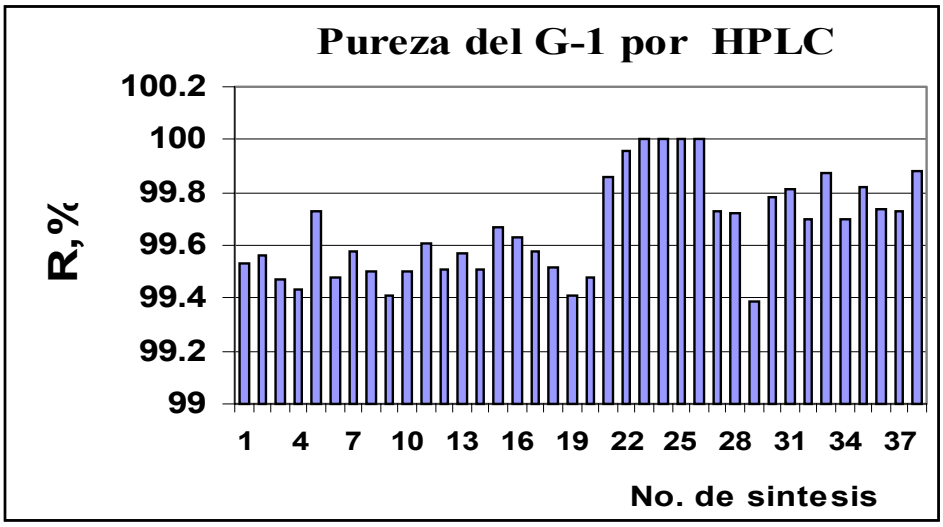
Después de aplicado el principio de la máxima pendiente, optimizados los valores de las variables y parámetros del proceso, se procedió al escalado de la tecnología. La figura 1 muestra el comportamiento de las 113 síntesis realizadas a escala tecnológica respecto al rendimiento del producto crudo y purificado.

Figura 1: Gráfico de control de la producción de G-1



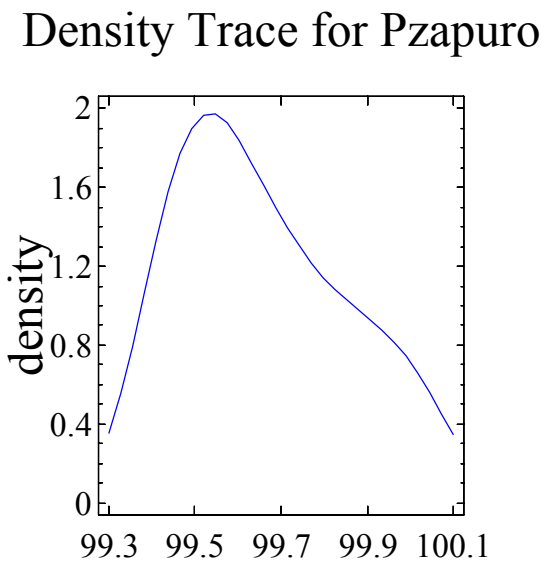
Los porcentaje de pureza de 35 síntesis tomadas al azar se representan mediante un gráfico de barras, figura 2.

Figura 2: Comportamiento de la pureza de los lotes de G-1



El tratamiento estadístico demuestra que la pureza del producto puro cumple con una distribución normal representada por los siguientes estadígrafos y gráficos.

Figura 3: Distribución de la pureza del producto puro



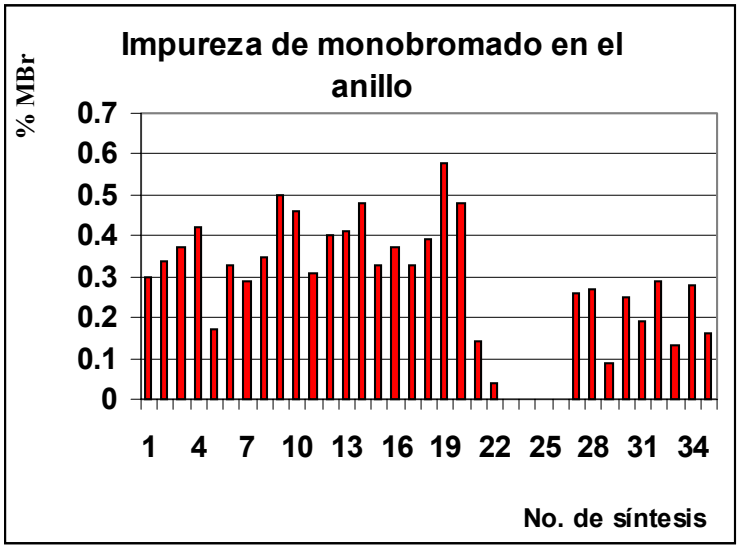
Los estadígrafos que justifican este comportamiento aparecen el la tabla III

Tabla III: Resultados estadísticos de la prueba de normalidad de la pureza del G-1

Estadígrafo(n=35)	**Valor**
Media,%	99.658
Varianza	0.036
Desviaron estándar	0.190
Mínimo,%	99..39
Máximo,%	100.00
Rango	0.61
Asimetría estandarizada	1.261
Curtosis estandarizada	-1.067

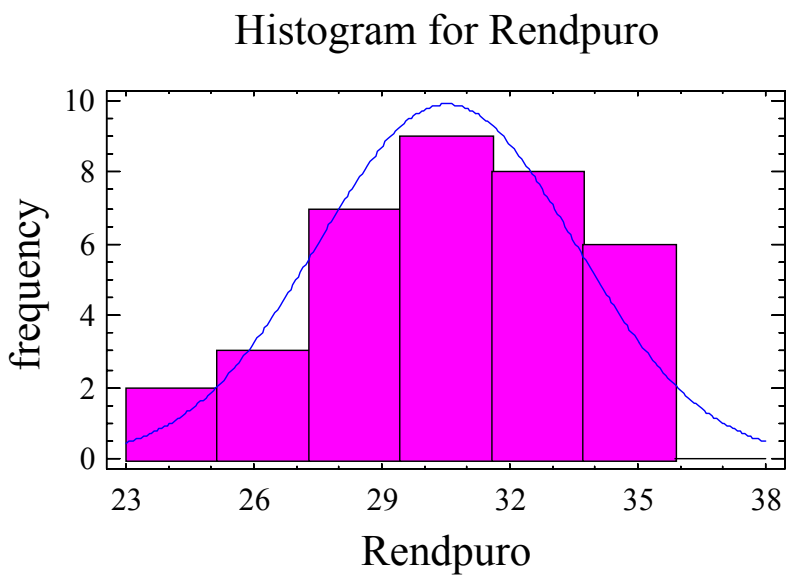
La metodología empleada permite mantener la impureza principal (monobromado en el anillo) de la producción de G-1, por debajo del 1% , figura 3.

Figura 4: Contenido de la impureza principal del G-1 purificado



El rendimiento del producto purificado correspondiente a la evaluación de la aptitud del proceso, para las síntesis seleccionadas, también obedece a una distribución normal, lo cual se evidencia en la figura 5.

Figura 5: Histograma de frecuencias para el rendimiento puro



Conclusiones

1.-Ha quedado establecida una nueva metodología para la obtención del ingrediente biológicamente activo 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano la cual esta protegida mediante patente de invención en diversos países.
2.-Se demuestra que la industria químico-sintética cubana tiene amplias posibilidades de obtener sustancias de uso farmacéutico a partir de derivados de la cosecha de la caña de azúcar.

Bibliografía

1. Castañedo, N. y otros (1995) ,*Obtención y acciones como microcida del 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano* , concedida en Cuba No.2246, Japón No.3043003 y No.2875969, Canadá No.2 147 594, Europa No.95500056.7.
2. Castañedo, N. y otros (1993), *Registro de Queratofural*, N°211, C.B.Q., U.C.L.V. , Cuba.
3. Castañedo, N. y otros (1999), *Registro de Vitrofural*, N° 013, C.B.Q., U.C.L.V., Cuba.
4. Box, E .P., Drapper. N.R (1969). *Evolutionary Operation.* Ed. John Wiley and Sunshine. N.Y.
5. Gaitán, E., Castañedo, N. (2000-2001)., *Nuevo procedimiento para la obtención del 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano1*, concedida en Cuba No.0008, Japón No.553758 y No.2875969, USA No.10/181, 541., Europa No.019426238, México No. 007064 y Brasil No. 0107723-6.

ESTUDIO DE LA HIDRÓLISIS DEL BAGAZO CON ACIDO SULFURICO CONCENTRADO PARA LA OBTENCION DE ETANOL.

STUDY OF BAGASSE'S HYDROLISYS USING CONCENTRATED SULFURIC ACID FOR ETHANOL OBTENTION.

Autores: Msc. Boutros Fouad sarrouh, Dra. Josefina Jover, Lic. Guillermin Agüero y Dr. Sc. Erenio González.

Universidad Central de Las Villas, Facultad de Química-Farmacia,
E-mail: jjover@qf.uclv.edu.cu, bsarrouh@yahoo.com

Resumen.

En este trabajo se realiza a escala de laboratorio el proceso de hidrólisis ácida del bagazo utilizando ácido sulfúrico concentrado en una sola etapa y en una etapa modificada, esta última incluye dilución del ácido y aumento de la temperatura con el propósito de obtener mayores conversiones de azúcares fermentables. Para el estudio, se realizaron experimentos preliminares donde se analizó la influencia de tres variables independientes: tiempo de reacción, % de sólidos del bagazo y la temperatura sobre el proceso de hidrólisis en una sola etapa utilizando ácido sulfúrico concentrado al 70% y bagazo molido a un tamaño de partícula de 2mm. Las conclusiones extraídas de los ensayos preliminares condujeron a un diseño factorial 2^3 para efectuar un análisis de tendencia del proceso así como esclarecer mejor la relación entre las variables y su influencia sobre el proceso de conversión. Los resultados se procesaron utilizando el programa Statgraphics plus 4.1, obteniendo para este proceso una máxima conversión de 87.65% de azúcares fermentables, utilizando ácido sulfúrico al 70%, 2 % de sólidos y una temperatura de 50°C durante 1hora de reacción. A partir de estos resultados se llevó a cabo la hidrólisis del bagazo utilizando el proceso modificado. Se hidrolizó el bagazo con ácido sulfúrico concentrado al 70%, empleando 2% de sólidos a 50°C durante 20min, seguidamente se realizaron diferentes diluciones del ácido llevándolo a concentraciones de 40%, 35% y 30% respectivamente, la temperatura se elevó a 80°C durante una 1hora total de reacción.
Los resultados obtenidos se analizaron usando el programa EXCEL y la mejor conversión fue de 97.5% de azúcares fermentables a una dilución del ácido del 30%.

Palabras claves: hidrólisis ácida, bagazo, etanol.

Abstract

This work is about bagasse's acid hydrolysis process in only one step and in a modified step utilizing concentrated sulfuric acid, the last one include acid dilution and temperature increscent with the aim of reaching higher fermentative sugar conversions. Some previous experiments were done during the study, where the influence of three independent variables: reaction time, solid % of bagasse and temperature was analyzed on the hydrolysis process in only one step using concentrated sulfuric acid at 70% and grounded bagasse at a particle size of 2mm. These previous results led to a 2^3 factorial design and results were

processed through Statgraphics plus 4.1. The best obtained result was a conversion of 87.65% of fermentative sugars utilizing sulfuric acid at 70% with 2% of solids and a temperature of 50 ^{o}C during 1hour. Starting from these before results, bagasse hydrolysis was carried out using the modified process. Bagasse was hydrolyzed with sulfuric acid at 70%, using solid at 2% and 50 ^{o}C during 20 minutes, afterwards different acid dilutions were made, getting it at concentrations of 40%, 35% and 30%, temperature was increased at 80 ^{o}C up to 1 hour of reaction. Obtained results were analyzed using EXCEL program and the best conversion was 97.5% of fermentative sugars with an acid dilution at 30%.

Key words: acid hydrolysis, bagasse, ethanol.

Introducción

Se realizó un estudio experimental a escala de laboratorio sobre la hidrólisis del bagazo con ácido sulfúrico concentrado con el propósito de investigar la posibilidad de obtener una elevada conversión de bagazo a azúcares fermentables para un posterior fermentación a etanol. La investigación se realizó por el método de ácido sulfúrico concentrado en una sola etapa y éste modificada debido a que en dicho proceso se obtiene altos rendimientos y se ahorra etapas del proceso

Materiales y Métodos.

Materia Prima

El bagazo se tomó como materia prima lignocelulósica para efectuar la hidrólisis ácida concentrada debido a su abundancia y disponibilidad en Cuba así como a su rica composición en celulosa y hemicelulosa.
El bagazo bajo estudio se molió usando un molino de discos a un tamaño de 2mm, refiriéndonos al tamaño de partícula según la patente de *Clausen (1998)*.
La humedad del bagazo se determinó usando una estufa balanza infrarroja del tipo Sartorius (Alemán); donde se construyó la curva de la humedad, Peso vs Temperatura, y se realizaron los cálculos del % sólidos y % humedad según la ecuaciones 1 y 2.

% sólidos = Peso final/ Peso inicial *100 (1)
% humedad = (1- Peso final/Peso inicial)* 100 (2)

Determinación de azúcares totales

Los azúcares totales se determinaron utilizando el método fotocolorimétrico fenol – ácido sulfúrico desarrollado por *Jeffries (1987)*, para el cual se realizó una curva de calibración (absorbancia vs concentración), utilizando soluciones patrones de glucosa en un rango de concentraciones convenientes para nuestro análisis en relación a las concentraciones de las muestras hidrolizadas y que además cumplieran con la condición de linealidad del método.
Los datos para la curva se procesaron en el programa estadístico Statgraphics Plus 4.1 y la ecuación resultante del modelo ajustado de la curva de calibración fue:

Absorbancia = 0.0362836 + 8.78073*Concentración

Por tanto midiendo la absorbancia en cada muestra se pudo calcular la concentración de azúcares según la ecuación anterior y de allí se calculó el % de conversión de la celulosa y hemicelulosa a azúcares fermentables.
El % de conversión del bagazo a azúcares fermentables se calculó según la ecuación siguiente:

$$\% \text{ Conversión} = \frac{\text{Cantidad de azúcares calculada.}}{\text{Cantidad de azúcares teóricos.}} * 100 \qquad (3)$$

Método hidrólisis del bagazo con ácido sulfúrico concentrado en una sola etapa
En este proceso se partió de una solución del ácido sulfúrico concentrado al 93% y la cantidad de agua necesaria para llevar la concentración del ácido al 70% y para además asegurar el porcentaje de sólidos deseado teniendo en cuenta la humedad del bagazo. Para conocer estas cantidades se acudió a un balance de materiales hecho por el laboratorio de Energía Renovable NREL en Estados Unidos para tales fines.

Cantidad de ácido sulfúrico concentrado (93%) =

$$\frac{\text{Masa}_{\text{bagazo}} * (1\text{-}\% \text{ Humedad})}{\% \text{ Sólidos}} * (1\text{-}\% \text{ Sólidos}) * \text{Conc}H_2SO_4\,(70\%) * 1/\text{Conc } H_2SO_4(93\%) \qquad (4)$$

Donde:

$$\textbf{Cantidad de Solución Final} = \frac{\text{Masa}_{\text{bagazo}} * (1\text{-}\% \text{ humedad})}{\% \text{ sólidos}} * (1\text{-}\% \text{sólidos}) \qquad (5)$$

Cantidad de Agua de Dilución = Cantidad de solución final – Cantidad de ácido sulfúrico (93%) – Masa $_{bagazo}$* Humedad. (6)

A dicha solución, se le adicionó el bagazo, se mezcló bien y se dejó reaccionar, manteniéndolo a una temperatura fija. Las muestras se tomaron a los 10min, 20min, 40min 60min y 90min, se filtraron y se guardaron en frascos para un posterior análisis según el método analítico antes mencionado.
Para los experimentos preliminares se llevaron a cabo 3 variantes para analizar el nivel de influencia sobre el porcentaje de conversión del proceso. En cada variante se varió cada una de las variables en un rango de acuerdo con los valores reportados en la literatura como se muestra a continuación.

Variante #1
masa $_{bagazo}$ = 2g, % sólidos = 2%, humedad = 9.4%, temperatura = 30°C, 50° C y 70° C

Variante # 2
masa $_{bagazo}$ = 5g, % sólidos = 5%, humedad = 9.4% y temperatura = 50° C y 70° C

Variante # 3
masa $_{bagazo}$ = 10g, % sólidos = 10%, humedad = 9.4% y temperatura = 30°C, 50°C y 70°C.

Método hidrólisis ácida concentrada del bagazo en una sola etapa modificada
Según el análisis de tendencia hecho y los resultados obtenidos anteriormente para el proceso de una sola etapa se tomaron las mejores condiciones de trabajo donde se lograron los mayores % de conversiones para realizar el proceso modificado.
Para este método se procedió según la patente publicada por *Clausen (1998)*. Se preparó una solución de ácido sulfúrico concentrado al 70% utilizando el balance de materiales antes mencionado y se tomaron 2g de bagazo para asegurar un 2% de sólidos en la reacción. A la solución de H_2SO_4 al 70%, se le adicionaron los

2g del bagazo, se mezclaron bien y se dejaron reaccionar, manteniendo la temperatura a 50°C. La primera muestra se tomó a los 20 minutos y se filtró. Después de tomar la primera muestra el H_2SO_4 concentrado al 70% se diluyó a 40%, 35% y 30%). Se elevó la temperatura a 80°C y se dejó reaccionar. A los 30min se tomó la segunda muestra y luego se tomaron otras a los 40min y 60min, se filtraron y se guardaron en frascos para su posterior análisis.

Variante A
masa $_{bagazo}$ = 2g, % sólidos = 2%, humedad = 9.4% y conc(H_2SO_4) =70% a temperatura 50°C, se diluye a 40% y se eleva la temperatura a 80°C hasta completar 1 hora.

Variante B
Masa $_{bagazo}$ = 2g, % sólidos = 2%, humedad = 9.4% y conc(H_2SO_4) =70% a temperatura 50°C, se diluye a 35% y se eleva la temperatura a 80°C hasta completar 1 hora.

Variante C
Masa $_{bagazo}$ = 2g, % sólidos = 2%, humedad = 9.4% y conc(H_2SO_4) =70% a temperatura 50°C, se diluye a 30% y se eleva la temperatura a 80°C hasta completar 1 hora.

Discusión de los resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos en los ensayos prelimares para la hidrólisis del bagazo en una sola etapa para las variantes 1, 2 y 3 en las Tabla I, II y III respectivamente.

Tabla I. Relación entre la temperatura (30ºC, 50ºC y 70ºC), % de sólidos (2%) y 70% ácido sulfúrico con el % de conversión

Tiempo de reacción	% Conversión/30ºC	% Conversión/50ºC	% Conversión/70ºC
10min	15.8 %	69.23%	67.43%
20min	34.5%	77.9%	77.18 %
40min	58.7%	85.8%	81.15 %
60min	67.43%	88.0%	84.4 %
90min	68.5%	86.4%	83.7 %

Tabla II. Relación entre la temperatura (50ºC y 70ºC), % de sólidos (5%) y 70% ácido sulfúrico con el % de conversión

% conversión/50ºC	% conversión/70ºC	Tiempo de reacción
44.2%	61.3%	10min
52.6%	66.0%	20min
58.2%	72.0%	40min
74.7%	73.3%	60min
73.6%	67.9%	90min

Tabla III. Relación entre la temperatura (30ºC, 50ºC y 70ºC), % de sólidos (10%) y 70% ácido sulfúrico con el % de conversión

% conversión/30ºC	% conversión/50ºC	% conversión/70ºC	Tiempo de reacción
30.0 %	40.1%	54.0%	10min
41.0%	47.0%	58.6%	20min
47.7%	53.3%	61.2%	40min
54.0%	61.0%	68.5%	60min
55.7%	67.0%	62.6%	90min

Los mejores resultados fueron obtenidos a la temperatura de 50ºC ya que a 70ºC el % de conversión a azúcares fermentables disminuyó ligeramente debido a la formación de productos de degradación. En la Tabla IV se muestra los resultados comparativos a 2%, 5% y 10% de sólidos a 50°C con 70% de ácido sulfúrico y para ilustrar mejor el efecto del % de sólidos en la conversión del bagazo en azúcares fermentables se muestra el gráfico en la figura 1.

Tabla IV. Relación entre 2%, 5%, y 10% de sólidos a 50°C y 70% ácido sulfúrico con el % de conversión

10% sólidos, % conversión	5% sólidos, % conversión	2% sólidos, % conversión	Tiempo de reacción
40.1%	44.2%	69.23%	10min
47.0%	52.6%	77.9%	20min
53.3%	58.2%	85.8%	40min
61.0%	74.7%	88.0%	60min
67.0%	73.6%	86.4%	90min

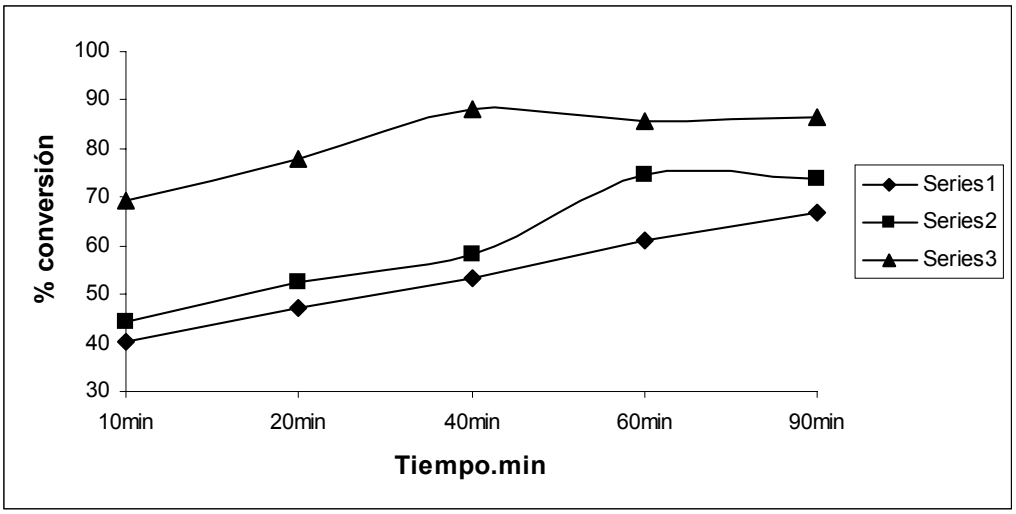


Fig. 1 El efecto del % de sólidos en la conversión. Serie1= 10% sólidos, Serie2 =5% sólidos, Serie3= 2% sólidos.

En la Tabla IV y la Fig.1 se observa que con 2% de sólidos a 50°C la reacción rinde un % de conversión más elevado que cuando se emplean otros porcentajes de sólidos (5% y 10%). Se evidencia que el aumento de la conversión está relacionado con la disminución del porcentaje de sólidos debido a que a menor porcentaje de sólidos hay una mayor superficie de contacto entre el ácido y el bagazo, lo que posibilita una mejor hidrólisis y conversión del bagazo a azúcares fermentables, además que se obtienen menos productos de degradación debido a las condiciones más suaves de trabajo (2% de sólidos y 50°C).

A partir de estos resultados preliminares del proceso de hidrólisis del bagazo con ácido sulfúrico concentrado en una sola etapa se realizó un diseño experimental donde se procesó en el programa estadístico Statgraphics Plus 4.1 con el propósito de efectuar un análisis de tendencia del proceso y poder analizar el comportamiento del proceso y las interacciones entre las diferentes variables y su influencia en el % de conversión desde el punto de vista estadístico. Por lo que se realizó un diseño factorial 2^k; donde se tienen tres variables de entrada (k=3), la temperatura, el porcentaje de sólidos y el tiempo además una variable respuesta que es el % de conversión del bagazo a azúcares fermentables. Se realizaron 2 réplicas para cada experimento por lo que se tuvieron 16 corridas en el diseño.

A continuación se ofrece la matriz del diseño experimental (Tabla V).

Tabla V. Matriz del diseño experimental

experimentos	Temperatura (^oC)	Tiempo (min)	% sólidos	% Conversión
1	70	60	5	73.6
2	70	20	2	80.7
3	70	20	5	67
4	50	60	2	87.3
5	70	60	2	84.76
6	50	60	5	74.7
7	50	20	5	50.94
8	50	20	2	77.2
9	70	20	5	63.3
10	50	60	5	72.8
11	50	20	5	53.3
12	70	20	2	78.26
13	50	20	2	78.6
14	70	60	2	84
15	50	60	2	88.37
16	70	60	5	74.7

La ecuación del modelo ajustado de las variables codificadas es:
$Y = 74.3456 + 1.44437*X1 + 5.68313* X2 - 8.05313* X3 - 2.20813* X1* X2 + 1.91312* X1* X3 + 1.97437* X2* X3.$

Donde:
X1 = temperatura (^oC), X2 = tiempo (min), X3 = % sólidos y Y = % de conversión en azúcares fermentables.

Se realizó un análisis de varianza para la conversión el que arrojó un coeficiente de correlación (R-cuadrado) ajustado a 97.17%, con un nivel de confianza del 95%. Los valores de P-Value para todas las variables independientes del proceso resultaron menor que 0.05, por lo que todas las variables estudiadas fueron significativas. Del análisis estadístico realizado se obtuvo la ecuación del modelo matemático del proceso, el cual se mostró anteriormente. Partiendo de este modelo matemático se realizó un análisis de las interacciones

de las variables y su nivel de influencia en dicho proceso. A continuación se ofrecen las figuras 2 y 3 para el análisis de la influencia de las diferentes variables (% sólidos, temperatura, tiempo) sobre el % de conversión y del estimado superficie-respuesta.

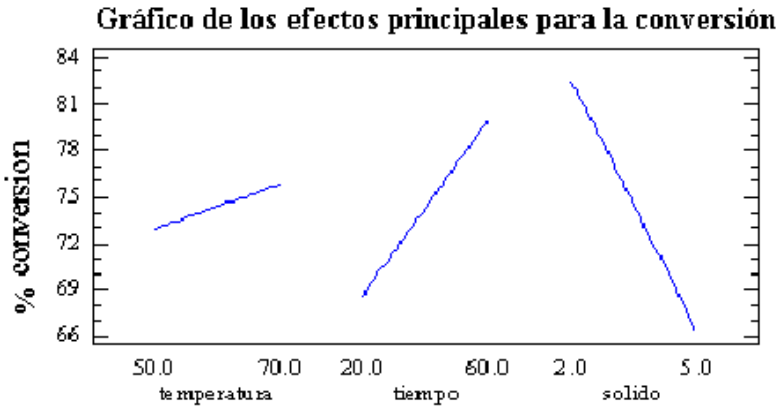


Fig. 2 La influencia de las variables independientes sobre el % de conversión

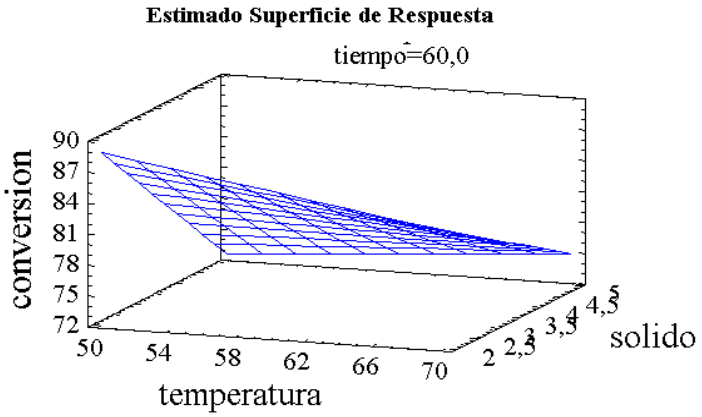


Fig.3 La superficie de respuesta de las tres variables (% conversión, temperatura, tiempo), fijando el tiempo de reacción

En las Fig. 2 y 3 se observa que un aumento en el % de sólidos conlleva a una disminución del % de conversión (los mejores resultados fueron obtenidos a 2% de sólidos), lo que puede explicarse que a mayor cantidad de bagazo (alto % sólidos) en un volumen fijo de ácido sulfúrico se dificulta la acción del ácido para penetrar en las fibras del bagazo. La disminución de superficie de contacto entre el ácido y el bagazo no asegura una hidrólisis efectiva del bagazo, rindiendo una baja conversión de azúcares fermentables como en el caso de 5% de sólido como se muestra en las Fig. 2 y 3. Disminuyendo el % de sólidos en un volumen fijo de ácido aumenta la superficie de contacto entre el ácido y el bagazo, resultando en una penetración más efectiva del ácido en la estructura fibrosa del bagazo y por lo tanto en una mejor hidrólisis y una conversión más elevada como en el caso de 2% de sólidos como se muestra en las Fig. 2 y 3.

Según *Cunningham (1994),* el efecto del % sólidos a nivel de un reactor muestra que el contenido de sólidos en la mezcla de reacción es un parámetro importante ya que determina la concentración del producto; no obstante el manejo de la mezcla es más complejo. El bombeo, especialmente en reactores tipo flujo pistón, o el vaciamiento de reactores especialmente en reactores tipo columna, presentan dificultades cuando la relación sólido/líquido es mayor. El aumento de la relación S/L disminuye la velocidad de reacción. El efecto del tiempo se observa en la figura 2, la cual muestra que un aumento en el tiempo de la reacción lleva a un aumento en el % de conversión dentro del rango analizado. La dependencia del % de conversión con el tiempo es muy importante, así el *Fagan (1989)*, realizó un estudio cinético para la hidrólisis ácida de la celulosa a glucosa donde muestra la influencia del tiempo junto con la concentración del ácido y la temperatura en el % de conversión. El % de conversión aumenta con el transcurso del tiempo de reacción hasta que llega a un valor donde la conversión diminuye debido a que ya los productos de degradación de la glucosa empiezan a formarse.
Por otra parte en las Fig.2 y 3 se observa que la temperatura dentro del rango de trabajo (50°C - 70°C) tiene menor influencia que el tiempo y el % de sólidos; ya que las diferencias entre las mayores conversiones obtenidas a 50°C y 70°C son pequeñas, como se observa en el caso cuando se utiliza 2% de sólidos, 50°C durante 60min, el % de conversión es 88% y a 70°C el % de conversión es de 84.4% (Fig. 3 y Tabla V). Lo más importante que hay que considerar con respecto a la temperatura es que a 70°C la celulosa se convierte a glucosa más rápidamente que a 50°C pero a la vez se forman los productos de degradación y por eso el % de conversión se ve afectado, con una disminución del mismo a la temperatura de 70°C.

Los resultados obtenidos a partir de la hidrólisis ácida concentrada del bagazo en una sola etapa modificada se muestran en la tabla VI y figura 4. Se muestran los resultados obtenidos de las tres variantes empleadas (A, B y C) partiéndose de la mejor condición obtenida en el diseño anterior (2% de sólidos, 70% de ácido sulfúrico y 50°C)

Tabla VI. Comparación entre el % de conversión en las variantes A, B y C.

Tiempo	70%----40% (A) % conversión	70%----35% (B) %conversión	70%------30% (C) % conversión
20min	77.14%	78.6%	78.0%
30min	78.2%	83.5%	87.4%
40min	85.14%	92.94%	96.6%
60min	91.47%	94.4%	97.5%

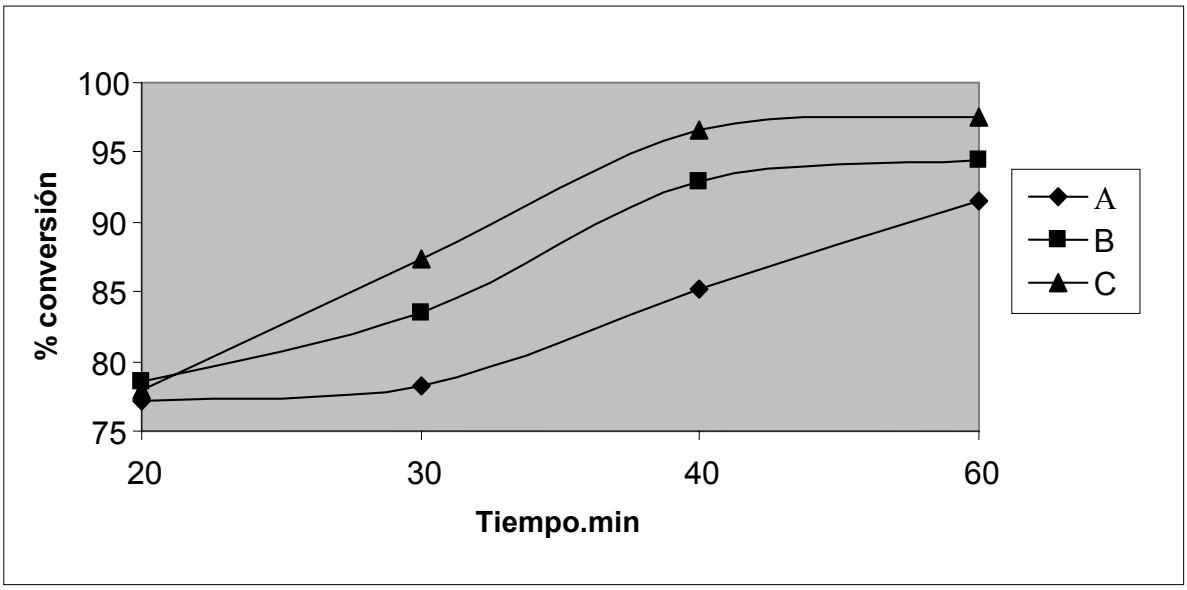


Fig. 4 A = ácido diluido al 40%, B = ácido diluido al 35%, C = ácido diluido al 30%

En la Tabla VI y la Fig. 4, puede observarse que con la dilución del ácido sulfúrico aumenta la conversión del bagazo a azúcares totales fermentables, esto puede deberse a que la hidrólisis de los polisacáridos por ácidos concentrados se produce generalmente con deficiencia de agua, esto causa que se obtengan oligosacáridos como productos principales de la hidrólisis ácida concentrada. Según. *Clausen (1998)*. El origen de estos oligosacáridos de bajo peso molecular se explica por la hidrólisis parcial de los polisacáridos iniciales unida a la reacción opuesta de repolimerización de los oligosacáridos obtenidos. Con la dilución del ácido concentrado a concentraciones más bajas se asegura que los monosacáridos obtenidos no se repolimericen, y que por lo tanto aumente el % de conversión del proceso.

En la Fig.4 se observa que realizando una dilución del ácido sulfúrico concentrado de 70% a 30%, se obtiene una mayor conversión que con las otras diluciones, (una conversión de 97.5%), mostrando esto que con una dilución del ácido a concentraciones más bajas, asegura que todos los polisacáridos se han convertido a monosacáridos, y que los azúcares no se están degradando en una forma significativa que afecte el % de conversión, y por lo tanto la factibilidad del proceso.

En los procesos de una sola etapa y una sola etapa modificada se necesita recuperar el ácido sulfúrico a través de una tecnología de recuperación adecuada, primero para poder neutralizar el licor hidrolizado que se caracteriza por su bajo pH =1.2 y segundo lugar lograr la reutilización del ácido, el cual juega un papel muy importante en la factibilidad del proceso.

Conclusiones.

1. Cuando se realiza la hidrólisis del bagazo empleando ácido sulfúrico concentrado al 70% en una sola etapa, se obtienen los mejores resultados con 2% de sólidos a 50°C y hasta 60min de reacción.
2. Con el proceso de hidrólisis ácida del bagazo en una sola etapa modificada, se obtienen mayores % de conversiones en azúcares fermentables que en el proceso de una sola etapa.
3. Los mejores % de conversiones de bagazo a azúcares fermentables se logran cuando se utiliza el proceso de una sola etapa modificado con la dilución del ácido sulfúrico concentrado de 70% a 30% con un aumento de la temperatura de 50°C a 80°C y con un tiempo de reacción hasta completar 1 hora.

Referencias.

1. Clausen, E., Gaddy, J. (1998), Concentrated Sulfuric Acid Process for Converting Lignocellulosic Materials to Sugars .US Patent, No. US188673A. Fayetteville, Ark, 472701.
2. Jeffries, T. (1987) Production and application of celulase laboratory procedures. (Mc Wall, ed.) New York, pp. 61-72.
3. Cunningham, R., López, G. (1994), Etanol de Lignocelulósicos: Tecnología y perspectivas. (Santiago de Compostela: Universidad, Servicio de publicación e intercambio científico, ed.) España ,Programa CYTED, pp. 82-95.
4. Fagan, R., Grethlein, H., Porteous, A. (1989), *Environmental Science & Technology*, 6, 13-18.

PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

ACTIVATED CARBON PRODUCTION FROM SUGAR CANE MILL WASTES

Dr. Pedro Julio Villegas Aguilar[1]; Dr. Julio Omar Prieto García[2]; Dra. Magalis Quincoces Suárez[2], Dr. Julio César Llópiz Yurell[3]

[1]Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 54830, Cuba. Teléf.: (+53) 42 281194 - Fax: (+53) 42 281608 - email: pjva@fim.uclv.edu.cu
[2]Departamento de Lic. Química, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 54830, Cuba. Teléfono: (+53) 42 273173 - Fax: (+53) 42 281608 - email: jopg@divepvc.co.cu
[3]Instituto de Materiales y Reactivos, Universidad de La Habana, Zapata y G, Ciudad Habana, 10400. Teléf.: (+537) 8781182 - Fax: (+537) 8334247 - email: jcllopiz@imre.oc.uh.cu.

RESUMEN

Los carbones activados son cada día más utilizados para el mejoramiento del medio ambiente, por su elevada capacidad de adsorción, la cual los hace apropiados para eliminar los diversos contaminantes de los efluentes líquidos y/o gaseosos. El rango extenso de la aplicación de estos materiales carbonosos ha motivado la investigación de su preparación a partir de fuentes renovables. En este trabajo, se estudia la preparación de carbones activados empleando residuos de la industria azucarera, como materia prima, mediante pirólisis y posterior activación con bajas concentraciones de oxígeno ó dióxido de carbono, a diferentes temperaturas y tiempos de activación. Se analizan las características de los adsorbentes preparados en las distintas condiciones de operación a partir de la evaluación de su capacidad de adsorción. Con este propósito, se determinan las isotermas de adsorción de nitrógeno a 77 K y se calculan las áreas específicas. Se encuentra que estos residuos así como los agentes activantes utilizados resultan adecuados para preparar carbón activado. Las condiciones de activación afectan la calidad del producto obtenido.

Palabras claves: preparación de carbón activado, residuos de la industria azucarera, pirólisis, área específica.

ABSTRACT

Activated carbons are, day by day, increasingly employed, especially for environmental remediation, as their high adsorption capacity makes them suitable for abatement of diverse pollutants from liquid and/or gaseous effluents. The extensive range of applications of these carbonaceous materials has promoted search of renewable supplies for their preparation. In this work, the activated carbons preparation using sugar cane mill waste as raw material is studied through pyrolysis and activation with low oxygen concentrations or carbon dioxide, different temperatures and activation times. The characteristics of the prepared adsorbents at different operation conditions are analyzed from the evaluation of the adsorption capacity. In this way, the adsorption isotherms of nitrogen at 77 K are determined and the specific areas are calculated. It was found that these wastes and the activated agents employed were adequate to prepare activated carbon. The activation conditions affect the quality of the obtained product.

Key words: activated carbon preparation, sugar cane mill wastes, pyrolysis, specific area.

1. INTRODUCCION

El carbón activado es un material con alta capacidad de adsorción, extensamente utilizado para el tratamiento de efluentes tanto líquidos como gaseosos. En la industria azucarera cubana, se emplea este adsorbente para eliminar impurezas coloreadas, pigmentos y cenizas de las soluciones azucaradas durante el refinado. En este sentido, la obtención de carbón activado a partir de bagazo de caña de azúcar (BCA) y residuos agrícolas cañeros (RAC), es de gran interés dado que permite simultáneamente disponer de los residuos y obtener productos de mayor valor agregado utilizables en la refinería. Sin embargo, la preparación de carbones activados a partir de residuos de la industria

azucarera ha sido poco investigada. [3, 6] Más aún, el método generalmente empleado ha sido el conocido como "activación química", que requiere del tratamiento de los residuos con ácidos inorgánicos que luego del proceso de activación deben ser eliminados cuantitativamente del producto obtenido para evitar que el mismo acidifique las soluciones a clarificar.

El método más difundido de preparación de carbones activados a partir de recursos biomásicos suele denominarse "activación física". Este consta de dos etapas, la pirólisis o devolatilización del residuo para obtener un sólido con alto contenido de carbono fijo y la posterior activación del mismo utilizando un agente oxidante débil, vapor de agua o CO_2. [1, 2, 5, 8] Una alternativa interesante a fin de disminuir los costos de proceso consiste en utilizar aire empobrecido en O_2 [9, 10]

En este trabajo se examina la factibilidad de producir carbones activados a partir de residuos de la industria azucarera por activación física, utilizando CO_2 y bajas concentraciones de O_2 como activantes. Se analiza fundamentalmente la influencia del agente activante, la temperatura y el tiempo de activación sobre las características de los productos obtenidos.

2. MATERIALES Y METODOS

Se pirolizan muestras de BCA y RAC del Central Azucarero "Luis Arcos Bergnes" del Municipio Camajuaní de la Provincia de Villa Clara, Cuba, previamente secadas. Esta primera etapa se lleva a cabo en un reactor de lecho fijo inertizado con circulación de N_2 y calefaccionado eléctricamente, durante 90 minutos, a 823 K, para la activación con oxígeno, y a 1073 K para la activación con CO_2. El char obtenido se muele y tamiza a fin de trabajar con una fracción de diámetro de partícula uniforme en los ensayos de activación.

La caracterización química de las muestras de biomasa cañera y los chars producidos a partir de ellas, se realiza mediante análisis próximo y elemental según técnicas standard.

La activación de los chars se realiza en un reactor diferencial escala laboratorio, empleando tres fracciones de diámetro de partícula comprendidos entre 0.25 - $2x10^{-3}$ m y dos agentes diferentes para la gasificación parcial: CO_2 (99.9% pureza) y 2% v/v de O_2. Las experiencias se llevaron a cabo a temperaturas comprendidas entre 623 y 713 K con oxígeno y entre 873 y 1073 K con CO_2, tiempos de activación entre 5 y 240 min, masas de muestra de $5x10^{-4}$ a 10^{-3} kg y un alto caudal de gas reactivo (80 ml/min.) para asegurar que la resistencia a la transferencia de materia en película externa sea despreciable.

El reactor calefaccionado a la temperatura de trabajo se alimenta con el char bajo una corriente de nitrógeno para inertizar el sistema; se introduce un caudal de aire prefijado de manera de lograr la concentración de oxígeno deseada. Una vez transcurrido el tiempo de activación, se detiene la reacción y se descarga el lecho en atmósfera de nitrógeno; se pesa el sólido a fin de evaluar el nivel de conversión alcanzado.

La capacidad de adsorción de los carbones activados está dada por su superficie específica. En este trabajo, ésta se evalúa a partir de la aplicación del modelo de BET a las isotermas de adsorción de N_2 a 77 K utilizando un sortómetro Micromeritics Gemini 2360, el cual posee una adecuada precisión hasta en nivel centesimal.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1, se detalla la composición de los residuos vírgenes y pirolizados, así como las áreas específicas (S_{N2}) de éstos.

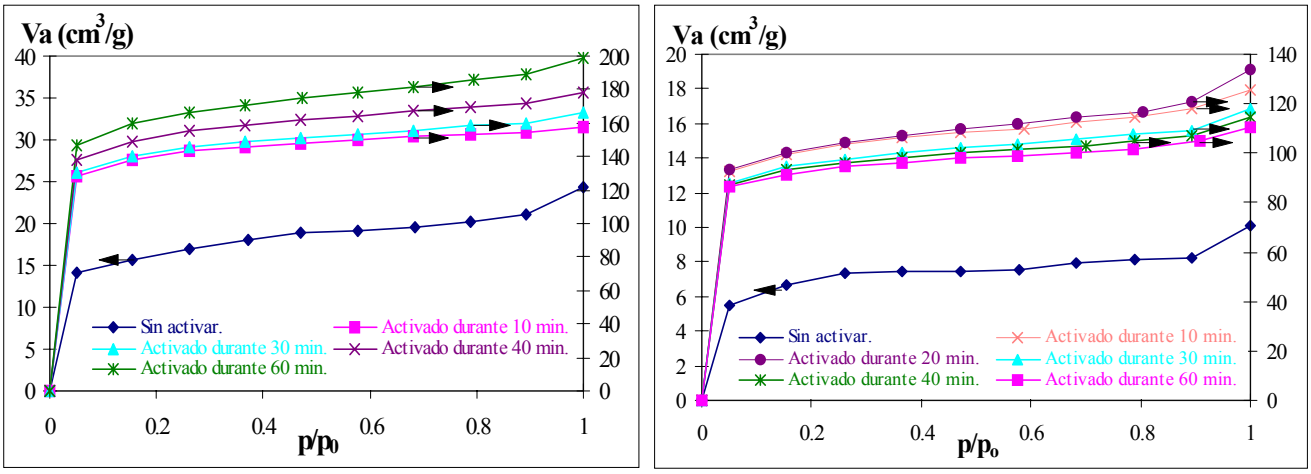
Tabla 1. Análisis próximo y elemental de las muestras y áreas específicas de N_2 a 77 K según el método de BET (S_{N2}).

Materia prima	%Volátiles (lh)	% Carbono fijo (lh)	%Cenizas (lh)	%C (lhc)	%H (lhc)	%N (lhc)	%S (lhc)	%O* (lhc)	S_{N2} x10^{-3} (m^2/kg)
BCA	84.9	12.3	2.8	46.9	5.6	1.2	0.0	46.3	0.89
Char de BCA (T = 823 K)	15.6	73.6	10.8	78.0	2.4	0.0	0.0	19.6	53.9
Char de BCA (T = 1073 K)	2.4	85.5	12.1	87.5	1.2	0.0	0.0	11.3	274.5
RAC	79.2	15.0	5.8	44.5	5.3	1.2	0.0	49.0	0.73
Char de RAC (T = 823 K)	18.9	60.0	21.1	76.6	2.1	0.3	0.0	21.0	20.8
Char de RAC (T = 1073 K)	4.9	73.7	21.4	83.3	1.1	0.0	0.0	15.6	135.2

lh: libre de humedad. lhc: libre de humedad y cenizas. * Determinado por diferencia.

Como puede apreciarse en la Tabla 1, el pequeño contenido de cenizas que caracteriza al BCA y los RAC, así como al elevado porciento de carbono de los chars de dichos residuos, los hace convenientes para ser utilizados como precursores en la preparación de carbones activados. En el caso específico de los chars de RAC, su contenido de cenizas es relativamente alto, pero aún así se justifica su empleo en la preparación de carbones activados dada la gran disponibilidad de esta materia prima en Cuba. Por otro lado, los valores de área específicas, determinados para el BCA y los RAC son similares, al pirolizar éstos se logra un mayor desarrollo de poros con el incremento de la temperatura, encontrándose que este desarrollo es mayor para los chars de BCA. A pesar de que en este trabajo no se reportan los valores de los contenidos de cenizas de los carbones activados preparados a partir de estas materias primas, debe señalarse que estos valores se incrementan en proporción directa con la conversión del sólido, lo cual es inevitable en este tipo de procesos.

En la Figura 1 (a y b) se ejemplifican las isotermas de adsorción de los carbones activados de los chars de BCA y RAC, preparados a partir de los residuos pirolizados a 823 K, empleando oxígeno (2% v/v) como agente gasificante, a la temperatura de 648 K y distintos tiempos de activación; en la figura se muestra también la isoterma correspondiente al residuo pirolizado a 823 K, sin activar, con fines comparativos.

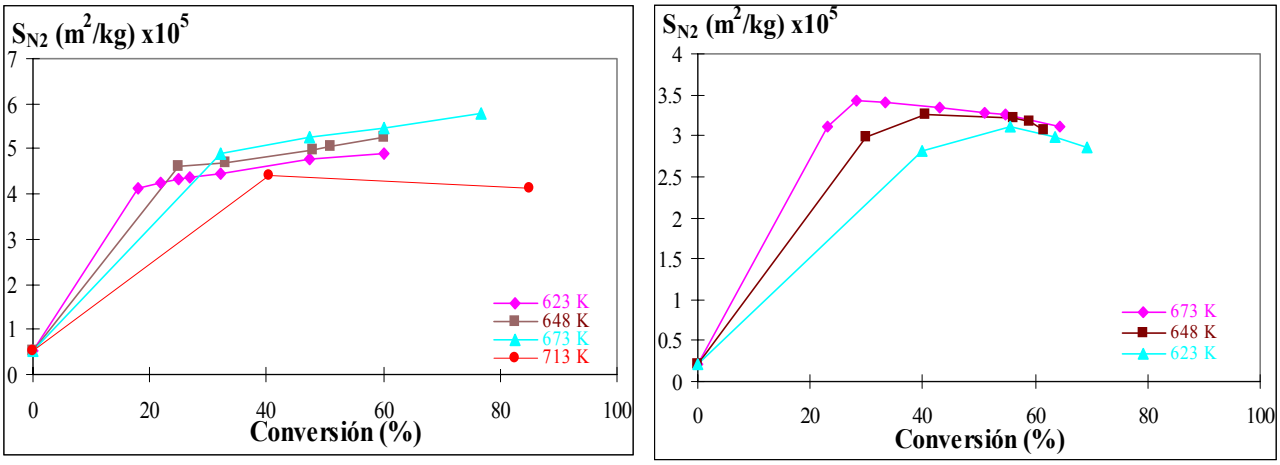


(a) (b)

Figura 1. Isotermas de adsorción con N_2 a 77 K sobre los carbones activados a distintos tiempos de activación,
$5x10^{-4} < dp < 10^{-3}$ m, O_2 (2% v/v) y T = 648 K, preparados empleando chars de: (a) BCA y (b) RAC.

En la figura1 (a) puede observarse que los volúmenes adsorbidos (Va) aumentan considerablemente como consecuencia de la activación de los chars de BCA y son mayores al incrementar el tiempo de gasificación. Del mismo modo, se observa en la figura 1 (b), que las isotermas de adsorción determinadas para los carbones activados preparados a partir de los chars de RAC, a los distintos tiempos de activación, se diferencian claramente de la correspondiente al char, siendo los volúmenes adsorbidos por los carbones mucho mayores que los correspondientes al char sin activar. Debe notarse en este último caso, que las isotermas obtenidas para los carbones activados preparados a distintos tiempos están muy próximas y los volúmenes adsorbidos no aumentan en forma progresivamente creciente al incrementar el tiempo de activación como ocurre en el BCA.

Se evaluaron las áreas específicas de los carbones activados obtenidos en las diferentes condiciones de operación mediante el procedimiento de BET. [(4)] La Figura 2 muestra la variación del área específica con la conversión para las temperaturas empleadas en la activación con oxígeno.



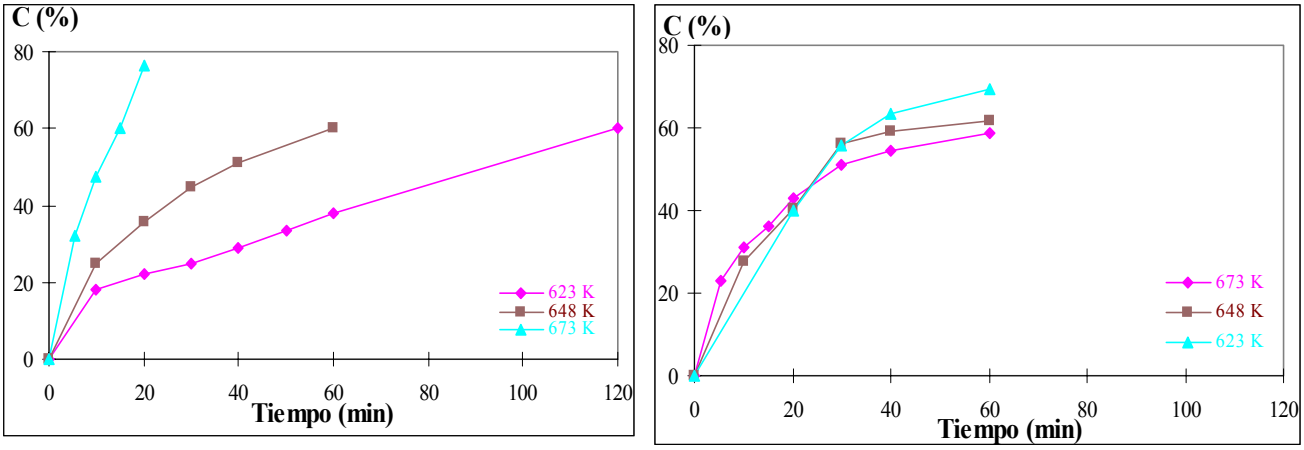
(a) (b)

Figura 2. Influencia de la conversión del sólido alcanzada a diferentes temperaturas sobre el desarrollo de área específica de los carbones activados preparados a partir de chars de: (a) BCA y (b) RAC ($5x10^{-4} < dp < 10^{-3}$ m) con O_2 (2% v/v).

Para los carbones activados de BCA, figura 2a, el desarrollo de área específica es significativo para conversiones menores al 20% a todas las temperaturas estudiadas. A mayores conversiones, la tendencia creciente continúa pero con una velocidad de generación de área mucho menor. Las áreas alcanzadas para las diferentes temperaturas, 623 - 673 K, en el rango de conversión entre 40 y 60% no difieren significativamente. Para la mayor temperatura empleada, se encuentra una disminución del área desarrollada a igual conversión probablemente debido a que, en estas condiciones, comienzan a influir los efectos difusionales intrapartículas. Esto ocasiona un consumo preferencial de la parte externa de las partículas que induce una disminución del tamaño de las mismas en lugar de promover el aumento del área interna. De acuerdo a estos resultados, la activación a temperaturas superiores a 673 K no es conveniente.

En la figura 2b puede observarse que en el desarrollo del área de los carbones activados preparados a partir del char de RAC y O_2 se alcanza un máximo para todas las temperaturas estudiadas. Este máximo desarrollo se produce a niveles de conversión progresivamente decrecientes al incrementar la temperatura de activación y corresponde a valores de área específica comprendidos entre 3 y 3.5 $x10^5$ m^2/kg para el rango de temperaturas empleadas. El desarrollo del área en estos carbones activados concuerda con el encontrado en la activación del char de BCA a la temperatura más alta (713 K). Los resultados sugieren que durante la gasificación del char de RAC, para las tres temperaturas empleadas, los efectos difusionales en el interior de las partículas, que favorecen la reacción en la superficie externa de las mismas, son significativos.

Algunos autores utilizan la conversión (C), obtenida bajo diferentes condiciones de trabajo, como medida del grado de activación. [5] Habitualmente se considera que cuando la conversión es inferior al 50% se obtienen carbones activados microporosos; si es mayor que el 75 %, los carbones activados son macroporosos y cuando la conversión esta entre el 50 y 75% el producto obtenido posee una mezcla de micro y macro poros. En la Figura 3 se representan los valores de conversión, para las temperaturas inferiores a 673K, en función del tiempo de activación.



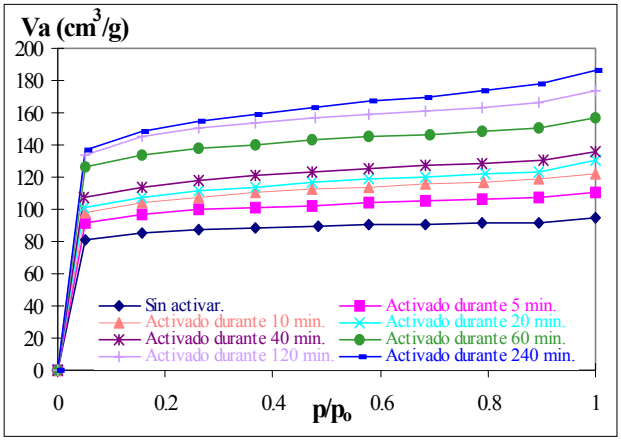
(a) **(b)**

Figura 3. Efecto del tiempo de activación sobre el desarrollo de área específica de los carbones activados preparados a partir de chars de: (a) BCA y (b) RAC ($5x10^{-4} < dp < 10^{-3}$ m) con O_2 (2% v/v).

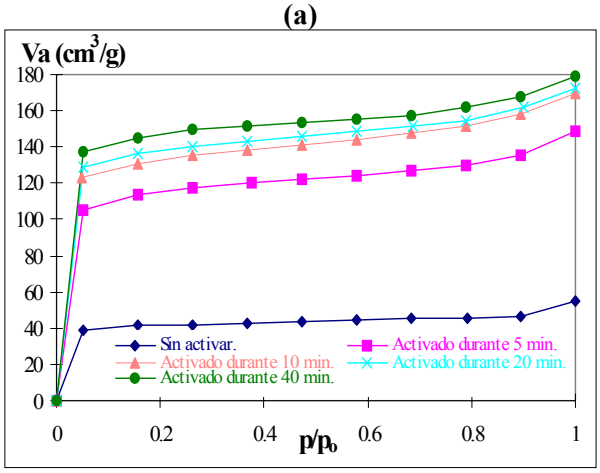
Como se observa en la figura 3a, para el char de BCA, la variación de la conversión del sólido respecto al tiempo de gasificación a 673 K es progresivamente creciente y más abrupta que a temperaturas menores. También se observa que a esta temperatura y bajos tiempos de activación, la conversión es considerablemente alta, lo que según el criterio de algunos autores, indica una velocidad de desarrollo del área interna significativamente elevada, [5] En consecuencia, es conveniente trabajar a esta temperatura a fin de minimizar el consumo energético obteniendo un producto de buena calidad, predominantemente microporoso. Asimismo, en la Figura 3b, puede apreciarse que en todos los casos, para los carbones activados empleando el char de RAC y oxígeno, se alcanzan valores máximos de conversión similares a

tiempos relativamente cortos, lo que indica una mayor reactividad de esta materia prima con el agente gasificante estudiado, observándose que la velocidad de desarrollo del área interna es ligeramente mayor a la temperatura más alta y tiempos cortos de activación.

Se realizaron ensayos de activación con CO_2 del char preparado a 1073 K, para comparar dichos resultados con los obtenidos mediante activación con bajas concentraciones de oxígeno. En la Figura 4 (a y b) se muestran las isotermas de adsorción de los carbones activados preparados a partir de los chars de bagazo y RAC a 1103 K a distintos tiempos de activación y la determinada para el residuo pirolizado a 1073 K.



(a)



(b)

Figura 4. Isotermas de adsorción con N_2 a 77 K sobre los carbones activados preparados con CO_2 a T = 1103 K, distintos tiempos de activación y $5x10^{-4} < dp < 10^{-3}$ m, empleando chars de: (a) BCA y (b) RAC.

En la figura 4 (a) se observa que los volúmenes adsorbidos (Va) aumentan como consecuencia de la activación del char de bagazo y son mayores al incrementar el tiempo de gasificación, no apreciándose un incremento tan brusco respecto al char como en el caso de la activación con bajas concentraciones de oxígeno. Del mismo modo, puede apreciarse en la figura 4 (b) que el volumen de nitrógeno adsorbido por unidad de masa de muestra es mayor para los carbones activados que para el char de RAC en todo el intervalo de presiones relativas, aumentando con el tiempo de activación. Las isotermas presentan formas similares a las determinadas para los carbones activados empleando oxígeno, sugiriendo, que en ambos casos, los carbones activados obtenidos están conformados por matrices porosas semejantes.

En la Figura 5 se presenta un gráfico comparativo de la variación del área específica con al conversión para las activaciones de los chars de BCA con oxígeno (2% v/v) en la mejor condición encontrada y con CO_2. En el caso de la activación con CO_2 se parte de un char de mucho mayor área, encontrándose un desarrollo de área que sigue una tendencia prácticamente lineal con la conversión. Esta tendencia es similar a la obtenida en la activación con O_2 (2% v/v) a niveles de conversión relativamente altos.

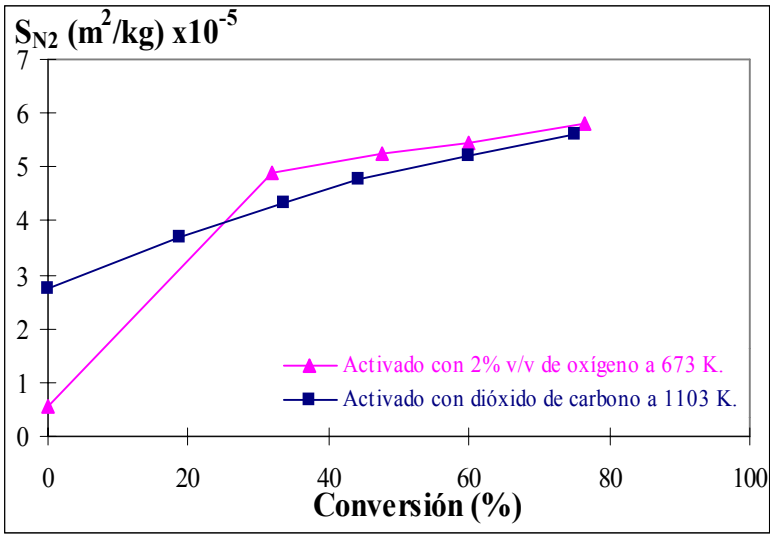


Figura 5. Comparación del desarrollo de área específica de los carbones activados preparados a partir del char de BCA ($5x10^{-4} <dp< 10^{-3}$ m) con O_2 (2% v/v) a T = 673 K y CO_2 a T = 1103 K.

Según la figura 5, las áreas de los carbones activados obtenidos con los dos agentes oxidantes no difieren significativamente a partir del 40% de conversión. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que para alcanzar niveles de conversión del 40%, la activación con CO_2 requiere altas temperaturas y es necesario someter la muestra a tiempos de activación prolongados (mayores a 60 min.), ocasionando un mayor consumo energético; en cambio, el empleo de bajas concentraciones de oxígeno permite obtener carbones activados de similar calidad en menos tiempo (entre 5 y 20 min.) y a una temperatura considerablemente inferior (673K).

La Figura 6 muestra el desarrollo del área del carbón activado a partir del char de RAC con el transcurso de la activación con CO_2, para las distintas temperaturas estudiadas, y el correspondiente a la activación del char de BCA, empleando el mismo agente activante, para la temperatura de activación de 1103 K. Asimismo, en la en la Figura 7 puede apreciarse que las áreas que caracterizan los carbones activados del char de RAC superan los $5x10^5$ m^2/kg obteniéndose los mejores resultados a 1103K con buenos índices de rendimiento.

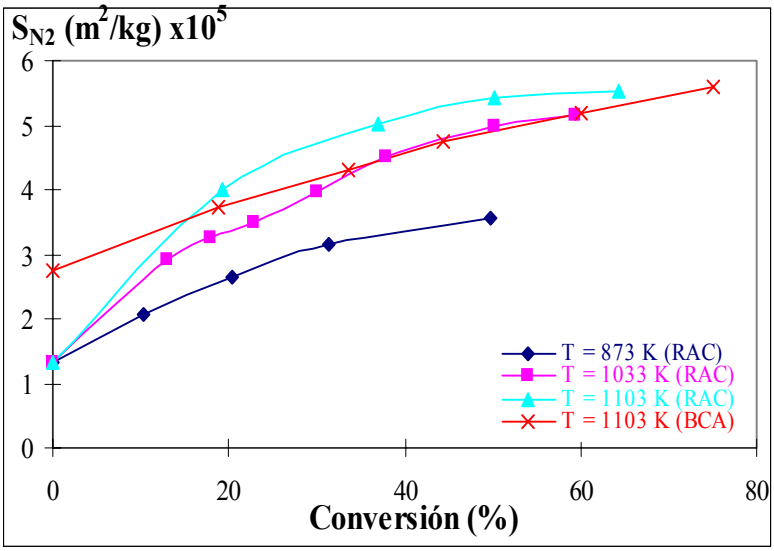


Figura 6. Influencia de la conversión del sólido sobre el desarrollo de área específica de los carbones activados preparados a partir del char de RAC ($5x10^{-4} < dp < 10^{-3}$ m) con CO_2 a diferentes temperaturas. Comparación con la activación del char de BCA a 1103 K y CO_2.

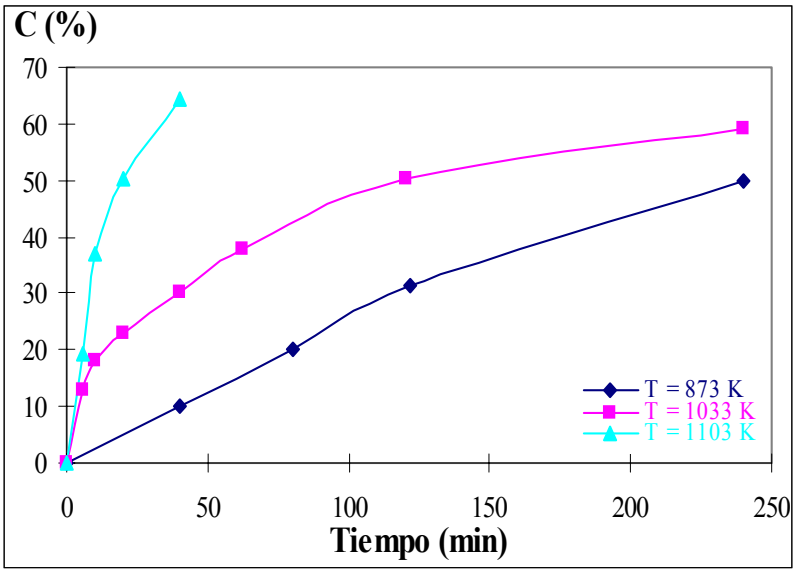


Figura 7. Efecto del tiempo de activación sobre la conversión de los carbones activados preparados a partir del char RAC ($5x10^{-4} < dp < 10^{-3}$ m) con CO_2.

El desarrollo del área en el char de RAC aumenta progresivamente con la conversión del sólido para todas las temperaturas empleadas (figura 6); el mismo es un poco más abrupto en el rango de bajas conversiones tendiendo, a niveles de conversión mayores al 20%, a una velocidad de desarrollo que sigue una relación con la conversión próxima a la lineal. Estos resultados difieren de los encontrados para la activación del char de RAC empleando O_2 como agente activante y pueden atribuirse a que la velocidad de gasificación con CO_2 de materiales carbonosos es considerablemente más lenta. [7, 8] Comparando los resultados de la activación con CO_2 del char de RAC y de BCA a 1103 K, se encuentra que, para niveles de conversión mayores al 20%, el desarrollo del área en el char de RAC es algo mayor.

En la figura 7 puede observarse que la velocidad de desarrollo del área, a la mayor temperatura empleada, crece abruptamente hasta valores de $5x10^5$ m^2/kg, disminuyendo luego hasta caer prácticamente a cero. A bajos tiempos de activación, la influencia de la temperatura es muy pronunciada.

4. CONCLUSIONES

El estudio sobre la factibilidad de preparar carbones activados señala que tanto el bagazo de caña de azúcar como los residuos agrícolas cañeros pueden ser utilizados, aplicando el método de activación "física" con O_2 o CO_2 como agentes activantes, con este propósito.

La preparación de carbones activados a partir de chars de BCA indica que éste resulta un precursor satisfactorio utilizando bajas concentraciones de oxígeno como agente activante. Las condiciones de operación empleadas en la gasificación del char ejercen una marcada influencia sobre su capacidad de adsorción. Los resultados obtenidos señalan que resulta conveniente emplear temperaturas de activación próximas a 673 K a fin de obtener un producto de calidad adecuada con un valor de área superior a los $5x10^5$ m^2/kg y buen rendimiento en corto tiempo. El empleo de CO_2 como agente activante permite obtener carbones activados de buena calidad pero con la desventaja que la activación con CO_2 requiere temperaturas más altas y tiempos de activación prolongados, que involucran un mayor consumo energético.

Los carbones activados preparados a partir del char de RAC por gasificación controlada con bajas concentraciones de O_2 alcanzan áreas de $3.5\ x10^5$ m^2/kg para 673 K y un tiempo de activación de 10 minutos con un rendimiento del 70%. Al emplear CO_2 como activante, las áreas que caracterizan a los carbones activados del char de RAC superan los $5x10^5$ m^2/kg obteniéndose los mejores resultados a 1103 K con buenos índices de rendimiento. Estas diferencias en la capacidad de adsorción pueden atribuirse a que el área específica del char empleado para la activación con CO_2 es mayor y a que la velocidad de gasificación de materiales carbonosos con CO_2 es más lenta. Si bien el empleo de CO_2 permite preparar carbones activados con mayor área específica, a partir de la activación de los RAC con oxígeno se obtiene un producto con capacidad de adsorción similar a la de otros actualmente disponibles en el mercado, con un buen rendimiento. Además, presenta la ventaja de requerir menores temperaturas para su preparación.

5. REFERENCIAS

1. Bansal, R. C.; Donnet, J. B.; Stoeckli, F. (**1988**) *Active Carbon*, Ed. Marcel Decker, New York.
2. Gergova, K.; Petrov, N.; Eser, S. (**1994**) "Adsorption Properties and Microstructure of Activated Carbon Produced from Agricultural By-Products by Steam Pyrolysis". *Carbon*, 32, 4, 693-702.
3. Girgis, B. S.; Khalil, L. B.; Tawfik, T. A. M. (**1994**) "Activated Carbon from Sugar Cane Bagasse by Carbonization in the Presence of Inorganic Acids". *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 61, 87-92.
4. Gregg S. J.; Sing K. S. W. (**1982**) "Adsorption, Surface Area and Porosity". 2nd Ed., Academic Press Inc.
5. Heschel W.; Klose, E. (**1995**) "On the Suitability of Agricultural By-product for the Manufacture of Granular Activated Carbon". *Fuel,* 74, 12, 1787-1791.
6. Ruiz, M.; Rolz, C. (**1971**) "Activated Carbon from Sugar Cane Bagasse". *Industrial & Engineering Chemistry Production and Research Development*, 10, 4, 429-432.
7. Ochoa J. (**1996**) "Estudio de la Gasificación de Carbones Nacionales Devolatilizados". *Tesis Doctoral*, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
8. Tancredi, N.; Cordero, T.; Rodríguez-Mirasol, J. J.; Rodríguez, J. J. (**1996**) "Activated Carbons from Uruguayan Eucalyptus Wood". *Fuel,* 75, 15, 1701-1706.
9. Villegas Aguilar, P. J.; Bonelli, P. R.; Cassanello, M. C.; Cukierman, A. L. (**1999**) "Preparación de carbón activado a partir de residuos agrícolas de la caña de azúcar y distintos agentes activantes" *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente,* 3, 2, 33-36.
10. Villegas Aguilar, P. J.; Bonelli, P. R.; Casanello, M. C.; Cukierman, A. L. (**2002**) "Sugar Cane Mill Fibrous Wastes Gasification: on the Feasibility for the Manufacture of Granular Activated Carbon".

Proceeding of the Sixth Asian Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization (APISCEU), organized by the Institute of Engineering Thermo-physics, Chinese Academy of Sciences and the Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia, 319-325.

INTENSIFICACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL 2-(2-NITROVINIL)-FURANO.

INTENSIFICATION OF PROCESS OF PRODUCTION THE 2-(2-NITROVINYL)-FURAN.

Autores:
Dra. Zenaida Rodríguez Negrin [1], Dr. Agustín García Rodríguez [2],
Lic. Exiquio Gaitan Placeres [1], Lic Gisela Peralta Meseguer [2], Lic. Blanca N. Hernández [2].

1-Centro de Bioactivos Químicos. UCLV.
2-Facultad de Química –Farmacia. UCLV.
zenaidar@cbq.uclv.edu.cu

Resumen:
La industria azucarera es una de las principales ramas de la economía nacional, siendo sus derivados fuente de diversas materias primas y nuevos productos de aplicación en la industria química y farmacéutica.
En el presente trabajo se intensifica el proceso de producción del 2-(2-nitrovinil)-furano, obtenido a partir del furfural, en las etapas de síntesis, purificación y disposición de los residuales, a partir del desarrollo y validación de técnicas por polarografía diferencial de pulso, nunca antes empleadas para este proceso ni en este producto, que permiten evaluar las variables del proceso y detectar sus puntos débiles. Se aplica por primera vez en Cuba, el Análisis del Ciclo de Vida del proceso como herramienta ambiental, logrando mejoras en la tecnología. Se realiza un Estudio de Alternativas, que tienen en cuenta los aspectos técnicos, económicos y ambientales desarrollados durante los estudios de intensificación del proceso. Los resultados permiten al Centro de Bioactivos Químicos obtener una tecnología de producción del 2-(2-nitrovinil)-furano a escala industrial, única a nivel mundial, alcanzándose purezas superiores al 99 % siendo económica y ambientalmente compatible donde se logra el 62% de rendimiento de G-0 en síntesis (base crudo), un 76 % en el rendimiento de la purificación y un 48% de rendimiento total del proceso, no alcanzados hasta este momento; así como una disminución del impacto ambiental del 99,98%, calculado empleando los Ecoindicadores utilizado por la Comunidad economica Europea. Se formula un Producto Inhibidor de la Corrosión Electroquímica a partir de los residuales líquidos del proceso, cuya eficiencia inhibidora es comparable a la de productos importados en el país.
Palabras Claves: Furfural, nitrovinilfuranos, Intensificación, Análisis de Ciclo de Vida

The sugar industry is one of the main branches of the national economy, being its derivatives source of diverse raw materials and new products of the chemical and pharmaceutical application in industry.
In the present work is intensified the process of production of the 2-(2-nitrovinyl)-furan, obtained from the furfural, in the stages of synthesis, purification and disposition of the residual ones, by means of development and validation pulse differential polarography techniques, which have never used before in this process nor in this product to evaluate the variables of the process and to detect their weak points. It is applied for the first time in Cuba, the Analysis of the Life Cycle of the process like environmental tool, obtaining improvements in the technology. A Study of Alternatives, that consider the technical, economic and environmental aspects is developed during the studies of intensification of the process. Their results has allowed to the Center of

Chemicals Bioactives to obtain a technology of production of the 2-(2-nitrovinyl)-furan in industrial scale, unique to world-wide level, being reached purities higher than 99 % which results economically and environmentally satisfactory where 62% of yield of G-0 in synthesis are obtained (being in crude base), 76 % in the yield of the purification and a 48% of total efficiency of the process, not reached to this moment; as well as a diminution of the environmental impact of 99.98%, that is referred using the Eco-indicators of the European Economic Community. It is formulated an Inhibiting Product of the Electrochemical Corrosion from one liquid residual of the process, whose inhibiting efficiency is comparable to the one of products concerned in the country.
Key words: Furfural, intensified, nitrovinylfuran, Analysis of the Life Cycle

INTRODUCCIÓN

Nuestro país invierte anualmente millones de dólares en la importación de productos bioactivos para ser utilizados en la medicina, tanto humana como veterinaria y en la agricultura. Es por ello que resulta de vital importancia desarrollar nuevos compuestos bioactivos con el objetivo de sustituir importaciones y además incrementar la cartera de fondos exportables del país.

El Centro de Bioactivos Químicos de la Universidad Central de Las Villas, tiene como misión el desarrollo de nuevas entidades moleculares potencialmente bioactivas y utiliza para ello en lo fundamental materias primas nacionales como por ejemplo residuos de la cosecha de la caña de azúcar. Del furfural, obtenido por hidrólisis ácida del bagazo y la paja de caña, se han logrado obtener representantes de los nitrovinilfuranos, con propiedades bioactivas. Ha registrado nacionalmente dos productos cuyas marcas son Queratofural, ungüento oftálmico veterinario para el tratamiento de enfermedades bacterianas y fungosas y el Vitrofural, esterilizante químico para la producción de vitroplantas y se desarrollan actualmente pruebas clínicas con el objetivo de registrar el producto Dermofural, ungüento para tratamientos de enfermedades dermatológicas fungosas en humanos.

Todos estos procedimientos de obtención y sus acciones han aportados patentes que han sido concedidas en diferentes territorios como Estados Unidos y Europa entre otros y también se recibió la medalla de Oro de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual por la patente del producto puntero del centro.

El producto 2-(2-nitrovinil)-furano, denominado G-0, constituye el intermediario para la obtención del producto bactericida-fungicida 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano, denominado G-1, pero además se han patentado acciones como anticoccidiano y se han estudiado propiedades como inhibidores de la corrosión electroquímica y microbiana.

Los métodos de síntesis del 2-(2-nitrovinil)-furano reportados hasta el presente, utilizan furfural, nitrometano y un catalizador básico. Estos métodos presentan limitaciones que están relacionadas con la determinación exacta de la relación entre las variables que intervienen en el proceso, la falta de instrumentación del control del proceso así como la caracterización de los residuales del mismo. Todos estos aspectos provocan bajos rendimientos durante la producción del principio activo, insuficiente calidad para la producción de medicamentos e incremento de la contaminación ambiental.

Hasta el momento el denominado producto G-0 solo se ha obtenido a escala industrial en Cuba, en las instalaciones del Centro de Bioactivos Químicos, en reactores de vidrio de 6 litros de capacidad, pero sin alcanzarse aún las reservas de capacidad operacional de los reactores disponibles; pero por las perspectivas inmediatas, tanto del G-0 como del G-1 es indispensable profundizar en la intensificación del proceso de producción del G-0 en las instalaciones actuales, para asegurar una tecnología técnica-económica y ambientalmente compatible, como lo exigen las modernas plantas químicas.

Por todo lo anterior se plantea el siguiente problema científico es que “El proceso de obtención del G-0 tiene bajos rendimientos en las etapas de síntesis y purificación y la pureza con que se

obtiene el producto es aún insuficiente para los requerimientos del principio activo, siendo alta la contaminación ambiental generada por el proceso".
Como vía para solucionar el problema científico se formula la siguiente hipótesis: "Es posible elevar los rendimientos del proceso de síntesis de G-0 y alcanzar una pureza de la sustancia bioactiva superior a un 99 %, con una reducción de los costos y una disminución de las cargas ambientales asociadas mediante la aplicación del Análisis Complejo de Proceso".
Teniendo en cuenta lo anterior, se propone como objetivo general: "Lograr la intensificación del proceso de producción de G-0 por un aumento del rendimiento y de la calidad del principio activo, con aprovechamiento de los residuales, que permita alcanzar una tecnología técnica y económicamente viable y ambientalmente compatible".

DESARROLLO

Del estudio bibliográfico del tema y de la información reportada sobre el proceso actual de producción de G-0 se puede plantear que existen potencialidades para alcanzar la intensificación del proceso con un apreciable incremento de los beneficios del mismo obtenidos por la vía, no solo del incremento de la producción, la productividad y la calidad del producto sino por la diversificación de la producción y el ahorro de materias primas a partir del aprovechamiento de los efluentes del proceso, según la estrategia que se refleja en el Diagrama Heurístico. El proceso de obtención del 2-(2-nitrovinil)-furano tiene un amplio espectro de posibilidades para lograr una intensificación del mismo, que implica un estudio integral de potencialidades con énfasis entre otros en optimizar las reacciones y el uso de materias primas, eliminar ó minimizar las corrientes residuales, implantar el sistemas de control de proceso, diversificar la producción a partir de los residuales del proceso y utilizar al máximo las capacidades instaladas. Además del estudio bibliográfico se desprende que la Polarografía Diferencial de Pulso es la técnica analítica con más posibilidades para el control del proceso de producción del G-0 debido a que es posible la cuantificación de las materias primas y los productos principales ya que presentan grupos activos polarográficamente, el costo del equipamiento para aplicar la técnica es menor, comparado con un cromatógrafo o un equipo de HPLC así como su mantenimiento, el costo para la aplicación de la técnica polarográfica es menor ya que los solventes necesarios para el montaje de esta técnica, son más baratos. También es necesario evaluar la incidencia que tienen los procesos sobre el medio ambiente, con herramientas eficaces para mejorar el sistema de producción, como el Análisis de Ciclo de Vida.

INTESIFICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DEL 2-(2-NITROVINIL)-FURANO.

Toda intensificación de un proceso tiene que partir del análisis profundo del mismo como consecuencia de un estudio detallado del proceso del que se derivan medidas y propuestas particulares de manera que se apliquen de forma creativa a cada situación concreta, lo que exige el dominio completo del proceso en cuestión como condición previa a la solución de transformaciones efectivas.
Para alcanzar estos fines es necesario por tanto, determinar los puntos débiles del proceso de producción, con el objetivo de tomar medidas para la eliminación parcial o completa de los mismos, lo que contribuirá al perfeccionamiento técnico-económico.
Teniendo en cuenta las particularidades de la Planta de Producción del Centro de Bioactivos Químicos, es posible desarrollar este estudio de intensificación realizando las evaluaciones experimentales a nivel industrial, integradas al proceso de producción.

Descripción de la tecnología de producción de G-0

La Planta de Producción del Centro de Bioactivos Químicos se encuentra dentro del recinto universitario y consta de 4 talleres de producción: Taller de Materias Primas, Taller de 2-(2-nitrovinil)-furano ó G-0, Taller de G-1 ó 1-(5-bromofur-2-il)-2-bromo-2-nitroeteno y Taller de

Vitrofural. Además cuenta con un departamento de Control de la Calidad adscrito directamente al director del centro.
En el estudio bibliográfico se discutieron los fundamentos químicos y tecnológicos del proceso de producción de G-0. A continuación se detallan las secciones con que cuenta la tecnología desarrollada por el Centro de Bioactivos Químicos e instalada en la Planta de Bioactivos Químicos de la Universidad Central de las Villas:
-Sección de Síntesis y Cristalización- Centrifugación
-Sección de Purificación
Un análisis detallado de cada sección permite encontrar los puntos débiles del proceso de producción con el objetivo de contribuir al perfeccionamiento técnico-económico y ambiental del mismo.

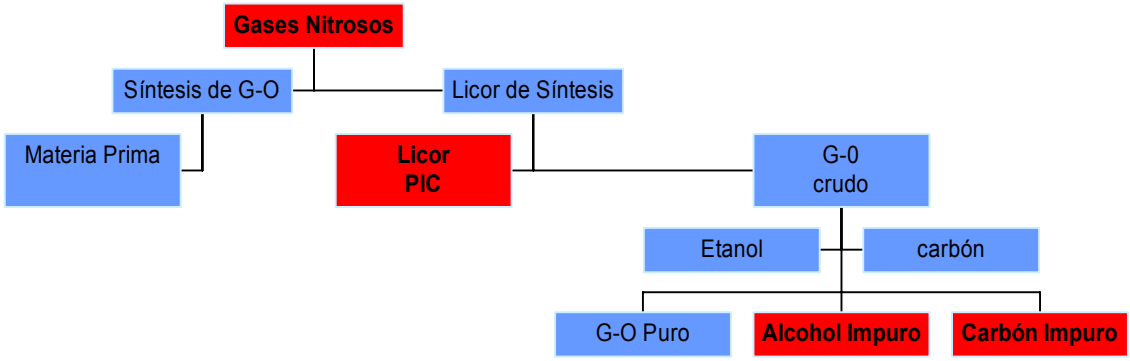


Figura 1: Diagrama de flujo del taller de G-0.

Análisis de la Situación del taller de G-0
El taller de G-0 de la Planta de Producción del Centro de Bioactivos Químicos está afectado por una serie de factores que influyen negativamente en su proceso productivo. Según resultados del estudio llevado a cabo por el Comité EVOP del Centro de Bioactivos Químicos de la UCLV (Informe Técnico,1999) se detectaron diferentes puntos débiles que inciden negativamente en el taller de G-0, ellos son:
El rendimiento durante el proceso de síntesis es muy bajo, no sobrepasa un 50 %.
Se desconocen como influyen los diferentes factores durante el proceso de producción:
-Materia Prima: Proporciones y calidad de nitrometano, furfural, IBA, etanol y carbón
-Variables de procesos: temperatura a la que se desarrolla la síntesis, tiempo de reacción, temperatura y tiempo de contacto entre las materias primas para la purificación y tiempo y temperatura de secado.
Se desconoce la eficiencia del proceso de cristalización, al igual que la del proceso de purificación. El rendimiento del proceso no sobrepasa un 32 %, la pureza media del producto puro no rebasa el 97 %, se genera durante el proceso productivo un residual líquido que tiene propiedades inhibidoras pero no es comercializable por falta de caracterización y de una formulación adecuada.
Desde el punto de vista ambiental presenta las siguientes dificultades:
-Se emanan en el taller residuales líquidos y sólidos y se desconocen las pérdidas de G-0 en los mismos, durante la reacción de síntesis son emanados gases pardos que contaminan el medio ambiente, no está cuantificado el impacto ambiental que provoca esta tecnología de producción de G-0.
De acuerdo a lo anterior, la intensificación del proceso de producción de G-0 se puede lograr a través de aumento del rendimiento de las etapas de síntesis y purificación, aumento de la calidad del producto crudo y puro, disminución del impacto ambiental y aprovechamiento de los residuales.

Para lo cual es necesario desarrollar y validar un conjunto de técnicas analíticas que permitan cuantificar en las diferentes partes del proceso el contenido de G-0, nitrometano y furfural fundamentalmente, en las diferentes corrientes, que unidos con estudios de las diferentes etapas del proceso a través de diseños de experimentos y Operación Evolutiva (Box, 1969; Subir Ghosh, 1990; Bralla, 1996) y en condiciones dinámicas, sin detener el proceso productivo se alcancen las soluciones más favorables técnico-económica y ambientalmente compatible para llevar a cabo la producción de G-0.

Aplicación de la PDP en el taller para el Análisis del proceso

Las técnicas fueron desarrolladas y validadas para su aplicación en el taller, siendo las mismas lineales, repetibles, reproducibles y exactas. Las técnicas pueden ser aplicadas a las materias primas, durante el proceso de síntesis, en los productos crudos y puros y en las corrientes residuales.

El control analítico comienza en el taller, desarrollando 15 síntesis en las que para obtener 12 moles de G-0 en el reactor de 6 litros, se fija: Tiempo de reacción (5,5 horas), temperatura del baño (140 ^{o}), cantidad de Nitrometano 24 moles (1 294 ml), cantidad de IBA 0,74 moles (30 ml), cantidad de furfural 13,29 moles(1 100 ml).

Intensificación de la etapa de síntesis

Teniendo en cuenta los resultados analíticos de las 15 síntesis que demuestran la efectividad del control realizado mediante PDP, que además generan dudas acerca del tiempo de reacción, así como la existencia aún de furfural por reaccionar y un rendimiento que no sobrepasa el 50 %; se decide aplicar un diseño Robusto, donde el arreglo interno es un $L_8$7 de Taguchi y el arreglo externo es un factor variado a dos niveles con el objetivo de buscar las mejores condiciones de reacción que permitan aumentar el rendimiento del proceso, realizando una posterior evaluación a través de las mismas técnicas polarográficas. Como función respuesta se emplea el % de rendimiento analítico, aplicándose los conceptos de señal-ruido (acidez del furfural) así como el proceso estadístico que esto conlleva.

La novedad de los diseños de Taguchi radica precisamente en que pueden evaluar mediante la introducción de la función señal-ruido (diseño Robusto) las influencias de las variables de entrada sobre la dispersión de la función respuesta que no había sido considerada anteriormente en los diseños clásicos.

A continuación se ofrecen las tablas con los factores y niveles, seleccionados a partir de los puntos débiles del proceso y del informe de Gaytán (1999) sobre fases de EVOP desarrolladas en el taller antes de 1999, así como la matriz del diseño con dos niveles de ruido

El furfural se introduce como variable porque presenta el departamento de Control de Calidad un alto índice de rechazo por la restricción para realizar la síntesis de G-0 debe estar la acidez por debajo de un 0.12 % (sin existir un argumento experimental para tal restricción). Esto provoca que se eleven los costos del taller ya que después de destilado recientemente el furfural su acidez oscila entre 0-0,3 %. El etanol (variable incluida en el diseño) se introduce en el proceso para evaluar un cambio de solvente durante la etapa de cristalización.

Tabla 1: Diseño L_8(7); con 6 factores y un arreglo con un solo factor de ruido.

Variables	Significado	Nivel Inferior	Nivel Superior
X1	Temperatura (TEMP) (°C)	120	125
X2	Volumen de Isobutilamina (IBA) (mL)	25	30
X3	Volumen de Nitrometano (NM) (mL)	1 400	1 500
X4	Velocidad de agitación (r.p.m.)	150	300
X5	Volumen de Etanol (ETOH) (mL)	0	0,5
X6	Tiempo de Reacción (horas)	3,5	4,5
RUIDO	Acidez del Furfural (RUIDO)	< 0,12%	0,12% – 0,30%

El rendimiento teórico hallado para la configuración que es la económicamente más factible por tener los niveles de las variables a nivel menos excepto el nitrometano, pero a pesar de ello está por debajo del valor histórico usado en el taller, queda expresado según la ecuación matemática:

Y= 0,609375 - 0,009375 (Temp.) - 0,005625 (IBA) – 0,005625 (NM) - 0,010625 (RPM) + 0,010625 (ETOH) + 0,006875 (TIME) + 0,010625 (RUIDO)

donde: Y es el rendimiento promedio en una serie de 16 síntesis anteriormente evaluadas. Según la configuración la solución de esta ecuación toma el valor de Y= 0,6062. (60,62%) Coeficiente de correlación 87,31%. El tratamiento estadístico se refiere en el trabajo.

Los resultados de la aplicación de la configuración encontrada llevan a un mejoramiento de los rendimientos de G-0 que alcanzan un valor promedio de 60 %. Al aumentar el rendimiento del crudo en el proceso se presupone una disminución del % de G-0 en el residual del taller.

Esta configuración fue evaluada en el taller durante 15 síntesis donde se obtuvo un promedio del 60,86 % en el proceso de síntesis, con un coeficiente de variación de 6,73 Se demostró estadísticamente que no existen diferencias significativas, para un nivel de significación de 0,05 % entre las medias entre los valores de las 15 síntesis(60,86 %) y el valor teórico(60,62 %) obtenido en el diseño.

En la siguiente figura se representa el rendimiento analítico de síntesis de G-O en las 15 síntesis realizadas, comprobándose la regularidad del proceso.

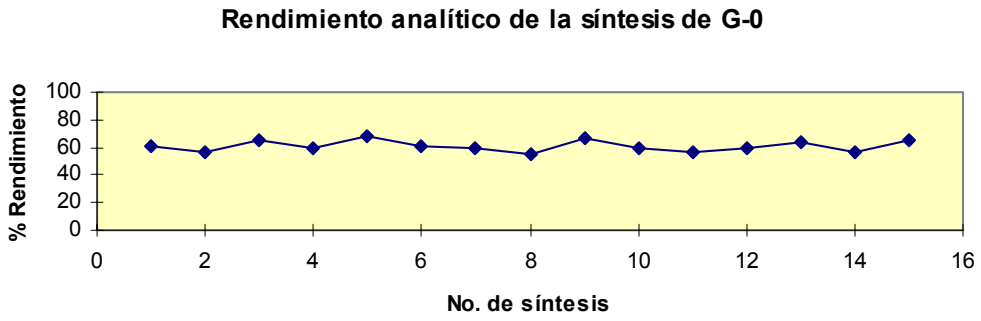


Figura 1 Representación del rendimiento analítico durante las 15 síntesis.

<u>Comparación de los rendimientos de G-0 crudos obtenidos desde el diagnóstico con técnicas analíticas hasta la aplicación de la configuración.</u>

En la tabla 2 se presentan un resumen del estudio de comparación de los rendimientos de crudos obtenidos en los tres métodos en los que se evaluó el proceso de síntesis de G-0.

Tabla 2: Resultados del estudio comparativo de rendimientos por tres métodos

	Diagnóstico				Diseño Fraccionado				Aplicación del Modelo			
N	Mcrudo planta	%	Mcrudo Anal.	%	Mcrudo planta	%	Mcrudo Anal.	%	Mcrudo planta	%	Mcrudo Anal.	%
X	882	52,8	843,7	50,5	1 016	60,9	891,9	53,5	1 186,7	71,1	1 015,1	60,9

Como se observa existe una intensificación del proceso de síntesis por aumento del rendimiento del crudo al encontrar una combinación adecuada entre las variables del proceso, pero aun quedan potencialidades en el sistema de perfeccionar por lo que se aplica un diseño factorial fraccionado.

En esta etapa de estudio experimental se toma en cuenta el tiempo de reacción entre el nitrometano y la isobutilamina (Tiempo de reacción 1) antes de añadir el furfural y el tiempo de reacción 2, el que transcurre a partir de la adición del furfural hasta la obtención del G-0. Todos los ensayos anteriores incluían el tiempo de reacción total (desde el inicio hasta el final de la reacción).

El furfural se fijó a 13,29 moles (1 100 mL), teniendo en cuenta los resultados de la configuración anterior, la IBA fue disminuida, el nitrometano le fue ampliado el rango pero hacia niveles superiores, la temperatura y el tiempo de reacción fue también ampliado el rango tomando como

centro el valor de la configuración anterior y se incluye un nuevo factor, el tiempo de contacto entre el nitrometano y la Isobutilamina.
Un diseño factorial fraccionado 2^{5-2} cuyos factores y niveles se representan en la tabla 3, se aplicó en el taller:
Tabla 3: Factores y niveles del diseño factorial fraccionado 2^{5-2} .

Variables	IBA (moles)	NM (moles)	Temp. ^{0} C	Tiempo de Reacción 1 (h)	Tiempo de Reacción 2(h)
Codigo	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
N.I	0,29 (11.66 mL)	27,17 (1 467mL)	110	1,0	3,0
N.S	0,45 (18.33 mL)	32.10 (1 733mL)	125	2,0	4,0

En la tabla 4 aparecen los resultados experimentales obtenidos en la planta de producción aplicando la matriz del diseño factorial fraccionado. Las funciones respuestas son: masa de crudo, rendimiento del crudo.
Tabla 4:Resultados del diseño factorial fraccionado.

Masa Cruda	Rend. Crudo %	Masa base pureza(g)	Pureza del Crudo(%)	Masa base pureza(g)	Rendimiento Real (%)
1 050	62,95	1 014,09	96,58	1 014,09	60,79
1 100	65,95	1 085,92	98,72	1 085,92	65,10
1 090	65,35	1 046,84	96,04	1 046,84	62,75
1 090	65,35	1 055,12	96,80	1 055,12	63,25
1 040	62,35	1 028,87	98,93	1 028,87	61,68
1 090	65,35	1 044,55	95,83	1 044,55	62,62
1 140	68,35	1 071,83	94,02	1 071,83	64,25
1 090	65,35	1 070,38	98,20	1 070,38	64,17
1 086	65,12	1 052,20	96,89	1 052,20	63,08

Del análisis de varianza de la masa cruda se infiere que las variables Isobutilamina, nitrometano, Temperatura y tiempo de reacción no son significativas (valor de $p > 0.05$). Al analizar las variables respecto a la pureza del crudo se observa que excepto la Temperatura que no es significativa, el resto es menor que 0,05 (tiempo de reacción 1 y 2) o muy próximo (nitrometano e Isobutilamina). El análisis estadísticos aparece en el cuerpo del trabajo
Obteniéndose para el rendimiento crudo y para la pureza del crudo, las ecuaciones de regresión siguiente:
RendCrudo = 65,125 + 0,375*IBA + 0,975*NM + 0,225*Temp + 1,125*Tiemp Reac. 1 – 0,375*Tiemp Reac. 2
Con un coeficiente de correlación (CC) de 89,63 %
PzaCrudo = 96,89 + 0,4975*IBA – 0,625*NM – 0,145*Temp –0,7375*Tiemp Reac. 1 + 1,0825*Tiemp Reac.2
C.C = 90,00 %
Al continuar la EVOP en el taller se decide aumentar en un mol las síntesis de G-0, con el objetivo de garantizar la cantidad de gramos para una síntesis de otro principio activo (G-1), por ser la materia prima fundamental para ello y además evaluar la presencia de solventes durante el tiempo reacción 1, aumentando la solubilidad del carbanión mediante la adición de un solvente más polar como el etanol y así mejorar los rendimientos y las propiedades organolépticas del producto.

Se aplica un diseño factorial fraccionado 2^{6-3} cuyos factores y niveles son ampliados teniendo en cuenta los resultados de la configuración anterior (tabla 5).

Tabla 5: Diseño factorial fraccionado 2^{6-3}

Variable	NM moles	IBA moles	ETOH.. mL	Tiem. Reac 1.	Temp. ^{0}C	Tiem. Reac 2
Codigo	X_1	X_2	X3	X_4	X_5	X_6
N.I	25,75 (1 390 ml)	0,37 (14,9 ml)	0,0	1,5	110	2,5
N.S	33,16 (1 790 ml)	0,60 (24,9 ml)	167	2,5	120	3,5
N.B	29,45 (1 590 ml)	0,48 (19,9 ml)	465	2,0	115	3,0

Algunos resultados se presentan en la tabla siguiente

Tabla 6: Datos del diseño para el crudo másico y analítico

Mcrudo	Pureza Crudo	Masa real G-0	% Rend Bruto	% rend. G-0 crudo.
1 040	96,45	1 003,08	57,55	55,51
1 115	94,93	1 058,50	61,70	58,58
1 100	93,01	1 023,11	60,87	56,62
1 070	97,09	1 038,86	59,21	57,49
1 196	97,73	1 168,85	66,19	64,68
1 145	97,79	1 119,70	63,36	61,96
1 245	53,34	664,08	68,90	36,75
1 090	83,91	914,62	60,32	50,62
1 050	96,45	1 012,73	58,11	56,04
1 210	94,93	1 148,65	66,96	63,57
1 130	93,01	1 051,01	62,53	58,16
1 170	97,09	1 135,95	64,75	62,86
1 215	97,73	1 187,42	67,24	65,71
1 200	97,79	1 173,48	66,41	64,94
1 230	53,34	656,08	68,07	36,31

Del diseño resultó que la ecuación de regresión es:

% RG-0 Crudo = 54,79 – 3,818 * Etanol – 4,188 * IBA + 3,463 * NM + 0,803 * tiempo de Contacto + 1,142 * tiempo de reacción. Con coeficiente de correlación de 59,34.

Como los resultados alcanzados no rebasan los valores alcanzados hasta esos momentos se pasa a recorrer el sector gradiente, en la tabla siguiente se presentan los principales resultados

Tabla 7: Resultados experimentales alcanzados en el sector gradiente

Medias	Masa de crudo	Rend.Crudo	Pureza %	Masa Crudo Anal.	Rendimiento Crudo Anal.
1	1 194,97	66,13	94,14	1 125	62,27
2	1 029,99	57,00	91,94	947	52,41
3	1 112,56	61,57	93,03	1 035	57,34
4	1 110,04	61,43	93,06	1 033	58,87
5	1 111,84	61,53	93,08	1 035	57,72
6	867,36	48,70	94,4	819	45,31

Los resultados obtenidos muestran que, con la combinación de las variables en el experimento 1, se obtiene un mayor rendimiento base crudo y analítico, siendo esta la combinación escogida para aplicarla en la planta en la sección de síntesis de forma sistemática.

Intensificación del proceso purificación del producto G-O

Para alcanzar purezas superiores a 99 % requeridas para este principio activo, es indispensable someter el G-0 crudo a un proceso de purificación donde los rendimientos reportados por la planta de producción antes del proceso de intensificación de la etapa de síntesis desarrollada en este trabajo oscilaban entre 48 y 69 % (media 63,4 %) (tabla 8).

Al aplicar el proceso de síntesis intensificado se incrementa estos rendimientos entre 60 y 81,4 % como se refleja en la propia tabla 11. Como se observa se parte para la intensificación de un proceso donde son muy elevados los coeficientes de variación productos de problemas técnicos y operacionales.

Tabla 8: Rendimientos de purificación en los dos métodos aplicados en el proceso de síntesis.

N^0.Sin.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	X_m CV%
Diag.	57,7	48,0	57,7	59,1	65,5	65,5	67,9	60,7	64,7	68,6	65,6	69,0		62,5 10 %
Intens.	68,6	77,6	63,8	81,0	76,5	60,6	70,8	70,5	76,8	66,7	73	81,4	69,6	72,06 8,8 %

Por lo que se decide aplicar un diseño tomando en consideración diferentes parámetros que permitiera aumentar el rendimiento en el proceso de purificación y estabilizar el mismo, ya que la dispersión aun es grande.

El diseño propuesto es un diseño factorial fraccionado 2^{6-3}. Las funciones respuestas seleccionadas para evaluar este diseño son el rendimiento analítico de la purificación y las masas de G-O en gramos presentes en los residuos del proceso (en el carbón y en el alcohol de purificación). Las variables fueron seleccionadas a partir de los factores que intervienen en el proceso de purificación y sus niveles en el intervalo de los datos históricos empleados en el taller. Para la evaluación del diseño se tomaron muestras en diferentes etapas de la purificación: En el producto crudo, en el carbón, en el residual etanólico y el producto purificado.

Los resultados analíticos de la determinación del G-O en una de las síntesis desarrolladas aparecen a continuación.

Tabla 9: Resultados analíticos de la determinación del G-O en el proceso de síntesis y purificación.

Sín.	Masa G-O crudo (g)	Masa G-O crudo(g) T.A.	Pureza (%)	%G-O carbón	masa G-O carbón(g)	% G-O en el etanol	Masa G-O etanol (g)	masa G-O puro(g)	masa G-O puro(g) T.A.	Pureza %
2	1 180	939,98	79,66	9,98	21,2	1,59	97,69	820	817,33	99,67
6	1 220	1 016,74	83,34	12,52	27,5	1,61	115,28	810	807,93	99,74
10	1 020	1 000	98,03	12,67	23,3	1,91	106,37	790	785,93	99,48

Puede notarse que las pérdidas en el proceso de purificación alcanzan un promedio de 26,46%, de las cuales el mayor % pasa a el etanol de purificación.

De la tabla de análisis de varianza de la masa de G-0 presente en el etanol residual de la purificación del crudo, puede apreciarse que no existen efectos significativos de los factores sobre la masa de G-0 en el etanol ya que todos los valores de probabilidad están por encima de 0,05. En el análisis de varianza de la función respuesta masa de G-0 en el carbón residual de la filtración del producto se aprecia un efecto significativo en la variable masa de carbón activado ya que p-value= 0,0062. También existe una variable medianamente significativa, la temperatura del baño (p-value= 0,0901).

Al evaluar el rendimiento analítico de G-0, la función respuesta más influyente en el análisis del diseño en el proceso de purificación, se observa que existen dos efectos significativos en las variables, la masa de carbón activado y otro medianamente significativo, el tiempo de contacto del carbón con la disolución de G-0 en etanol.

La media general de las variables es (MG)= 75,3456, y la influencia de los factores con respecto a la media general es +12,4351, por lo que la media prevista trabajando en las condiciones óptimas es 87,7807.

Y = 75,3456-0,864375(F.E.)–5,81813(C.A.)+1,403012 (Temp.B)+3,13812 (T.C) – 1,05062(Temp.S.)+0,160625 (T.S).

Partiendo de esta ecuación el rendimiento analítico teórico del G-O en el proceso de purificación es de 87.78 %. El coeficiente de correlación es de 82,37 %.

En la tabla 10 se exponen las conclusiones a las que se arribaron en este estudio del proceso de purificación.

Tabla10: Valoración del proceso de purificación del Taller de G-O.

VARIABLES	CONFIGURACIÓN PROPUESTA	VENTAJAS
FRACCION DE ETANOL	8 mL por gramo de G-O	Se ahorran aprox. 255 mL etanol
MASA CARBÓN ACT.	0,20 g por gramo de G-O	Se ahorran aprox. 76,5 g de carbón
TEMPERATURA BAÑO	60 ^{0}C	-
TIEMPO DE CONTACTO	20 min.	-
TEMPERATURA SEC.	45 ^{0}C	-
TIEMPO DE SECADO	3 h	-
RENDIMIENTO PROMEDIO ANALÍTICO	87.78 %	Posibilidad de aumentar el rendimiento en un 13%.

Posterior a este diseño se realiza la síntesis a una escala de 13 moles, con el objetivo de aumentar la masa de G-0 puro y utilizarlo sin necesidad de unir lotes para una síntesis de 6 moles de G-1. Se aplica un diseño factorial fraccionado 2^{6-3} en esta etapa, donde se tiene en cuenta la mejor combinación de las variables propuestas en el diseño anterior.

Los resultados alcanzados en el taller aplicando la matriz del diseño se exponen en la tabla 11.

Tabla 11: Resultados alcanzados al aplicar el diseño factorial fraccionado

NUM/Lote	Crudo	Rend Crudo	Puro	Ren Puro	Pza CRUDO	REND PURIF.	PZA PURO
1/25	1 270	70,28	985	54,51	94,72	77,56	100,43
2/22	1 190	65,86	939	51,96	94,48	78,91	98,37
3/23	1 230	68,07	976	54,01	94,55	79,35	99,53
4//24	1 210	66,96	899	49,75	93,81	74,30	99,27
5/28	1 170	64,75	850	47,04	96,54	72,65	100,79
6/26	1 170	64,75	948	52,46	95,8	81,03	100,53
7/27	1 200	66,41	897	49,64	96,7	74,75	100,06
8/29	1 210	66,96	946	52,35	89,88	78,18	101,37
Medias	1 206,3	66,75	930	51,47	94,56	77,09	110,04

Como puede observarse la media general de la masa de puro es 930 g mientras que del rendimiento de purificación es 77,09. Las ecuaciones matemáticas teniendo en cuenta las funciones respuestas escogidas se relacionan a continuación:

Mpuro = 930 + 3 * Etanol – 0,5 Carbón Activado – 19,75 tiempo de contacto – 2,25 Temp. Baño +11,75 Temp. Sec. + 33,75 tiem. de Centrifugación.

Rend. Purificación = 77,09 + 1,0137 etanol – 0,4462 Carbón Activado – 0,4387 tiempo de contacto + 0,1812 temp. + 0,2587 Temp.Sec. +1,9387 Tiempo de Centrifugación

Partiendo de ambas ecuaciones se puede alcanzar como masa teórica en el taller 956 g y como rendimiento teórico 79,60 %.

Intensificación por disminución del impacto ambiental

En el diagrama del procesos de producción de G-0 se observa que se emanan cuatros residuales : Gases pardos, Licor residual, Etanol Impuro y Carbón Impuro. Ninguno de ellos estaba caracterizado, que es la premisa fundamental para poder desactivarlo o reutilizarlo en otro proceso o en este mismo. El Centro de Bioactivos Químicos tiene que abordar esta problemática como necesidad imperiosa en la intensificación de la tecnología, para enfrentar los problemas ambientales

Gases Nitrosos:. La posterior reacción del NO_2 con el oxígeno atmosférico y el agua produce ácido nítrico. Este, al igual que el ácido sulfúrico, produce lluvias ácidas y otros efectos igualmente nocivos para el medio ambiente.
Por las razones anteriores, los gases generados en el taller de síntesis se propone absorberlo empleando trampas de agua y son caracterizados.

Residual líquido resultante de la centrifugación

Se encontraron las señales polarográficas del Producto Inhibidor de la corrosión. El costo para la desactivación de 50 L asciende a 42.47 usd.

Residual líquido (Etanol residual) resultante de la purificación del G-O.

Los volúmenes de alcohol que se emplean en cada síntesis son de 12 L/Kg. de G-0 producido, según la configuración de purificación propuesta, Gaytán, 2001 implementó una tecnología para la desactivación.
El costo para la desactivación asciende a 37,35 usd/50 L

Residual sólido resultante de la purificación del G-O.

Al carbón resultante de la purificación se le cuantifico la concentración de G-O presente en los mismos, obteniéndose valores que oscilan entre un 20 % y un 30 % de la masa del carbón usado.
Gaytán (2002), propone un tratamiento para la recuperación del carbón residual, partiendo de la cuantificación realizada en los mismos. El costo de la desactivación asciende a 730$ / ton de G-0.

Aplicación en el taller de la intensificación lograda en el proceso.

Al concluir la intensificación en síntesis, purificación y en los residuales se aplica en el taller los modelos obtenidos. Para comprobar la correspondencia de estos experimentos desarrollados con el modelo propuesto en la etapa de síntesis se realizó una prueba de hipótesis e comparación de medias tomando como hipótesis nula H_0: R=R1 y como hipótesis alternativa H_1: R≠R1, comparando el valor medio establecido en el recorrido del sector gradiente (R=62.27 %), con el valor medio obtenido en las 4 síntesis donde se aplicó las condiciones del experimento 1 del recorrido de la máxima pendiente, donde para un nivel de significación de 0.05 las medias no difieren significativamente. El rendimiento de purificación promedio es 76,16 % y la masa de G-0 puro obtenida es de 925 g con un coeficiente de variación de 2,3 % ,la pureza de todos los lotes está por encima de 99 %, lo que indica una correspondencia con el modelo planteado. El rendimiento total analítico de la etapa de síntesis es de 73 %. También el rendimiento total del proceso aumentó un 15 %, de un 32 % se alcanzó con la intensificación un 47,55 %.

Análisis del Ciclo de Vida del proceso de producción del 2-(2-nitrovinil)-furano

La intensificación de un proceso incluye la minimización de los efectos contaminantes del mismo y el aprovechamiento máximo de los efluentes residuales. El ACV enfocado a analizar el proceso de producción de G-0 permite alcanzar importantes decisiones económicas y ambientales en el mismo.

Objetivos del Análisis del ciclo de Vida del G-0.

Para realizar un Análisis de Ciclo Vida (ACV) de este proceso se necesita cumplimentar el esquema metodológico, es decir definir el objetivo en la fase uno, desarrollar el inventario dentro de la fase dos, mientras que en la tres y cuatro, evaluar el impacto ambiental y proponer mejoras respectivamente.
El objetivo general: "Realizar un ACV del proceso de producción de G-0 que permita evaluar las cargas ambientales asociadas al mismo, cuantificando las materias primas y las emisiones al entorno, para determinar el impacto y llevar a cabo en la práctica estrategias de mejoras ambientales" y considerando que el alcance del estudio comprende desde la llegada de la materia prima al CBQ hasta la obtención del G-0 puro, incluyendo además la caracterización de los residuales y las propuestas para las mejoras del proceso, al declarar la siguiente unidad funcional para el ACV "El rendimiento y la pureza con que se obtiene el G-0 durante el proceso de producción ambientalmente sostenible".

Desarrollo del inventario del ACV

Las etapas del inventario consisten básicamente en el registro de datos sobre los diferentes impactos ambientales que el sistema en estudio ejerce sobre el medio.

Los resultados que se alcanzaron durante la intensificación es la base del inventario.

En el primer subsistema, la reacción de síntesis de G-O, a 14 moles se realiza bajo las siguientes condiciones: El tiempo total que se emplea en la etapa de síntesis es de 5,3 h (2,1 en la reacción entre la IBA y el nitrometano en presencia de etanol y 3,1 en la reacción de síntesis después de añadir el furfural) y se añade 0,51 moles de (IBA), 30,06 moles de nitrometano, 6,9 moles de etanol y 14 moles de furfural. La temperatura del baño 115 ^{o}C, el rendimiento de la síntesis es de un 65 %

En esta etapa se genera un residual líquido que posee propiedades como inhibidor de la corrosión electroquímica, que no reúne los requisitos para ser comercializado en las condiciones actuales además un residual gaseoso que se absorbe en agua

Evaluación del Impacto

En esta etapa se evalúa la magnitud de los impactos ambientales teniendo como base el inventario, es decir se conocen los flujos del taller cualitativamente y cuantitativamente por haber aplicado las técnicas analíticas durante todo el Análisis Complejo de Procesos para intensificar el proceso.

Como se recomienda expresar los impactos mediante los ecoindicadores, se utilizará en este caso el Ecoindicador 95 para ello. En la tabla 12 aparecen expresados los valores de cada categoría de impacto como kilogramos del compuesto químico tomado como referencia en cada una de ellas, para el subsistema 1.

Tabla 12: Evaluación del impacto ambiental en el subsistema 1.

Sub Sist.	Flujo	Componentes	Categoría de Impacto	Unidad de medida	Kg de impacto/ ton. G-0 puro	Factor de Normalización	Factor de Valorización
1	PIC	G-0 Furfural NM IBA	*PFO PFO PCG PTH	Kg de C_2H_4 Kg de C_2H_4 Kg de CO_2 Kg Benzopireno	98.20 0.18 139 17.25	5,478 0,010 0,011 1 587	13,695 0,025 0,028 15 870
1	Gases	NO_x	PCG	Kg de CO_2	12.1	$9,25\ 10^{-4}$	$2,31\ 10^{-3}$

*PFO- Potencial de Formación de Oxidantes fotoquímicos.

PTH-Potencial de toxicidad humana por formación de agentes carcinogénicos.

PCG-Potencial de calentamiento global o efecto invernadero.

Mientras que el impacto ambiental del proceso de purificación aparece en la tabla 13.

Tabla 13: Evaluación del impacto ambiental en el subsistema 2.

Sub. Sist	Flujo	Componentes	Categoría de Impacto	Unidad de medida	Kg impac/ ton. G-0 puro	Factor de Normalización	Factor de Valorización
2	Etanol residual	G-0	PFO	Kg de C_2H_4	12.16	0,679	1,70
2	Carbón Resid.	G-0	PFO	Kg de C_2H_4	17.95	1,00	2,50

Resulta interesante agregar en esta evaluación del impacto ambiental que el caso del agotamiento de la capa de ozono es un fenómeno global causado por gases de un altísimo tiempo de

residencia, como lo es el CO_2 (50-200 años) y el N_20 (150 años), por lo que a pesar de las acciones emprendidas sus efectos se mantendrán latentes durantes cierto tiempo. El agotamiento del ozono contribuye al efecto invernadero y a la modificación del clima, y por lo que el calentamiento global puede agravar más aún la crisis del ozono (Llanes, 1999).
Otros problemas adicionales originan la disminución de la capa de ozono, un 1% de reducción ocasiona un aumento de 1-2 % en la radiación ultravioleta y un aumento de 3-4 % en tumores de la piel. Además los impactos sobre cultivos comerciales pueden elevados, ya que se supone una menor actividad fotosintética. También se estiman impactos nocivos en la cadena alimentaría marina.
Es evidente que el impacto que se origina en la etapa de síntesis-cristalización-centrifugación es muy superior al de la purificación (El factor de valorización expresado en micropuntos por el ecoindicador 95 es mayor) aspecto que hay que entrar a abordar para su disminución.

Evaluación de las mejoras en el ACV del G-O.

Ahora se está en condiciones de evaluar las mejoras en el ciclo de vida del G-O. Esta fase se cita como la última parte de la ACV, en ella se identifican las opciones para reducir los impactos.
La evaluación de las mejoras contribuye a aumentar la eficiencia de la entrada y de la salida al sistema lo que ofrece oportunidades en relación a las mejoras por unidad funcional.
La evaluación de mejoras consiste en evaluar sistemáticamente las necesidades y oportunidades de reducir las cargas medioambientales asociadas a las primeras materias primas y a las emisiones a lo largo de la totalidad del ciclo de vida del producto o proceso. Durante la intensificación se realizan mejoras en el proceso de síntesis y purificación, mientras que al evaluar las Mejoras en los Residuales (tabla 14), se tiene a pesar de la intensificación, un total de 15 887,95 milipuntos de impacto, debiéndose evaluar las oportunidades para reducir las cargas del medio ambiente.
Tabla 14: Mejoras alcanzadas en los Residuales del proceso.

Resultados de las Mejoras en los Residuales
-Gases nitrosos que se absorben en agua: Dejan de contaminar el medio ambiente y encuentran aplicaciones en nuestros laboratorios.
-Residual líquido del proceso de centrifugación: Se formula como inhibidor de la corrosión.
-Etanol residual durante la purificación: Se utiliza como materia prima para la formulación del inhibidor.
Carbón residual durante la purificación: Se trata para su posterior utilización en el taller o incineración en otras industrias.

Esto permite una reducción considerable del impacto ambiental que generan esos residuales, si se tiene en consideración la valoración realizada mediante el Ecoindicador 95. De los 15 887,95 milipuntos que alcanza el impacto ambiental de los residuales principales del proceso, se logra una reducción de un 99,98% ya que el tratamiento del carbón genera residuales líquidos.
El Análisis Complejo de Proceso alcanza su máxima expresión cuando se obtiene la mejor alternativa técnico-económica y ambientalmente compatible. A continuación se desarrolla el estudio de Análisis de Alternativas.

Análisis de Alternativa

Las alternativas se realizaron bajo la consideración de producir en reactores de 6 litros donde el proceso fue intensificado, durante un año de trabajo; teniendo en cuenta que:
En un reactor de 6 litros se puede producir 19 moles de G-0, pero en el CBQ solo puede producirse actualmente 14 moles por problemas con el equipamiento para la purificación y no se cuenta con el flujo monetario necesario para realizar la inversión.
La Electroquímica de Sagua solo necesita inhibidor de la corrosión electroquímica para inhibir 8 toneladas de HCl mensualmente (cantidad consumida por ALASTOR).

El G-0 puro tiene mercado como materia prima para la producción de G-1 y este a su vez para VITROFURAL y DERMOFURAL. Además cubrirá la solicitud inicial de aplicación como anticoccidiano y las investigaciones como antifúngico en la agricultura.
Las alternativas planteadas en este trabajo son seis:
En la tabla 15 aparece una comparación de las seis alternativas evaluadas en este trabajo.
Tabla 15: Comparación de las alternativas abordadas.

	Alt. 1	Alt. 2	Alt.. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6
Kg de G-0/a	639,45	1 679,7	639,5	1 679,7	1 679,7	En dependencia del año
Kg/a de INCORE	0	0	10 116	10 116	40 928	
CTP (usd)	136 464,95	236 943,11	137 173	236 035,6	261 804,65	
Valor Produc. (usd)	159 862,00	419 919,00	180 094,00	440 151,00	501 775,00	
Ganancia (usd)/a	23 397,05	182 976,00	42 920,07	204 115,39	239 971,30	
VAN (usd)	923,51	734 473,58	99 418,75	842 490,04	1 022 006,00	860 424,23
TIR %	12	51	22	56	64	58
PRD(años)	9,5	2,5	6,5	2,5	2,5	3,0

De acuerdo a estos valores, la planta de producción de G-0 debe optar por cualquier alternativa, ya que el VAN y el TIR son positivo y el PRD menor que los años de vida útil, aunque la Alternativa 1 no es atractiva. La alternativa 5 es la más idónea pero nunca el CBQ podrá llegar a esa alternativa sin transitar por el resto de las alternativas valoradas, por lo que la Alternativa 6 resulta la más adecuada para alcanzar la intensificación tanto técnica, ambiental y económica. En ella, dos de los residuales no son tratados ya que se convierten en productos comercializables por el CBQ, por lo que nuestro país deja de importar inhibidor incrementando considerablemente las ganancias.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se desarrolla una tecnología de producción del 2-(2-nitrovinil)-furano a escala industrial, única a nivel mundial, alcanzándose purezas superiores al 99 % siendo económica y ambientalmente compatible donde se logra el 62% de rendimiento de G-0 en síntesis (base crudo), un 76 % en el rendimiento de la purificación y un 48% de rendimiento total del proceso, no alcanzados hasta este momento; así como una disminución del impacto ambiental del 99,98% (según el Ecoindicador 95) brindando una solución a los residuales del taller, todo lo cual se alcanza a partir de la aplicación del Análisis Complejo de Proceso y el Análisis del Ciclo de Vida a la tecnología de producción instalada en el Centro de Bioactivos Químicos de la Universidad Central de Las Villas.
2. La Polarografía Diferencial de Pulso es un método analítico idóneo para el control del proceso de producción del 2-(2-nitrovinil)-furano y de su pureza no aplicado hasta el momento para estos fines, resultando el método analítico más conveniente debido a su gran sensibilidad, reproducibilidad y bajo costo.
3. El estudio de Análisis de Alternativas desarrollado teniendo en cuenta los aspectos técnicos-económicos y ambientales, indica que la Alternativa No. 6 es la más conveniente ya que encierra toda la estrategia que deberá realizar el taller de G-0 en el Centro de Bioactivos Químicos para alcanzar paulatinamente la intensificación del proceso con la realización de una necesaria inversión y la introducción oportuna del aprovechamiento de los residuales.
4. Se obtiene un Producto Inhibidor de la Corrosión Electroquímica formulado a partir de los residuales líquidos del proceso de producción de G-0, cuya eficiencia inhibidora es comparable a la de productos importados en el país y que brinda una fuente adicional de

ganancias al Centro de Bioactivos Químicos, siendo un importante aporte al financiamiento de la Alternativa que se propone en la intensificación del proceso de producción de G-0.

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

1. Allen, D. T., Rosselot, K.S. (1997) Pollution Prevention for Chemiical Processes, John Wiley, Nueva York.
2. Alvarez, S. y col. (1999). Análisis de procesos y medio ambiente. Memorias del II Taller Internacional de Análisis de Procesos. La Habana, Cuba.
3. Anónimo. Acta del Consejo Científico, abril de 2002. Archivo del Centro de Bioactivos Químicos.
4. Asociación Española para la Promoción del Desarrollo del Análisis del Ciclo de Vida (Ed.) (2000). Estado actual y perspectivas de futuro del Análisis del Ciclo de Vida en España. CV Edición, Barcelona, España.
5. Baas, L., (1994). Cleaner Production Activities and Policy Initiatives in The Netherlands Since the Finalization of Prism. IVAM, Learner Production Training, Amsterdam.
6. Berry, I., Nash, R. (1993). Pharmaceutical Process Validation. Second Edition, Marcel Dekker, Inc. New York.
7. Bustani, A. (2000). Análisis del Ciclo de Vida de un producto. Ponencia en el Centro de Calidad Ambiental, Mexico. Comunicación personal.
8. Cabrera, X. (1996). Evaluación de compuestos furánicos y sus derivados como inhibidores de la corrosión del acero al carbono en contacto con soluciones diluidas de clorhídrico. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central de Las Villas, Cuba.
9. Casado , F. , Fullana, P. (1997). Ventajas Competitivas del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en el ámbito empresarial. *Innovación Química*, 26, 58-60..
10. Centeno, J. C. (1998). Los gases del efecto Invernadero, Taller sobre Medio Ambiente, Mérida, Venezuela.
11. Fullana, P. Y col. (1997). El Análisis del Ciclo de Vida como herramienta de gestión dentro del mundo industrial y empresarial. *WinEmpresa,* 14, 18-22.
12. Fullana, P. Y col. (1997). El Análisis del Ciclo de Vida. Editorial Rubes, Barcelona, 1997.
13. Gaytán, E. y col.(2001). Descontaminación de residuales en el laboratorio de producción de bioactivos químicos. CD-ROM Resúmenes de ponencias de la Conferencia Medio Ambiente Siglo XXI. CDICT de la Universidad Central de Las Villas,. Santa Clara, Cuba.
14. Goedkoop, M. y col. (2000). The Ecoindicator 99. Manual for Designers.
15. González E. y De la Cruz, R. (1999). Alternativa para la combinación de sustratos para la fermentación alcohólica en la destilería anexa al CAI Melanio Hernández. *Centro Azúcar,* Julio-Sep.
16. Özaltin, N. (2000). Differential pulse polarographic determination of tenoxicam in pharmaceuticals and added to blood, *Anal. Chim. Acta*, 406(2): 183-189.
17. Llanes, J., (1999). Políticas Económicas Ambientales. Editorial de Ciencias Sociales, La Habana, Cuba.
18. Rieradevall, J. (2000). Ecodiseño. Editorial Rubes, Barcelona, España.
19. Rieradevall, J. (2001). Herramientas de Mejora Ambiental. Disertación Segunda edición Evento Medio Ambiente siglo XXI, UCLV.
20. Segura, V. C. (2001). La evaluación del Impacto Ambiental. Taller sobre ACV en la Federación Española de Piedra Natural, España.
21. Smith R. (1996). Chemical Process Design, McGraw-Hill, New York.
22. Van Berkel. R. y col. (1997). The relationship between Cleaner Production and Industrial Ecology. *Journal of Industrial Ecology,* 1, 1, 51-66.

PERFILES TERMOENERGETICOS Y APROVECHAMIENTO DE LOS COPRODUCTOS DE LA CAÑA DE AZUCAR EN MÉXICO.

TERMOENERGETICAL PROFILES AND EXPLOITATION OF SUGAR CANE BY PRODUCTS IN MÉXICO.

Manuel Enríquez Poy.
poymanuel@prodigy.net.mx.

"RESUMEN"

Tradicionalmente, la industrialización de los coproductos de la caña de azúcar en México representa uno de los mayores aprovechamientos agroindustriales; no obstante, en los últimos años, severas crisis han venido convulsionando al sector, precisamente a raíz de la implantación de políticas neoliberales de la apertura indiscriminada de fronteras.

México ocupó lugar preponderante en lo que a producción de celulosa a partir de bagazo se refiere, hoy solamente quedan dos plantas utilizando dicha materia prima, con peligro de sustituirla por otros sucedáneos (papel destinado a pulpas importadas).

La producción de etanol, ha quedado relegada debido a su elevado costo de producción y a la ausencia de planes para su aprovechamiento asociado a los renglones petroquímicos y a la falta de una infraestructura, tanto de producción, como de distribución.

Recientemente, una importante empresa productora de aminoácidos "LISINA" y "TREONINA" ha cerrado sus puertas ante la incapacidad de competencia.

Estos son solo unos cuantos ejemplos, sin dejar de olvidar las frustrantes iniciativas para producción de furfural, carbón activado y tableros aglomerados.

En el trabajo se presentan los principales perfiles termoenergéticos y de producción de la agroindustria cañera mexicana, evaluando el potencial de los coproductos y materiales intermedios "mieles ricas", como bujía integradora de cadenas productivas.

Ante la expectativa de afrontar una fuerte competencia tanto de países grandemente exportadores de azúcar (BRASIL), como en otros endulzantes "jarabes de maíz ricos en fructosa" (USA); queda por delante sortear el reto únicamente con la riqueza que proporciona la diversificación.

"SUMMARY"

Traditionally, the industrialization of sugar cane by products in Mexico represents one of the main agroindustrial exploitation.

But recently, severe crisis had convulsed the sector, precisely due to the implementation of neoliberal policies of indiscriminating opening of frontiers.

Mexico used to occupy an important place in the field of the cellulose production from waste pulp. Today, there are only two factories which use such a raw material, and we face the danger of having to substitute it by other materials (dyed paper or imported pulps).

The production of ethanol has been relegated due to the high cost of production and to the lack of plans for its exploitation associated to the petrochemical items and the lack of infrastructure for production and distribution.

Recently, an important factory which produced the amino acids "LYSINE" and "TREONINE", has closed down due to its incompetence in front of its competitors.

These are only a few examples. We should not forget the frustrated initiatives to produce furfural, activated charcoal and agglomerated panels.

In this paper, we present the main thermoenergetic profiles and those of the Mexican sugar cane agroindustry, evaluating the potentiality of the byproducts and "the rich molasses" intermediate materials as an integrative spark for producing productive chains.

In front of the expectative of confronting a strong competition from great sugar export countries (Brazil) and from other "corn syrups rich in fructose" (USA), we face ahead the challenge of fighting them only with richness given by diversification.

Palabras clave

COPRODUCTOS – BY PRODUCTS
ALCOHOL ETILICO – ETHANOL
COMPOSTA – COMPOST
COGENERACION – CO GENERATION
MIELES RICAS – RICH MOLASSES

INTRODUCCIÓN.

México ocupa el séptimo lugar entre los países productores de azúcar, con una producción que oscila alrededor de los cinco millones de toneladas métricas @ 99.4 pol., se elaboran cuatro diferentes tipos de edulcorante de sacarosa:

- Mascabado (crudo) 96,0 POL
- Estandar 99,4 "
- Blanco especial 99,7 "
- Refinado 99,9 "

Calidades todas sujetas a la especificación que marca la normatividad de las Normas Mexicanas **NMX**(1).

Si bien la sacarosa ha sido tradicionalmente el objetivo principal de la industrialización de la caña en los ingenios; paralelamente la elaboración de alcohol hidratado se ha obtenido a partir fundamentalmente de las mieles incristalizables **melaza**. Ambas producciones, aparejadas al empleo del bagazo como combustible en los hogares de los generadores de vapor, han caracterizado a un agrosector con grandes atrasos tecnológicos, pero también importantes expectativas de desarrollo a futuro.

Paradójicamente, la experiencia acumulada con los años en lo que a industrialización de coproductos se refiere, ha sido por demás importante, aunque casi siempre desarrollada hacia el exterior del agrosector.

En síntesis, esta casi cinco veces centenaria agroindustria cañera en México confronta hoy un doble reto; por una parte, la competencia con otros edulcorantes (jarabes de maíz ricos en fructosa y aquellos de índole hipocalórica), y por la otra, la urgencia de impulsar proyectos de diversificación con economía de escala capaz de sortear la fuerte competencia con productos sucedáneos del exterior.

AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZUCAR EN MÉXICO. GENERALIDADES.

INDICADORES DE PRODUCCIÓN

AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZUCAR EN MEXICO INFORMACION GENERAL ZAFRA 2002/2003

CONCEPTO	UNIDADES	2002/2003	MAX.OPTIMA
SUPERFICIE INDUSTRIALIZADA	HAS.	605,761.22	635,625
CAÑA POR HECTAREA	TONS.	72.55	74.87
AZUCAR POR HECTAREA	KGS.	8,135	8,180
CAÑA MOLIDA BRUTA	TONS.	43,948,244	47,353,042
FIBRA EN CAÑA	%	13.88	13.88
PRODUCCION DE AZUCAR: TOTALES (REALES)	TONS.	4,927,574	5,174,027
RENDIMIENTO DE FABRICA	%	11.21	11.36
TIEMPO PERDIDO TOTAL:	%	21.43	21.43
PETROLEO CONSUMIDO TOTAL	LTS.	550,575,019	550,575,019
PETROLEO FAB. POR TON. CAÑA	LTS.	11.19	11.19
PETROLEO FAB. POR TON. AZUCAR	LTS.	99.76	99.76
PETROLEO POR LT. FAB. ALCOHOL	LTS.	1.16	0.78

Figura 2

COPRODUCTOS. APROVECHAMIENTOS “REAL” Y “POTENCIAL”

Figura 3

Figura 4

Figura 5

Figura 6

CONCEPTO	UNIDADES	2002/2003	MAX.OPTIMA
MIEL FINAL A 85° BX APORTADAS FABRICA DE ALCOHOL	TONS.	167,384.00	276,415
ALCOHOL PRODUCIDO	LTS.	39,205,777	67,050,234
ALCOHOL POR TON. MIEL A 85° BRIX	LTS.	234.23	249.05

Figura 7

PERFILES TERMOENERGETICOS

Figura 8

ESQUEMAS TERMODINÁMICOS EMPLEADOS

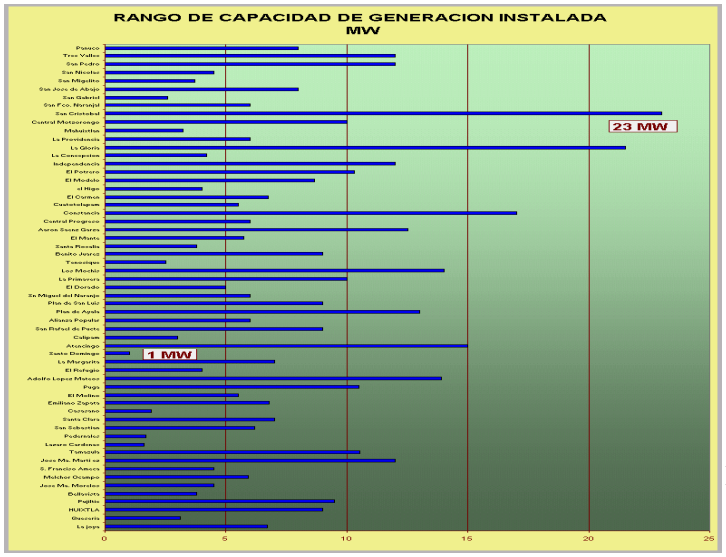


Figura 9

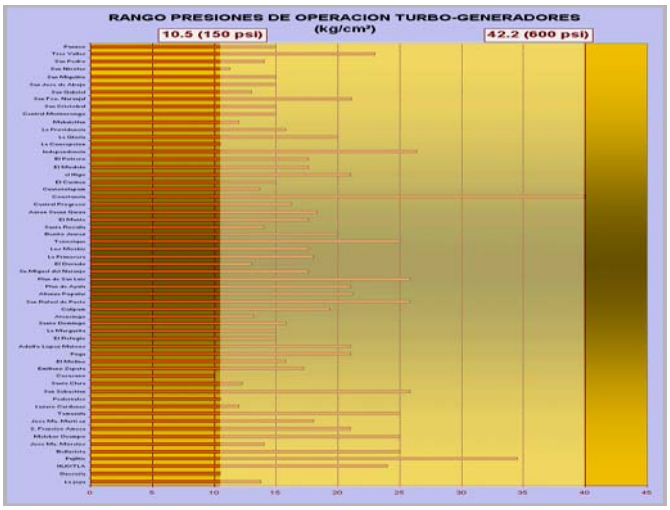


Figura 10

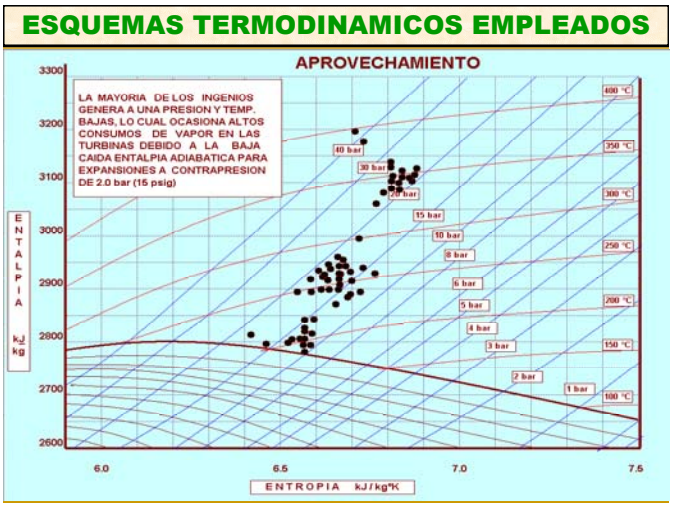


Figura 11

INDUSTRIALIZACION DEL BAGAZO.

Tal como se señalara en la introducción, se incinera un 95% de este coproducto en los hornos de los generadores de vapor (con poder calorífico medio de aprox. 2.100 kcal/kg.).

El resto del bagazo, se destina a la producción de celulosa en dos plantas industriales del estado de Veracruz. En el pasado, la producción de papel utilizando dicha materia prima fue significativa ; desmotivándose por la competencia con celulosas de importación y papeles destintados.

ANTECEDENTES DE APROVECHAMIENTO.

* ***furfural***.

Ingenio Xicoténcatl (hoy Aarón Sáenz), del edo de Tamaulipas. La competencia con el producto obtenido por la ruta petroquímica y problemas asociados al desalojo de los residuos industriales canceló esta iniciativa.

****tablas duras***.

Ingenio Queseria, del edo. de Colima. Las reducidas economías de escala y la competencia con los tableros de astillas de madera, provocó la suspensión de actividades en el corto plazo.

****plafones***.

Planta anexa al ingenio La Primavera. del edo. de Sinaloa. Allí se empleó el proceso de formación en húmedo hasta su cierre hace ya muchos años ,por causas similares al caso anterior.

****carbón activado***.

Se realizaron pruebas en el Ingenio San Cristobal, no trascendiendo la iniciativa.

****densificado y peletizado*** $_{(2)}$**.**

Trabajos orientados a la compactación del bagazo utilizando vinaza concentrada como aglutinante, fueron desarrollados en el Ingenio Oacalco, edo. de Morelos.

OTRAS EXPERIENCIAS EXITOSAS.

****bagazo hidrolizado***.

Se reporta una experiencia en la década de los 90's., del siglo pasado, en el ingenio Casasano de Morelos. Se integró el producto en las raciones para alimentación de ganado vacuno.

Posteriormente el proyecto se retoma en Central Motzorongo e ingenio el Refugio en su fase de industrialización y comercialización entre ganaderos de los estados de Veracruz y Tabasco.

productos moldeados *"fertibagacetas".

Figura 12

Figura 13

Recipiente ecológico desarrollado por Central Motzorongo, para la germinación y reproducción de caña y demás especies vegetales. Se incorpora en la formulación compost, como biofertilizante adicional a la materia orgánica.

EL CASO DEL ARBOL DE LA CAÑA.

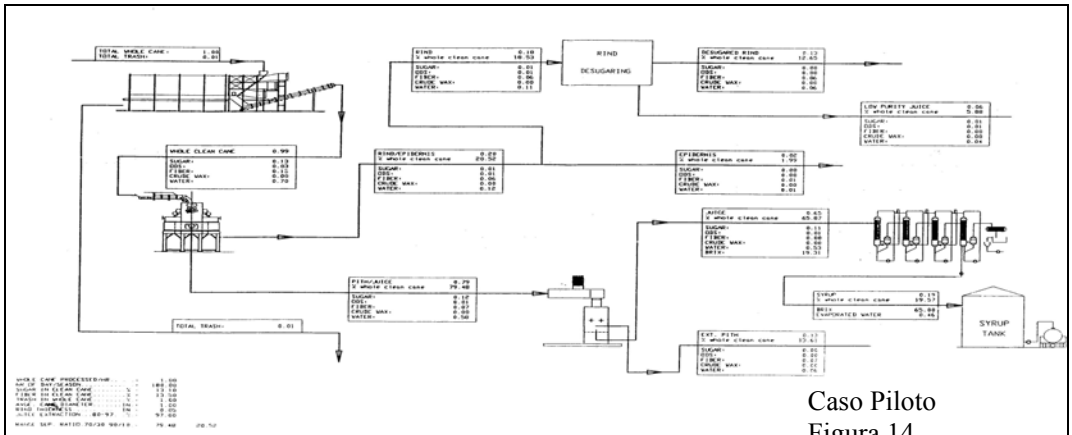
Con el fin de impulsar el aprovechamiento integral de la gramínea, hace una década se transformaron las instalaciones del ingenio La Purísima de Jalisco, adaptándose el proceso de descortezado de la caña; desafortunadamente, esta experiencia se vió frustrada más que por problemas conceptuales y/o tecnológicos, por una nueva etapa de las crisis que caracterizan a nuestro agrosector (mercado interno de azúcar).

Con este bagaje a cuestas, en el año 1993,ingenio El Refugio de Oaxaca, conjuntamente con una industria de jugos y néctares, retoma la idea original, instalándose una planta piloto con capacidad para procesar 1 t /h , con el sistema de descortezado ,extracción por prensa de tornillo, purificación por ultrafiltración y concentración del jugo en evaporador de placas.

Se obtuvo un ***jarabe de sacarosa*** (con la posibilidad de invertirse), el cual se empleó como agente edulcorante en jugos embotellados para la realización de pruebas de mercado.

Para mala fortuna de los promotores, el arribo de los "***jarabes de maíz ricos en fructosa***", impidió, cuando menos temporalmente, escalar la iniciativa a su fase industrial.

Se presentan a continuación los balances tanto de la operación experimental como la propuesta extendida a una planta de 70 t/h.



Caso Piloto
Figura 14

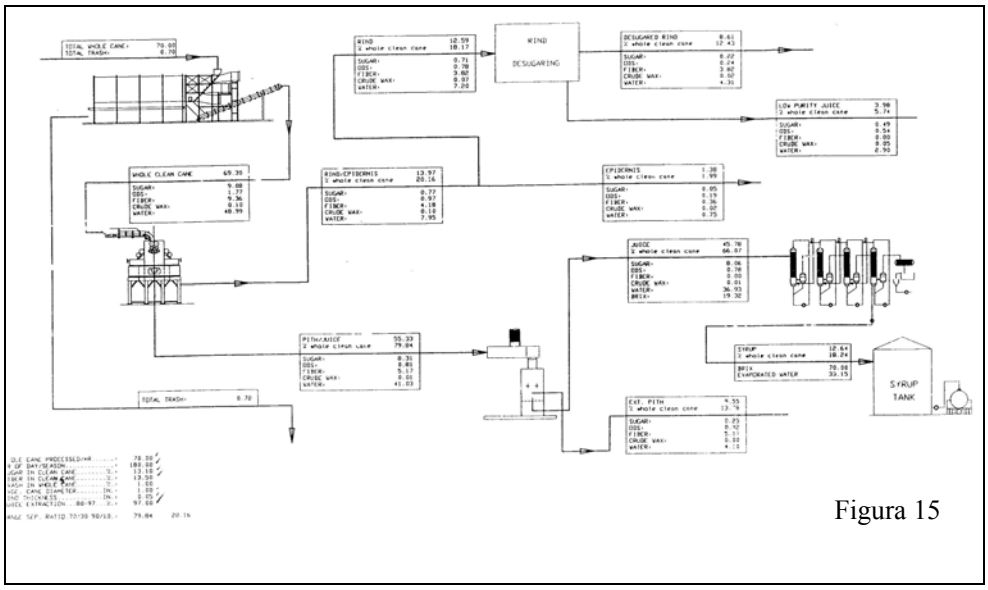


Figura 15

INDUSTRIALIZACIÓN DE LAS MIELES INCRISTALIZABLES

El destino de las también llamadas ***melazas*** se ha orientado fundamentalmente en dos direcciones: aprovechamiento interno y exportación. Se resumen a continuación algunas de las experiencias más representativas correspondientes a la industrialización de éste coproducto.

- ***Etanol.***

El destino de las mieles finales para la obención de ***alcohol hidratado***, ha sido común ; destinándose el producto básicamente para la elaboración de bebidas espirituosas y perfumería.

- E***tanol anhídro.***

La producción de éste tipo de alcohol dio inicio hace unos cuantos años; precisamente cuando se instalaron sendas columnas deshidratadoras (**tamiz molecular)**, en las destilerías de los ingenios Independencia (hoy localizada en el ingenio La Gloria) y San Nicolás, ambos del edo. de Veracruz .

Con el fin de evaluar la posible utilización de esta alternativa como oxigenante de las gasolinas consumidas en la zona metropolitana del Valle de México, se realizaron pruebas con diferentes concentraciones (3, 6 y 10 %) mezclado con gasolina base, midiéndose las emisiones contaminantes y la propensión a la formación de ozono.

Figura 16

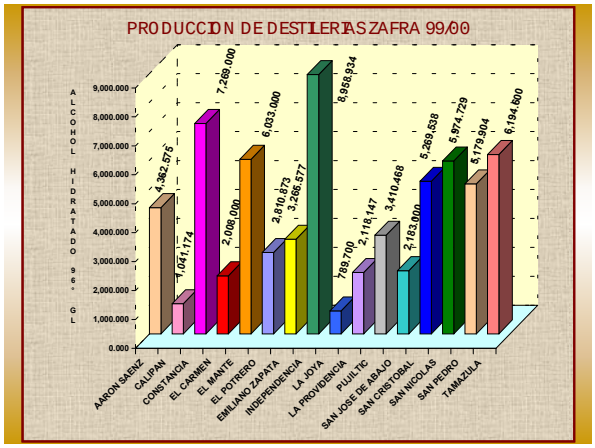
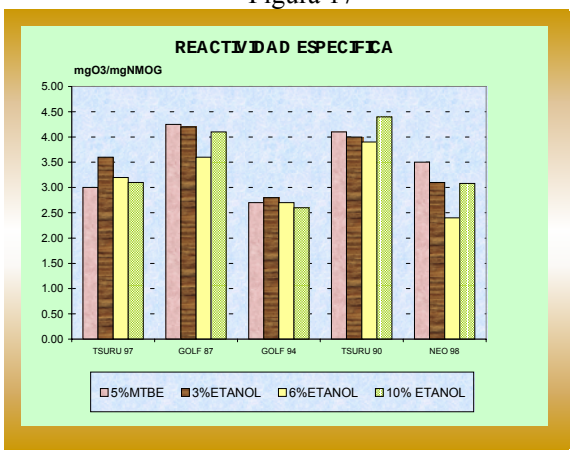


Figura 17



Desafortunadamente, su elevado costo de producción, aunado a la falta de apoyos e infraestructura para distribución y mezcla con la gasolina, mantienen el proyecto engavetado.

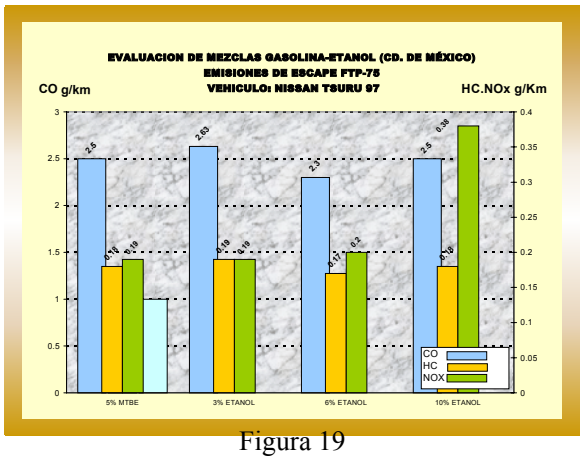


Figura 19

EMPLEO DE ETANOL C_2H_5OH EN MEXICO

(PRUEBAS COMO ALCOHOL-CARBURANTE)

DETERMINACIÓN	5% MTBE	3%ETANOL	6% ETANOL	10%ETANOL(*	ETANOL
PESO ESP. 20/4 ° C	0.7444	0.7436	0.7475	0.7488	0.7885
PVR, lb/pulg 2	7.27	7.58	7.69	8.03	1.92
RON	91.2	91.5	90.6	92.3	
MON	83.6	84	83.6	84.2	
(RON+MON)/2	87.5	87.8	87.2	88.3	
D-86					
AL 10% °C	64.8	62.7	58.1	57.1	79.3
AL 50 % °C	108.5	110	108.7	105.3	79.3
AL 90 % ° C	172	171.1	168.5	169.3	79.3
TFE	212.2	213.3	210	209.7	79.4
AZUFRE, ppm	690	640	640	560	
AROMATICOS % vol	25	25	24.8	27.1	
OLEFINAS %vol.	11.2	11.8	10.9	11.7	
BENCENO % vol.	1.1	1.2	1.1	1.1	
OXIGENO % vol.	1	1	2	3.7	
PODER CALORIFICO, Btu/lb	18498	18319	18140	17901	12536

- ***Levadura para panificación.***

Existen varias plantas que utilizan las mieles finales para éste fin (La Florida , La Azteca y Safmex; instaladas en el D.F y en el edo. de México. El consumo es mayoritariamente para el mercado doméstico, exportándose un porcentaje limitado de la producción.

En ocasiones, la levadura, en forma de crema autolizada se ha empleado con éxito para la inversión de sacarosa, por la relación "***rapidez de inversión /costo".***

- ***Aminoácidos***

Otra importante aplicación de la melaza como fuente de carbono para procesos de fermentación química, fue desarrollollada durante tras décadas en la empresa Fermentaciones Mexicanas, del edo. de Veracruz. Los productos obtenidos fueron: ***glutamato monosódico; treonina; triptofano y l-lisina.***

Aquí aparece una víctima más de la globalización , no obstante ser una empresa trasnacional del Japón , a raíz de la competencia en la porción de las exportaciones que realizaba (más del 70 % de su producción); provocando su cierre definitivo hace ya varios meses.

- ***Mieles ricas(3)***

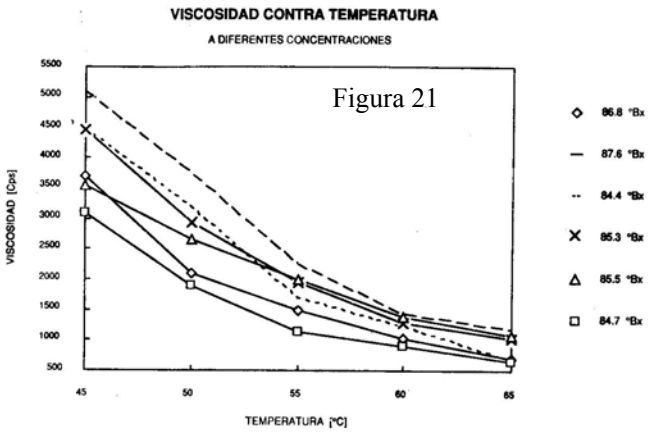
Esta información corresponde al denominado ***proceso melacón (meladura invertida)***, desarrollado en el ingenio Oacalco, edo Morelos, donde se procesaron cerca de 25,000 toneladas métricas de meladura, invirtiendo la sacarosa hasta purezas tales que aseguraran su no cristalización; habiéndose concentrado posteriormente a 85° Bx . Su destino final fue la producción de aminoácidos.

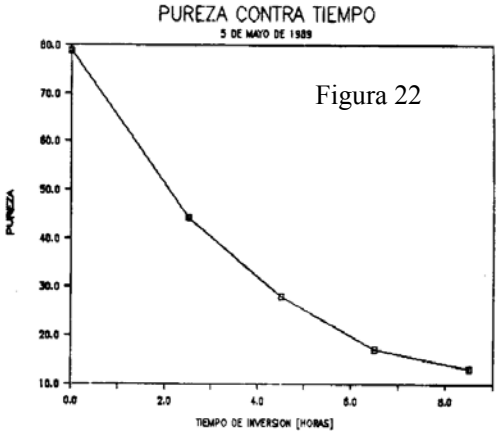
ANALISIS TIPICO DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS DE MIEL FINAL Y MELACON OBTENIDAS DEL INGENIO OACALCO, S.A. [8]

	MIEL FINAL	MELACON
Azácares Totales %	54.71	75.05
Azácares Reductores %	19.79	39.89
Cenizas	7.67	2.76
N Total %	1.2	0.81
N Amoniacal	0.25	0.094
K %	0.614	0.69
Na %	0.025	0.0875
Ca %	0.723	0.304
Mg %	0.427	0.143
Al ppm	125	176
Fe ppm	203	145
Mn ppm	11.2	6.78
Zn ppm	5.92	2.11
Cu ppm	5.16	8.61
P total ppm	487	186
P orgánico ppm	-0-	-0-
Sólidos totales	76.55	82.41
Boltina ppm	241	198
N orgánico	0.95	0.716

Figura 20

Figura 18





Las repercusiones más evidentes se manifestaron tanto en el incremento de los rendimientos industriales, al contarse con una materia prima de calidad más homogénea que las tradicionales melazas y una drástica disminución de los niveles de contaminación.

En otro sentido, la reutilización de los residuales de la fermentación, se concentraron convirtiéndose en un fertilizante líquido **CMS,(4)** con especificaciones que seguidamente se señalan.

COMPOSICION CMS		
Elementos y Compuestos	Valores	Unidad de Medida
Nitrogeno Total	4.49	%
Nitrogeno Amoniacal	3.37	%
Nitrogeno Organico	1.12	%
Fosforo	2700	Ppm
Potasio	10070	Ppm
calcio	870	Ppm
Magnesio	1196	Ppm
Manganeso	267	Ppm
Zing	2.52	Ppm
Cobre	1.44	Ppm
Solidos totales	40	%
Ceniza	8	%
L-Lisina	3.55	g/l
Densidad	1.18	g/cm^3

Tabla I

Dentro de los trabajos de investigación con las mieles intermedias, cabe destacar la experiencia al emplear ***miel"b"con*** como materia prima para la elaboración de alcohol hidratado en la destilería del ingenio El Carmen.

Los resultados denotaron un aumento neto de 30 litros por tonelada, comparativamente con el empleo de la melaza tradicional (235 – 268 l/tm).

- ***Alimento para ganado***

Uno de los destinos importantes de la miel final ha sido precisamente el enunciado del inciso, ya sea a través de la formulación de un forraje rudimentario en base a esquilmos y/o coproductos de diversas industrias regionales; o bien mediante raciones comerciales formuladas científicamente por empresas fabricantes del ramo.

Otra variante ensayada fue la producción de ***blocks nutricionales*** , con diversas composiciones:

BLOQUES NUTRICIONALES MEZCLA NUMERO 1		
Elementos y Compuestos	Valores	Unidad de Medida
Melaza	50	%
Urea	10	%
Sal	2.5	%
Fosfato	2.5	%
CaO2	10	%
Bagacillo	25	%

Tabla II

BLOQUES NUTRICIONALES MEZCLA NUMERO 2		
Elementos y Compuestos	Valores	Unidad de Medida
Melaza	50	%
Urea	10	%
Sal	4	%
Fosfato	4	%
CaO2	8	%
Salvado	6	%
Bagacillo	18	%

Tabla III

Figura 23

Figura 24

- ***Aditivo para concreto***

El Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto realizó ensayos con la melaza como aditivo para materiales de construcción.

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CACHAZA

El tradicionalmente fácil desalojo mezclado con las aguas residuales del hasta hace poco llamado ***residual del proceso***; cambió radicalmente de unos años a la fecha, al separarse la cachaza en tolvas para su remisión en carros de volteo directamente a los campos aledaños al ingenio, como simple mejorador de suelos.

Más recientemente, con la incorporación de los procesos de composteo (natural e inducido), la producción de los llamados abonos orgánicos empieza a ser una realidad en gran cantidad de ingenios del país. En algunos casos, se cuenta con certificación oficial para la fertilización de ***productos orgánicos***.

COMPOSICION QUIMICA DE COMPOSTA

MATERIA ORGANICA	43.00%
NITRÓGENO	2.10%
FÓSFORO	0.75%
POTASIO	1.20%
PH	6.90%
HUMEDAD	30.00%
CALCIO	0.47%
MAGNESIO	0.40%
RELACION CARBON/NITROGENO	20:01

Tabla IV

La aplicación realizada en siembra de caña es a razón de tres toneladas por hectárea.
Otro nicho de oportunidad se presenta con la denominada ***vermicomposta,*** en cuya producción se utiliza una variedad de lombriz conocida como Eisenia Foetida.

COMPOSICION QUIMICA DE LOMBRICOMPOST

MATERIA ORGANICA	52.00%
NITROGENO	2.80%
FÓSFORO	1.00%
POTASIO	1.30%
PH	7.20%
HUMEDAD	22.00%
CALCIO	0.47%
MAGNESIO	0.40%
RELACION C/N	19:01

Tabla V

La incorporación de ***biofungicidas*** con la composta, se realiza en Central Motzorongo. Se aislaron más de 500 microorganismos, principalmente hongos y bacterias. Varias cepas demostraron actividad antifungal, inhibiendo el crecimiento de patógenos como ***Fusarium, Rhizoctonia y pythium.***; otras con actividad herbicida y otras más promotoras de crecimiento.

En este congreso se presenta un trabajo alusivo a este tema "***Producción de biopesticidas aislados de compostas de la agroindustria de la caña de azúcar".***

APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Con la realización de ***auditorias ambientales*** , surgieron nuevos esquemas tendentes al rebalance hidráulico de las instalaciones fabriles; reduciéndose el consumo del recurso externo y optimizando el aprovechamiento del ***agua vegetal*** contenida en la caña.

La instalación de torres de gran tamaño para el enfriamiento y recirculación de las aguas de condensación en evaporadores y tachos, es fácil observar ya en muchos ingenios; con lo cual se reduce drásticamente el consumo del recurso hídrico de refresco. Más recientemente, la instalación de pequeñas torres de enfriamiento departamentalmente ubicadas, ha permitido una reducción significativa adicional del vital recurso.

No obstante lo anterior, la forma más viable económicamente de desalojo de las aguas residuales, es a través de sendos sistemas de riego tecnificado; cuidando fundamentalmente que la aportación de la materia orgánica mezclada no vaya a contaminar algún manto freático o vaso receptor. Esto, además de asegurar una drástica disminución de los niveles de contaminación , beneficia sin duda a varios cientos de hectáreas aledañas.

En méxico, solamente un Ingenio descarga a Sistemas de recepcion y tratamiento municipal "El Molino".

Figura 25

La utilizacion de pequeñas plantas de tratamiento con procesos anaerobios, se observa también en algunas fabricas. Se resumen a continuacion los resultados en lo que a produccion de gas metano se refiere:

% de CH_4 determinación en cromatógrafo de gases (5)	
lodo 10 % + agua residual 90 %	69.61
Lodo 25 % + agua residual 75 %	73.23
Lodo 50 % + agua residual 50 %	74

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA Y PERSPECTIVAS DE COGENERACIÓN.

El concepto de Cogeneración, es casi tan antiguo como la propia industria Azucarera (producción simultánea de energía eléctrica y calor al proceso), se aplica en prácticamente todos los Ingenios del País; aunque con eficiencias relativamente bajas, debido a los esquemas termodinámicos empleados.

El costo de generación por kilowatt-hora, asciende aproximadamente a US $ 0.055, (considerando por supuesto, el valor energético del calor enviado al proceso.

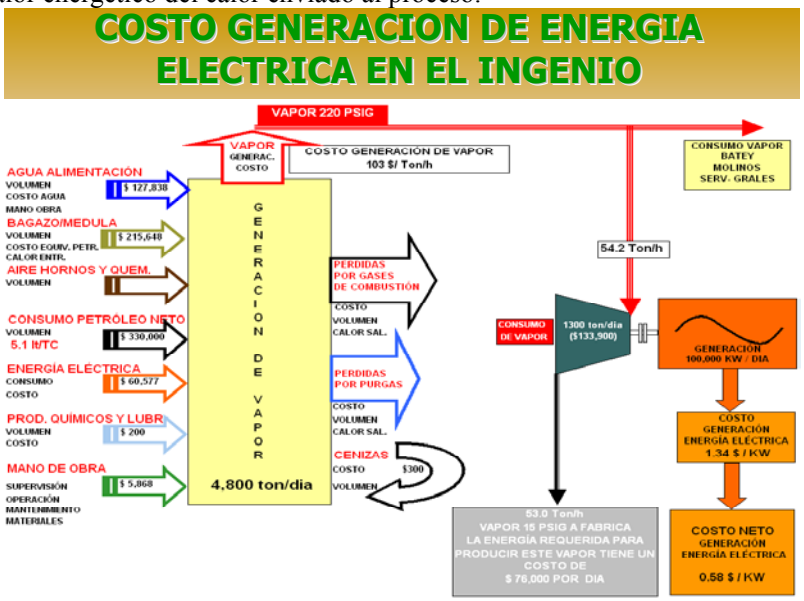
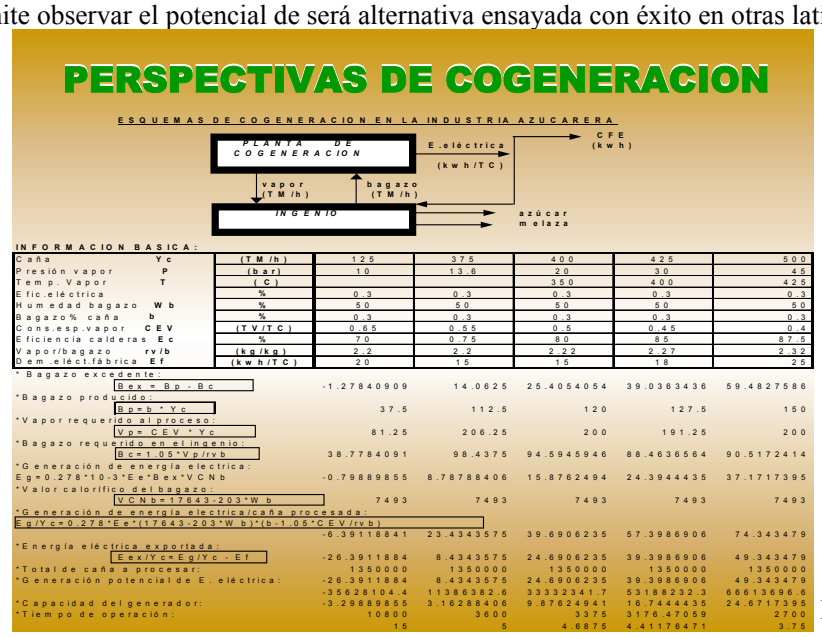


Figura 26

Ahora bien un análisis basado en la metodología del fondo común de proyectos de las Naciones Unidas, nos permite observar el potencial de será alternativa ensayada con éxito en otras latitudes.



INFORMACION BASICA:						
Caña Yc	(TM/h)	125	375	400	425	500
Presión vapor P	(bar)	10	13.6	20	30	45
Temp. Vapor T	(C)			350	400	425
Efic.eléctrica	%	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Humedad bagazo Wb	%	50	50	50	50	50
Bagazo% caña b	%	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Cons.esp.vapor CEV	(TV/TC)	0.65	0.55	0.5	0.45	0.4
Eficiencia calderas Ec	%	70	0.75	80	85	87.5
Vapor/bagazo rv/b	(kg/kg)	2.2	2.2	2.22	2.27	2.32
Dem.eléct.fábrica Ef	(kwh/TC)	20	15	15	18	25
*Bagazo excedente: Bex = Bp - Bc		-1.27840909	14.0625	25.4054054	39.0363436	59.4827586
*Bagazo producido: Bp=b*Yc		37.5	112.5	120	127.5	150
*Vapor requerido al proceso: Vp= CEV*Yc		81.25	206.25	200	191.25	200
*Bagazo requerido en el ingenio: Bc=1.05*Vp/rvb		38.7784091	98.4375	94.5945946	88.4636564	90.5172414
*Generación de energía electrica: Eg=0.278*10-3*Ee*Bex*VCNb		-0.79889855	8.78788406	15.8762494	24.3944435	37.1717395
*Valor calorífico del bagazo: VCNb=17643-203*Wb		7493	7493	7493	7493	7493
*Generación de energía electrica/caña procesada: Eg/Yc=0.278*Ee*(17643-203*Wb)*(b-1.05*CEV/rvb)		-6.39118841	23.4343575	39.6906235	57.3986906	74.343479
*Energía eléctrica exportada: Eex/Yc=Eg/Yc - Ef		-26.3911884	8.4343575	24.6906235	39.3986906	49.343479
*Total de caña a procesar:		1350000	1350000	1350000	1350000	1350000
*Generación potencial de E. eléctrica:		-26.3911884	8.4343575	24.6906235	39.3986906	49.343479
		-35628104.4	11386382.6	33332341.7	53188232.3	66613696.6
*Capacidad del generador:		-3.29889855	3.16288406	9.87624941	16.7444435	24.6717395
*Tiempo de operación:		10800	3600	3375	3176.47059	2700
		15	5	4.6875	4.41176471	3.75

Figura 27

CONCLUSIONES

La experiencia acumulada en esta ancestral agroactividad, llama a la reflexión en torno a la vastedad de opciones que presenta la gramínea, apenas exploradas y menos aun explotadas en nuestro territorio.

Muchos y muy diversos han sido los factores que han incidido en contra del aprovechamiento integral de la caña de azúcar; representando sin duda su elevado costo de producción y precio de venta al ingenio, el talón de Aquiles para su logro.

La búsqueda de productos con valor agregado plantea nuevos nichos de oportunidad; máxime hoy, cuando otros competidores en edulcorantes calóricos "jarabes de maíz ricos en fructuosa", apuntan con ventajas competitivas derivadas de privilegios arancelarios y subsidios de origen.

El reto es formidable, pues la temeraria globalización y la inminente apertura de fronteras amenazan a esta vital actividad agrícola; de la aplicación cabal del termino que nos caracteriza "Ingenio", dependerá el futuro de la Caña de Azúcar.

¡EN LA DIVERSIFICACION ESTA LA SOLUCIÓN!.

¡Sin azúcar $C_{12}H_{22}O_{11}$ NO HAY SALUD!

REFERENCIAS.

(1) – GN, Diario Oficial 2004, Normas Mexicanas

(2) – Khouri Alicia y otros (1985), Aprovechamiento integral de los derivados de la caña de azúcar, con fines: energeticos, pecuario é industrial. UNAM

(3) – Méndez Ricardo (1990). Balance termo energético del proceso de elaboración de azucares invertidos. UNAM

(4) – Azcanio, Gómez, Enríquez (2002) Condensados solubles de Melaza (CMS) un nuevo elemento en la cadena productiva de la Agroindustria de la Caña de Azúcar.

(5) – Castro, Pliego, Enríquez (2000). Tratamientos anaeróbicos de lodos de purga de una planta de lodos activados. UNAM

ACID HYDROLYSIS OF BIOMASS: OPTIMIZATION OF XYLOSE EXTRACTION FROM *EUCALYPTUS GRANDIS* RESIDUES.

Eliana Vieira Canettieri [(1)] , João Batista de Almeida e Silva [(2)] & João Andrade de Carvalho Junior [(1)]

[(1)] Department of Energy, Faculty of Engeneering of Guaratinguetá – UNESP, Av. Ariberto Pereira da Cunha,333, Pedregulho, Guaratinguetá–SP – Brazil – 12516-410 – e.mail: evcanettieri@yahoo.com.br

[(2)] Department of Biotechnology, Faculty of Chemical Engineering of Lorena, Rodovia Itajubá-Lorena km 74.5, Campinho, Lorena –SP – Brazil – 12600-970 – e.mail: joaobatista@debiq.faenquil.br

ABSTRACT - Biological conversion of biomass into fuels and chemicals requires hydrolysis of the polysaccharide fraction into monomeric sugars. This hydrolysis can be accomplished enzymatically or with mineral acids. In this work dilute sulfuric acid was used as a catalyst for the hydrolysis of *Eucalyptus grandis* residues. The purpose of this study was to investigate the effects of variables: acid concentration, temperature and relation residue/acid solution on the production of sugars (xylose, glucose and arabinose) and on the formation of byproduct (furfural, hydroxymethylfurfural and acetic acid). For conducting this study, it was used a 2^3 factorial design. Response Surface Methodology (RSM) was used to optimize the hydrolysis conditions aiming to attain maximum xylose extraction from residue. The optimum conditions were found to a H_2SO_4 concentration of 0.65%, temperature of 157ºC and relation residue/acid solution of 1/8.6. Under these conditions, 79.6% of xylose extraction was attained.

Keywords: biomass, *Eucalyptus grandis* residues, acid hydrolysis, xylose, response surface methodology.

RESUMEN - Conversión biológica de biomasa en combustibles y químicos requiere hidrólisis de la fracción polisacárido en azúcares monoméricos. Esta hidrólisis puede ser lograda enzimáticamente o con ácidos minerales. En este trabajo se empleó ácido sulfúrico diluido como catalizador de la hidrólisis de los residuos de eucalipto. El objetivo de este estudio era determinar los efectos de los factores: concentración ácida, temperatura y relación residuo/solución ácida en la producción de azúcares (xilosa, glucosa y arabinosa) y formación de otros productos (furfural, hydroximetilfurfural y ácido acético). Para conducir este estudio fue utilizado un proyecto factorial 2^3. La Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) fue usada para optimizar las condiciones de hidrólisis con el fin de obtener la maxima extracción de xilosa de la fracción de hemicelulosa de los residuos de eucalipto. Las condiciones óptimas fueron encontradas en concentración de H_2SO_4 de 0,65%, temperatura de 157ºC y relación residuo / solución ácida de 1/8,6. Bajo estas condiciones se obtuvo 79,6% de extracción de xilosa.

Palabras clave: biomasa, residuos de *Eucalyptus grandis*, hidrólisis ácido diluido, xilosa, metodología de superficie de respuesta.

1. INTRODUCTION

Declining reserves and high prices of crude oil and natural gas have impulsed the search for alternative raw materials to replace petroleum. Agricultural residues represent significant biomass resources which could be used as substitutions for petroleum. With the ascension in the past decade of the cellulose industry, the reforestation areas reached enormous proportions.

Brazil possesses about 3.600.000 hectares of reforestation only with the eucalyptus (ANFPC, 1998; Prado, 1995; SBS, 1990). Actually, Brazil occupies the seventh position in the world in cellulose production and it is to twelfth place as paper manufacturer. The Brazilian sector of paper and cellulose

contributes a relevant form to the development of the country, in terms of generation of income, tributes, jobs and exchange (Bracelpa, 2000). From more than 100 eucalyptus species introduced in Brazil, the *Eucalyptus. grandis* is the most common, with 55% of the total area, following the *E. saligna* and *E. urophyla* with 17% and 9% respectively. The bark volume in eucalyptus plantings, usually, corresponds about 10 to 20% of the commercial volume of the tree (Husch et al., 1972). The bark wood can be considered a problem for some forest companies, because there are few economical alternatives of use, the one that finishes generating additional costs, once the companies need to give a destiny to that material. In agreement with Oliveira et al. (1999) the values of productivity of the wood (st/ha/ano, m^3/ha/ano) for the seven main eucalyptus species are presented in Table I. Among the species studied, the *E. grandis* with increments of 63 m^3/ha/ano, is the preferred in the reforestation projects for wood production.

Table I – Volumetric productivity of the wood from seven species of *Eucalyptus.*

Species	Productivity	
	(st/ha/ano)	(m^3/ha/ano)
E. citriodora	57	38
E. tereticomis	55	37
E. paniculata	39	26
E. pilularis	67	45
E. cloeziana	61	41
E. urophyla	60	40
E. grandis	95	63

st = represent the volume of pile wood (height x height x length).

These residues contain carbohydrates in the form of hemicellulose and cellulose. Hemicellulose is primarily a polymer of pentoses and hexoses. Cellulose is a polymer of hexoses. These polymers can be reduced to monomeric sugars, primarily xylose and glucose, by hydrolysis with mineral acids. In this work dilute sulfuric acid was used as a catalyst agent for the hydrolysis of eucalyptus residues in a batch reactor. The objective of this work was to determine the effects of variables: temperature (T), acid concentration (CA), and relation residue/acid solution (R/A) on the production of sugars (xylose, glucose and arabinose) and on the formation of by-product (furfural, hydroxymethylfurfural and acetic acid). Also the results of xylose extraction of hemicellulosic fraction in the optimized conditions for acid hydrolysis are presented from *Eucalyptus grandis* residues.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1.Raw Material

The residues of *E. grandis* (Figure 1) collected in a local farm (São Luiz do Paraitinga - SP – Brazil) of Cia. Suzano of Paper and Cellulose were used as raw material. The eucalyptus residues were air-dried, milled, homogenized in a single lot and stored under dry conditions until used. The chemical analysis for the determination of the extractives, insoluble and soluble lignin, carbohydrates and ashes were in agreement with the methodology proposed by Ferraz et al. (2000). The milled residues samples were sieved to pass through a 20 mesh screen. The humidity was determined in a scale of dry weight. The humidity achieved was of 14.7%.

Figure 1 – *E. grandis* residues (branches, foliage and bark).

2.2. Acid Hydrolysis

The experiments of acid hydrolysis were performed in a system of four cylindrical container of stainless steel of 1.4 l, with 55 cm of length and 6.8 cm of diameter each, coupled in a reactor of stainless steel of 40 l. The heating is provide by electrical heating elements arranged around the reactor and surrounded by insulation and the pressure can be read by the manometer. The reactions were carried out at the residence time of 20 minutes under different sulfuric acid concentrations (0.10, 0.50 and 0.30%), relation residue/acid solution (1/3, 1/4.5 and 1/6) and temperature (120, 140 and 160 ºC) as according to Table III. The agitation is made rotating the reactor around its own axis and after the residence time, turn off the reactor and only removes the liquid fraction after the cold of reactor (approximately 18 hours after the reaction). The liquid fraction (hemicellulosic fraction) was analysed for solubilized sugars (glucose, xylose and arabinose) and byproducts (acetic acid, furfural and hydroxymethylfurfural).

2.3. Experimental design and optimization by Response Surface Methodology (RSM)

The experimentation structure corresponded to a 2^3 orthogonal factorial design, whose design matrix is shown in Table III, following the methodology of Box et al. (1978) and Barros Neto et al. (2001). The statistical model proposed was based on the RSM whose equation was determined by analysis of lineal multiple regression using the software STATGRAPHICS plus 2.1 and STATISTICA 6.0. The xylose extraction of hemicellulosic fraction was taken as the dependent variable or response of the design experiments. The statistical significance of the regression coefficients was determined by the Student's t-test. The variables were correlated by empirical models having the following generalized expression:

$$Y_i = b_0 + \sum b_i X_j + \sum b_{ij} X_i X_j + \sum b_{ii} X_i^2 + e_i \qquad (1)$$

where: Y_i = dependent variable or response variable, b = regression coefficient, X = experimental factors with codified units (variables studied) and e_i = random error.

2.4. Analytical Methods

Hydrolysate samples were analysed by the HPLC method described previously by Canettieri et al., 2001. The experimental data were fitted to second-order polynomial models by multiple linear regression analysis using commercial software.

3. RESULTS AND DISCUSS

3.1. Composition of eucalyptus residues

The main polymeric components of eucalyptus residues, in dry basis, are presented in Table II. For instance, the data reported in this work fell within the range that have been reported for other materials in literature (Herrera et al. 2003, Aguilar et al. 2002, Roberto et al. 2003, Pessoa Jr. et al. 1997).

Table II – Chemical content of *Eucalyptus grandis* residues.

	dry basis, %
Celullose	40.20 ± 0.6
Hemicelullose	15.67 ± 1.7
Insoluvel lignin	23.44 ± 1.2
Soluvel lignin	3.46 ± 0.2
Total lignin	26.90 ± 1.0
Acetil groups	2.43 ± 1.0
Ash	1.41 ± 0.1

The evaluation of the influence of each variable (T, CA and R/A) about the xylose extraction of the hemicellulosic fraction from eucalyptus residues was performed through a 2^3 orthogonal factorial design (Table III).

Table III – Scheme of 2^3 orthogonal factorial design with five assays in the central point, considering the units of the natural and codified factors and the results of xylose extraction (%).

codified unit			natural unit			
X_1 : T	X_2 : CA	X_3 : R/A	T (°C)	CA (%)	R/A	Response: Xylose extraction (%)
-1	-1	-1	150	0.25	1 / 4	2.89
+1	-1	-1	170	0.25	1 / 4	16.90
-1	+1	-1	150	0.75	1 / 4	48.28
+1	+1	-1	170	0.75	1 / 4	30.30
-1	-1	+1	150	0.25	1 / 8	12.40
+1	-1	+1	170	0.25	1 / 8	56.94
-1	+1	+1	150	0.75	1 / 8	82.95
+1	+1	+1	170	0.75	1 / 8	35.30
0	0	0	160	0.50	1 / 6	78.96
0	0	0	160	0.50	1 / 6	71.52
0	0	0	160	0.50	1 / 6	70.90
0	0	0	160	0.50	1 / 6	68.69
0	0	0	160	0.50	1 / 6	74.63
-1.29	0	0	147	0.18	1 / 6	22.63
+1.29	0	0	173	0.82	1 / 6	58.26
0	-1.29	0	160	0.50	1 / 6	14.30
0	+1.29	0	160	0.50	1 / 6	66.00
0	0	-1.29	160	0.50	1 / 3.4	35.41
0	0	+1.29	160	0.50	1 / 8.6	83.42

The regression coefficients (b), standard errors (SE), Student's t test and significance level for the model representing the xylose extraction of the hemicellulosic fraction from eucalyptus residues are presented in Table IV.

Table IV – Regression coefficients (b), standard errors (SE), Student's t test (t) and significance level for the model representing the xylose extraction of the hemicellulosic fraction from eucalyptus residues.

Factors	b	SE	t	p
Constant	69.0021	4.25399	16.2206	0.0000
X_1	15.3946	3.36395	4.57634	0.0005
X_2*X_2	-16.6965	4.42207	-3.77641	0.0023
X_1*X_2	-15.5225	4.00299	-3.87772	0.0019
X_1*X_1	-16.8768	4.42207	-3.81649	0.0021

The correspondent analysis of variance of the regression obtained for the model representing xylose extraction of the hemicellulosic fraction from eucalyptus residues is shown in the Table V. The model obtained is significant and presented a high determination coefficient (R^2 = 0.87), that means it explains 87% of the variability in the responses for the region studied, being the remaining 13% explained by the residues.

Table V – Analysis of variance for the model representing xylose extraction of the hemicellulosic fraction from eucalyptus residues.

Source	SQ	GL	QM	F	p
Model	11155.7	5	2231.15	17.40	0.0000
Residual	1666.49	13	128.192		
Total	12822.2	18			

R^2 = 0.87; SQ = sum of squares; GL = degree of freedom; MQ = mean sum of squares.

In the conditions studied, the model with coded variables expressed in Equation (2) represents the maximum xylose extraction (Y) of the hemicellulosic fraction from *E. grandis* residues as a function of acid concentration (X_1) and temperature (X_2), respectively.

$$Y = 69.0021 + 15.3946X_1 - 16.6995X_2^2 - 15.5225X_1X_2 - 16.8768X_1^2 \qquad (2)$$

Figure I shown the response surface and the curves of levels to estimate the xylose extraction over independent variables acid concentration (X_1) and temperature (X_2). This region contains a maximum point in approximately 80% of xylose extraction of the hemicellulosic fraction from eucalyptus residues. The estimation of curves of levels for model (Y) Eq. (2) presented the maximum valor of xylose extraction for codified values of +0.58 to sulfuric acid concentration, +1.29 to relation residue/acid solution and -0.27 to temperature what is equal the 0.65%, 1/8.6 and 157 °C, respectively. To confirm the validity of model, four assays were performed in these conditions above. In this optimized condition 79.6 % xylose extraction was achieved and it is within of 95% of confidence interval. The model predicts a hydrolysates containing 1.65 g/l glucose, 13.65 g/l xylose, 1.55 g/l arabinose, 3.10 g/l acetic acid, 1.23 g/l furfural and 0.20 g/l hydroxymetilfurfural.

Roberto et al (2003) obtained similar working results with sulfuric acid hydrolysis from rice straw. These authors achieved 77% xylose extraction of hemicellulosic fraction with 1% sulfuric acid, 121 °C and 27 minutes of time reaction. Pessoa Jr. et al. (1997) worked with sulfuric acid hydrolysis from sugarcane bagasse and obtained 83.3% xylose extraction using 100 mg $_{acid}$ / g $_{dm(weight\ of\ dry\ matter\ in\ gram)}$, 140 °C, for 20 minutes. In these conditions of hydrolysis they achieved a hydrolysate with 0.08 g/l of hydroxymethylfurfural, 2.0 g/l of furfural and 3.7 g/l of acetic acid.

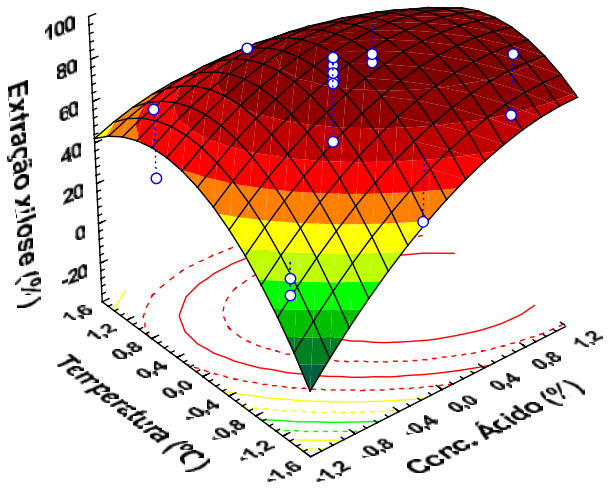


Figure I – Response surface and contour lines described by the model Eq.(2) representing xylose extraction of the hemicellulosic fraction from *E. grandis* residues.

4. CONCLUSION

The chemical characterization of eucalyptus residues and its hydrolysis catalyzed by sulfuric acid for these conditions (reactor utilized and operation conditions) permitted an estimation a the optimization of xylose extraction. Based on these studies was achieved a 1/8.6 relation residue/acid solution, 0.65 % H_2SO_4 concentration, a temperature of 157 °C in a time reaction of 20 minutes and the models predict hydrolysates containing 1.65 g/l glucose, 13.65 g/l xylose, 1.55 g/l arabinose, 3.10 g/l acetic acid, 1.23 g/l furfural and 0.20 g/l hydroxymetilfurfural.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) for the financial support of this work (Project 00/09099-0) and the Cia. Suzano de Papel e Celulose by *Eucalyptus grandis* residues.

REFERENCES

Aguilar, R., Ramírez, J.A., Garrote, G. & Vázquez, M. (2002) Kinetic study of the acid hydrolysis of sugar cane bagasse. Journal of Food Engineering, 55, 309-318.

Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose – ANFPC. (1993) Relatório estatístico 1993. São Paulo, 54p.

Associação Brasileira de Celulose e Papel - Bracelpa (2000) Avaliação do Setor de Celulose e papel. htt://www.bracelpa.com.br

Barros Neto, B., Scarminio, I.S., Bruns, R.E. (2001) Como Fazer Experimentos - Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Campinas: Editora UNICAMP, 401p.

Box, G.E.P., Hunter, W.G., Hunter, J.S. (1978) Statistics for Experimenters: an Introduction to Design, Data Analysis and Model Building. New York: John Wiley & Sons Inc., 653p.

Canettieri, E.V., Almeida e Silva, J.B. & Felipe, M.G.A. (2001) Application of factorial design to the study of xylitol production from eucalyptus hemicellulosic hydrolysate. Applied Biochemistry and Biotechnology, v.94, 159-168.

Ferraz, A ., Baeza, J., Rodriguez, J., Freer, J. (2000) Estimating the chemical composition of biodegraded pine and eucalyptus wood by DRIFT spectroscopy and multivariate analysis. Bioresource Tecnology, 74, 201-202.

Herrera, A., Téllez-Luis, S.J., Ramírez, J.A. & Vázquez, (2003) M. Production of xylose from sorghum straw using hydrochoric acid. Journal of Cereal Science, 37, 267-274.

Husch, B, Miller, C.I., Beer, T.W. (1973) Forest mensuration. 2.ed. New York: The Ronald Press, 410p.

Oliveira, J.T.S., Hellmeister, J.C., Simões, J.W., Tomazello Filho, M. (1999) Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil. Scientia Forestalis, Piracicaba: IPEF.

Pessoa Jr., A., Mancilha, I.M. & Sato, S. (1997) Acid Hydrolysis of Hemicellulose from Sugarcane Bagasse. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v.14, Nr.03, 291-297.

Prado, A . C. (1995) Diagnóstico e avaliação do setor florestal brasileiro: exploração florestal madeireira. FUNATURA/IBAMA/ITTO, 114 p.

Roberto, I.C., Mussatto, S.I. & Rodrigues, (2003) Dilute-acid hydrolysis for optimization of xylose recovery from rice straw in a semi-pilot reactor. Industrial Crops and products, 17, 171-176.

Sociedade Brasileira de Silvicultura – SBS. (1990) A sociedade brasileira e seu patrimônio florestal. São Paulo, 20 p.

ASPECTOS TECNOLÓGICOS DO DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE MADEIRA

TECHNICAL APPROACHES FOR DEVELOPMENT OF WASTE WOOD - PLASTIC COMPOSITES

Razzino, C. A.[1], Hage Jr.[1], E. e Correa, C. A.[2]

1.Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais
Via Washington Luiz, Km 235, 13.565-905, São Carlos, SP, Brazil
e-mail: ***carlosrazzino@iris.ufscar.br***
2.Universidade São Francisco – PPGECM-UAACET
e-mail: ***carlos.correa@saofrancisco.edu.br***

RESUMO

Novos conceitos baseados em desenvolvimento sustentável tem favorecido a produção dos chamados Compósitos Termoplásticos Celulósicos (CTC´s). Dentre muitas fibras naturais de interesse tecnológico como sisal, juta, bagaço de cana, etc, a madeira substitui com vantagens as cargas convencionais empregadas em compósitos poliméricos particularmente as de origem mineral, tais como talco e $CaCO_3$. A tecnologia dos CTC´s envolve conceitos de compatibilidade e processabilidade empregadas no desenvolvimento em blendas e compósitos poliméricos, e apresenta grandes desafios tecnológicos para formulação, processamento e estabilização do sistema polímero-madeira. Nos EUA e na Europa a legislação ambiental tem favorecido o desenvolvimento dos CTC's para aplicação diferenciadas. O mercado é fortemente protegido por patentes com presença marcante de grandes empresas da construção civil, mercado automobilístico e de consumo geral. *Commodities* tais como as poliolefinas (PP, PEAD/PEBD), plásticos estirênicos (PS e HIPS) e o PVC representam o maior volume dos termoplásticos potencialmente aproveitáveis para CTC´s. Nesse trabalho são apresentados os últimos desenvolvimentos em tecnologia de compósitos termoplásticos com madeira bem como os aspectos críticos relacionados às características físicas e desempenho desses produtos em aplicações emergentes e em substituição de outros materiais já consolidados no mercado.
Palavras-Chaves: Compósitos termoplásticos, tecnologia polímero-madeira, aplicações emergentes

ABSTRACT

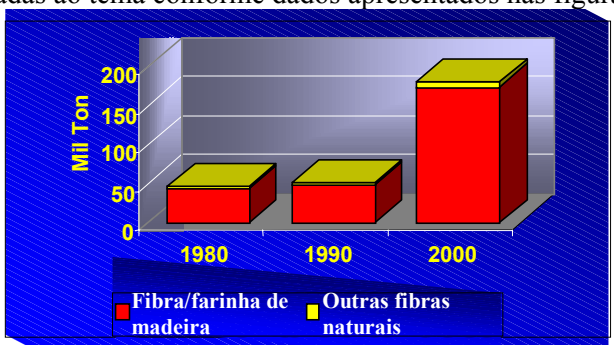
New concepts based upon sustainable development have triggered the interest on wood-cellulosic composites. Among numerous fibres of commercial interest used for reinforcement of thermoplastics as jute, sisal, sugar cane bagasse, etc, wood can replace mineral fillers such as talc, $CaCO_3$ and glass fibres with great advantage. WPC's technology involves concepts of compatibility and processing employed for development of polymer blends and composites, and still presents technical challenges in grades formulation, processing and stabilisation of the polymer-wood system. In Europe and the United States strict environmental legislation is promoting the development of WPC's for a myriad of applications. The market profile is strongly driven by patent activity and the presence of large corporations from motorcar, building and general appliances industry. Commodities such as polyolefins (PP, PEAD/PEBD), styrenics (PS e HIPS) and vinyls (PVC) represent the bulk of the thermoplastics

used in WPC's applications. In the present work the latest developments in WPC's technology are discussed in the light of the critical aspects related to the processing and performance of this novel class of thermoplastics composites in emerging applications as well as their advantages for replacement of well-established market composites.
Key-words: Thermoplastic composites, wood-plastics technology, emerging applications.

1. Introdução

A preparação de compósitos de madeira com polímeros é uma prática antiga, particularmente o uso de resinas termofixas como uréia-, fenol-, ou melamina-formaldeído e isocianatos na produção de painéis MDF (*medium-density fiberboard*). Na última década, a tecnologia de compostagem de termoplásticos com fibras naturais ou lignocelulósicas, tais como fibras de algodão, sisal, juta e madeira vem ganhando fatias significativas do mercado de compósitos nos EUA e na Europa por força de uma legislação ambiental mais efetiva. A utilização de farinha ou fibra de madeira como carga em termoplásticos, já é conhecida desde a década de 70 pela indústria automobilística que emprega compósitos de polipropileno com farinha de madeira conhecidos e patenteados como *woodstock®*. Esses compósitos são extrusados e laminados em chapas para revestimento interno de portas e porta-malas de veículos da Fiat. Durante todos esses anos a tecnologia do *woodstock®* foi dominada por uns poucos técnicos especialistas não havendo maiores interesses acadêmicos no assunto. Trabalhos de cunho mais acadêmico acompanhados por um grande número de patentes depositadas por grandes corporações do mercado de construção civil e automobilístico surgiram nos EUA nos anos 90 relacionando a utilização de resíduos de papel e madeira como cargas para termoplásticos. Embora a viabilidade técnica para produção de compósitos celulósicos termoplásticos tenha sido comprovada através desses trabalhos, no Brasil ainda se encontra uma certa relutância por parte da indústria de compostos termoplásticos em empregar essa tecnologia. Na maioria dos casos, essa relutância é decorrente da falta de informações técnicas sobre materiais e processos, de certificação de fornecedores de matéria-prima e ausência de equipamentos específicos e desenvolvimentos de mercados para esses produtos.

Atualmente, nos EUA e na Europa já existe legislação específica que limita a queima indiscriminada de derivados celulósicos, principalmente papel e madeira, o que acabou incentivando a busca por alternativas para reaproveitamento desses resíduos. Nesses países, a escassez de madeira também tem provocado o aparecimento de produtos conhecidos como Compósitos Polímero-Madeira ou *Wood-plastic composites, WPC*. Esses produtos têm encontrado grande aceitação no mercado em aplicações como perfis para construção civil e como componentes automobilísticos graças a sua leveza, versatilidade e baixo custo quando comparados com a própria madeira natural ou outros compósitos poliméricos reforçados com cargas minerais. Ainda nos EUA, o mercado para termoplásticos celulósicos com aplicação em materiais de construção apresentou um crescimento vertiginoso na última década e vem crescendo a uma taxa de 15% ao ano. Esse fato pode ser comprovado pelo aumento na demanda desses produtos para uso como carga em termoplásticos e pelo aumento no número de patentes depositadas nos EUA relacionadas ao tema conforme dados apresentados nas figuras 1 a 3:



Total fibra/farinha de madeira = 227 mil ton.

Figura 1 Crescimento na demanda por fibras naturais para uso em compósitos nos EUA 2000.

Fonte: Eckert (2000).

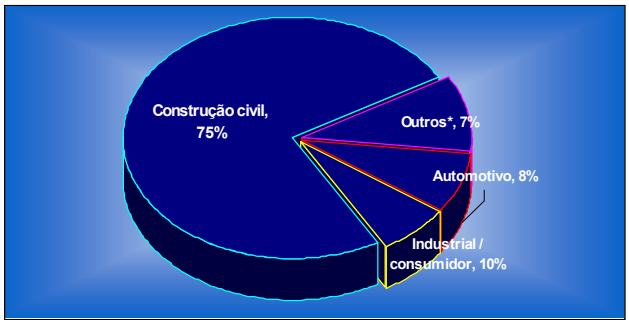


Figura 2 Principais mercados para compósitos celulósicos por aplicação final do produto.
Fonte: Eckert (2000)

A maior fatia do mercado dos CTC´s ainda está na construção civil com materiais do tipo polietilenos, polipropilenos e PVC extrusados com resíduo de madeira na forma de perfis para *deckings*, batentes de janelas e portas, pisos laminados dentre muitas outra aplicações. Na última conferência sobre compósitos polímero-madeira realizado em 2000 nos EUA alguns trabalhos evidenciaram a importância do setor pelo número de patentes depositados na última década relacionadas com conforme ilustrado na figura 3.

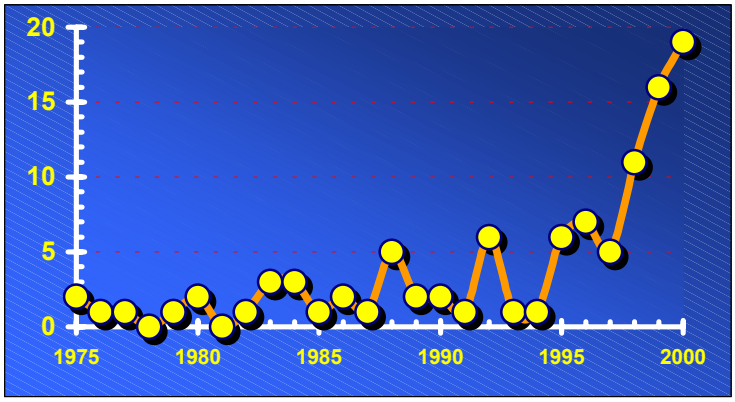


Figura 3 Crescimento no número de patentes depositadas nos EUA de 1975 a 2000 relacionadas com materiais e processos de compósitos celulósicos. Fonte: English (2000).

2. Tecnologias de processamento de CTC's

2.1 Processamento

Inúmeros aspectos devem ser observados no processamento de termoplásticos com resíduos de madeira. A umidade deve ser rigidamente controlada uma vez que esta produz descontinuidades de processo, peças com características inaceitáveis devido à presença de bolhas ou manchas superficiais. Assim, como principal requisito o resíduo celulósico deve ser pré-secado e zonas de degasagem utilizadas para remoção da umidade residual. A baixa temperatura de degradação da celulose na faixa de 200-220 ^{o}C constitui um fator limitante do processo, exceto quando os tempos de residência são curtos. A exposição do resíduo de madeira a temperaturas acima dessa faixa libera voláteis, descoloração, odor e fragilização do compósito *Stark et. al.* (1996), *Frollini et. al.* (2002). As figuras 4 e 5 ilustram os processos por batelada e contínuo, empregados na produção de compósitos termoplásticos com resíduos de madeira.

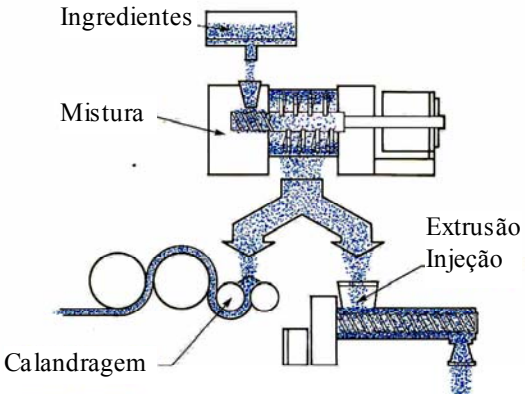
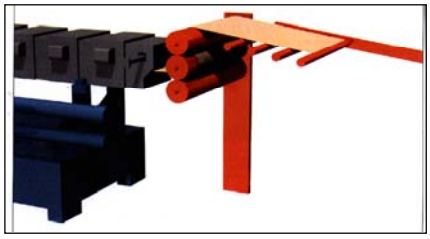
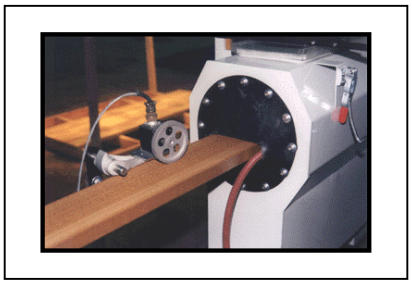


Figura 4 - Processo por batelada misturador interno tipo k-mixer. [Catálogo técnico Drais®].



(a)



(b)

Figura 5 – Processos de extrusão direta. (a) Laminados para uso em painéis automobilísticos - processo *woodstock ®;* (b) Extrusão de perfis para uso como *plastic-lumber* na contrução cível.

Atualmente está havendo uma grande discussão entre grandes fabricantes de equipamentos tais como Davis-Standard, Leistritz, Werner & Pfleiderer, Bausano etc…, sobre a melhor configuração de máquina para processamento de compósitos termoplásticos com madeira, *Machado et.al.* (2000), *Markovich et.al.* (2002).

- A - *Pre-dry; Pre-mix*: equipamentos no qual a fibra de madeira é submetida a processos de pré-secagem a níveis de umidade inferiores a 1% e alimentada em uma extrusora rosca-dupla contra-rotacional juntamente com o polímero normalmente na forma de pó. A mistura polímero-madeira e aditivos é preparada em misturadores intensivos do tipo Henschel antes de ser alimentada na extrusora.
- B - *Pre-dry; Split Feed*: Nesse processo a resina e a fibra são alimentadas em separado propiciando um melhor controle do tempo de residência da fibra durante o processamento. São normalmente utilizadas extrusoras de rosca-dupla de grande capacidade com portos laterais de alimentação onde a fibra é misturada ao polímero fundido passando por zonas de mistura distributiva e desgazeificação da umidade residual.
- C - *Wood First; Melt Feed*: Nesse processo são necessárias duas extrusoras que operam simultaneamente; uma extrusora primária secando a farinha de madeira e uma outra menor plastificando o polímero e os aditivos. A empresa Davis-Standard dos EUA patenteou um equipamento dedicado para o processamento de compósitos termoplásticos com essas características denominada *Woodtruder*.®.
- *D - Wood First, Split Feed*: Nesse processo a farinha de madeira pode ser introduzida ainda úmida na zona de alimentação e a mistura de resina e aditivos é introduzida posteriormente no barril através de um alimentador lateral. Todavia esse processo requer normalmente equipamentos com barris muito longos (L/D 44 ou 48:1) e com zonas de desgazeificação próximas a zona de alimentação para remoção da umidade da madeira o que nem sempre é conveniente.

Nos processos nos quais a extrusora é utilizada na secagem da farinha de madeira pode haver problemas de consistência devido a alterações de umidade. Os custos associados a essa prática ainda têm sido objeto de calorosas discussões entre fabricantes de equipamentos e processadores. Dessa forma, a alternativa mais segura ainda tem sido a utilização de madeira pré-sêca adquirida junto aos beneficiadores de madeira.

2.2 Características físicas

Em se tratando de produtos com aplicações estruturais, as propriedades mecânicas do compósitos termoplásticos com madeira são da maior importância. Todavia, embora a fibra de madeira apresente módulo de elasticidade em torno de 20-40GPa as propriedades mecânicas dos compósitos termoplásticos tendem a ser inferiores que as da madeira convencional. Normalmente o módulo de flexão do compósito polímero-madeira fica em torno da metade da madeira tratada. O principal ganho de propriedades dos termoplásticos reforçados com fibra ou farinha de madeira consiste na melhora da rigidez e aumento da temperatura de uso contínuo do material sem aumento significativo do peso específico do compósito comparativamente às cargas minerais, *English et. al.* (1997).

Em compósitos termoplásticos de polipropileno com farinha ou fibra de madeira, a adição de 20% em massa de farinha de madeira produz um acréscimo de 30% no módulo em flexão do compósito enquanto a mesma quantidade em massa de talco eleva a rigidez em cerca de 80%. No entanto, é importante salientar que em compósitos para efeito de cálculos estruturais considera-se normalmente a rigidez específica, ou seja, a razão entre o módulo do material e sua densidade. Considerando a rigidez específica do compósito termoplástico de PP com farinha de madeira é muito mais atraente do ponto de vista econômico e tecnológico pelas razões mencionadas anteriormente.

2.3 Compatibilidade polímero-madeira

Outro aspecto crítico para o processamento de polímeros com resíduo de madeira consiste no caráter hidrofóbico dos principais termoplásticos frente à natureza hidrofílica das fibras celulósicas. Além disso, dependendo da composição química da resina há necessidade de tratamento da fibra ou utilização de agentes compatibilizantes para evitar o processo de delaminação na interface fibra-matriz. As características químicas da resina e utilização de compatibilizantes são determinantes para o desempenho do compósito conforme verificado no trabalho de *Correa et al.* (2003), no qual foi utilizado polipropileno funcionalizado com anidrido maleico como compatibilizante em compósito de polipropileno com farinha de madeira, conforme é ilustrado na figura 6.

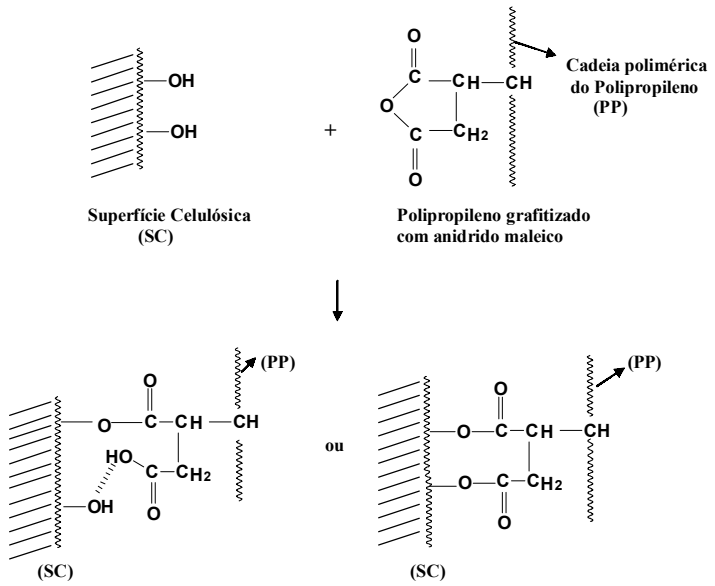
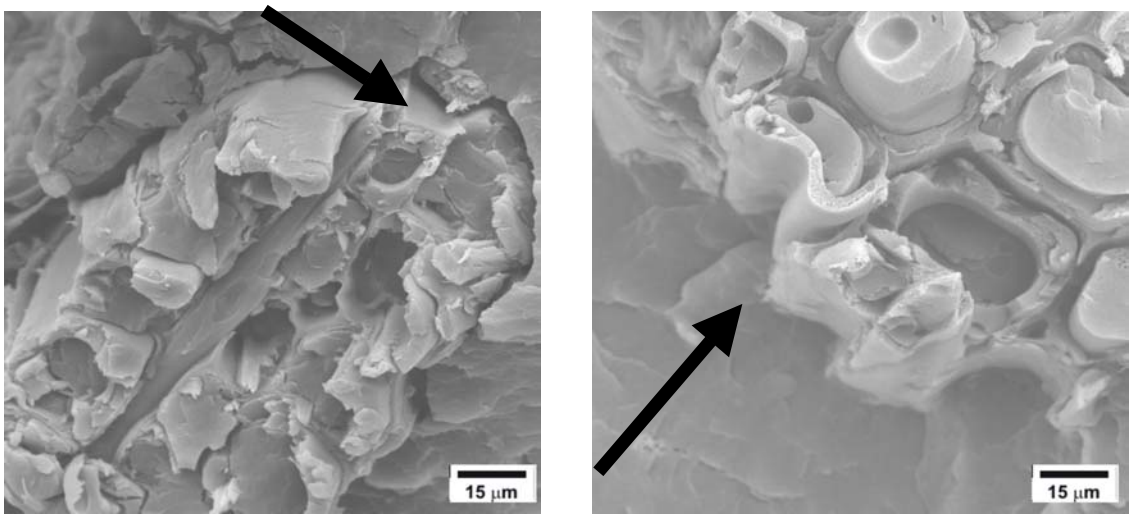


Figura 6. Representação hipotética da provável reação de esterificação e interações por pontes de hidrogênio da celulose com o polipropileno-g-anidrido maleico (PP-MAH).

Através da microscopia eletrônica de varredura foi possível verificar a eficiência do processo de dispersão da carga celulósica na matriz termoplástica e a capacidade de molhamento da superfície desta pela resina, como forma de se avaliar a eficiência do agente compatibilizante. Aspectos relacionados a molhabilidade e nível de adesão interfacial carga-matriz podem ser observados nas micrografias apresentadas na figura 7 para a formulação do compósito de 70 %PP com 30% de farinha de madeira, compatibilizada e não compatibilizada



a) b)

FIGURA 7: Micrografias de MEV, mostrando as características da interface em compósitos de PP/WF (a) sem compatibilizante e (b) com compatibilizante.

2.4 Aplicações emergentes de CTC'S, *Eckert* (2000).

Materiais de construção	Transportes	Consumo Geral
Deckings Janelas e portas Cercas Telhas Lumber	Painéis interiores Protetor de pneus – estepes Grades de proteção Revestimento de carrocerias	Painéis Playgounds Bancos / Mesas Latas de lixo Utensílios em geral

3. Conclusões

A substituição da madeira convencional por CTC's apresenta inúmeras vantagens:

- Possibilidade de reaproveitamento de resíduos
- Resistência à umidade e deterioração ambiental
- Resistência a pragas e insetos
- Pode ser extrusado em perfis diversificados
- Apresentam melhor estabilidade dimensional
- Resistência ao empenamento e trincas
- Possui menor custo de manutenção de rotina
- Maior durabilidade em ambientes agressivos como *deckings* marítimos

- São totalmente recicláveis
- Dispensam o uso de proteção superficial como tintas e vernizes

Apresentam inúmeras vantagens competitivas em relação aos compósitos convencionais

- Temperaturas de processamento mais baixas
- Redução de ciclos de moldagem em produtos injetados
- Aumento da resistência a tração e flexão – aumento de rigidez
- Quando comparado a cargas convencionais utilizadas em compostos de polipropileno, tais como mica, carbonato de cálcio e talco:
    - Menor peso específico, assim uma menor quantidade de resina utilizada por componente.
    - Redução de custos de transporte por tonelada
    - Redução de desgastes de ferramentas

Alguns fatores que podem limitar o crescimento do mercado CTC's

- Investimento inicial elevado
- Sensibilização dos composteiros
- Logística e disponibilidade de matéria-prima
- Aprovação de materias-primas e processos
- Legislação ambiental em relação à queima de resíduos sólidos

4. Referências Bibliográficas

Correa, C.A., Fonseca, C.N.P., Neves, S., Razzino, C.A., Hage Jr, E. (2003) "Compósitos Termoplásticos com Madeira". Polímeros: Ciência e Tecnologia. 13, nº3, p.154-165.

Eckert, C.H. (2000), Market Opportunities for natural fibers in plastics composites, Proceedings of the Wood-Plastic Conference, Baltimore, USA, p. 87-106.

English, B.; Clemons, C.M. (1997) Weight reduction: wood versus mineral fillers in polypropylene, Proceedings – The Fourth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, Madison, Wisconsin, p. 237-244.

English, B. (2000), Wood-Plastics Materials and Processes: A Look at Twenty Five Years of Patent Activity, Proceedings of the Wood-Plastic Conference, Baltimore, USA, p. 60-72.

Frollini, E., Leão, A. L. e Mattoso, L.H.C. (eds), (2000) Natural Polymers and Agrofiber Based Composites, Embrapa Instrumentação Agropecuária, S.Carlos-SP.

Machado, A. e Stuart, K. (2000)"A comparison of process configuration for compounding wood-plastics composites", in: Proceeding of the Wood-Plastic Conference, Baltimore, USA, p. 73-85.

Markovich, N.E.; Aranguren, M.I.; Reboredo, M. M. (2002) Some aspects related to the processing of natural fibre-polymer composites, Natural Polymers and Composites IV, São Pedro, SP, p. 416-421.

Stark, N. , Scheneider, J.P. (1996) Waste-Wood-Derived Fillers for Plastics, General Technical Report FPL-GTR-91, Forest Product Laboratory/USDA.

DERIVADOS DE LA CELULOSA Y EL PAPEL

ÍNDICE
DERIVADOS DE LA CELULOSA Y EL PAPEL

105 Impacto del pulpeo con etanol en la fabricación de cartoncillo y en la integración de procesos derivados de la caña de azúcar

132 Bagazo de caña y madera: ¿Cuál será la fibra del futuro en Cuba?

133 Fibra dietética, alimentos funcionales y nutracrúticos. Potencialidad de la industria azucarera y derivados.

136 Determinación de tamaño y distribución de poro en medios filtrantes

137 Montaje de métodos para la realización de pruebas físicas a etiquetas autoadhesivas.

138 Partículas superparamagnéticas de celulosa. Obtención, caracterización e inmovilización de papaína.

139 Uso del material lignocelulósico: Un desafio para la humanidad.

140 Celulosa microcristalina. Usos

141 Efectos del empleo de fijadores en aguas blancas procedentes de papeles estucados

145 Influencia de los ácidos minerales en la hidrólisis del bagazo

147 Obtención y caracterización de un derivado anfotérico de la celulosa

148 Bases estratégicas para la reanimación de la industria nacional de paneles aglomerados

149 Uso del bagazo como alternativa energética y alimento animal.

151 Viabilidad económica de una planta de producción de excipientes para la industria farmacéutica cubana.

154 Caracterización química, fisica y morfológica de variedades de caña energética y evaluación de sus potencialidades para su utilización en la industria de pulpa y papel.

155 Secuencia de blanqueo OZP en pulpas químicas de bagazo

156 Diseño tecnológico de una planta de producción de excipientes para la industria farmacéutica cubana.

178 Deslignificación sinérgica y blanqueo ODP de bagazo de caña y cartón kraft reciclado

232 Metodología para el diagnóstico de la gestión del mantenimiento tomando la calidad como estrategia.

IMPACTO DEL PULPEO CON ETANOL EN LA FABRICACIÓN DE CARTONCILLO Y EN LA INTEGRACIÓN DE PROCESOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

IMPACT OF ETHANOL PULPING IN THE PAPER BOARD PRODUCTION AND IN THE INTEGRATION OF DERIVATIVES PROCESSES OF SUGAR CANE

Autores: MSc. Meilyn González Cortés
Ing. Yenly Cata Salgado
DrSc. Erenio González Suárez
Dr. Pio Aguirre
Lic. Gabriela Corsano

Institución: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas
País: Cuba
Email: mgonzalez@qf.uclv.edu.cu

Resumen

El trabajo muestra los resultados de la aplicación de la integración de procesos en la fábrica de pulpa y papel Damují de la provincia de Cienfuegos, los cuales además, se han recogido en un texto editado a finales del año 2003

La estrategia desarrollada permitió detectar las principales deficiencias del proceso y su repercusión sobre el medio ambiente, éstas pueden resumirse de la siguiente forma: se genera un licor negro muy agresivo en el pulpeo del bagazo el cual se vierte al medio sin ningún tratamiento, se consume un elevado volumen de agua fresca y se vierte un considerable flujo de residuales acuosos, existen pérdidas de energía térmica en diferentes partes del proceso.

En el trabajo se aplican las herramientas de integración de masa y energía a través de las cuales se proponen soluciones a las deficiencias anteriormente mencionadas, todas las propuestas son evaluadas técnica y económicamente evidenciándose la factibilidad de las soluciones propuestas.

Se propone un nuevo método de pulpeo, que ofrece ventajas sobre el primero y además da la posibilidad de integrar la fábrica de papel a otros procesos de derivados, esto también es evaluado en el trabajo.

Se utilizan modelos globales que permiten describir el comportamiento del proceso al emplear un nuevo método de pulpeo ambientalmente más compatible, así como para evaluar el efecto económico de las variables de operación en el proceso, el estado técnico de la instalación, y la calidad y proporción de mezclado de las materias primas.

Palabras claves: pulpeo organosolv , pulpeo con etanol, integración de procesos, integración de masa y energía.

Abstract

The work shows the results of the application of the processes integration in the pulp and paper Damují factory from Cienfuegos province. These results appear in a text published at the end of the 2003 year.
The developed strategy allowed to detect the main deficiencies of the process and its repercussion on the environment, these can be summarized in the following way: a very aggressive black liquor is generated in the pulping process and it is disposal without any treatment, the process consumes a big volume of fresh water generate a high flow of aqueous residual, and there exist in different parts of the process losses of thermal energy.
In the work the tools of mass and energy integration are applied in an intent to find out the solutions to the previously mentioned deficiencies. In the paper are evaluated technical and economically all the proposals being evidenced the feasibility of the proposed solutions.
The new pulping method that is proposal offers advantages above the traditional method also gives the possibility to integrate the paper factory to other derivative processes, this is also evaluated in the work.
Global models are used that allow to describe the behavior from the process when using a new pulping method environmentally more compatible, also in the work are evaluated the economic effect of the operation variables in the process, the technical state of the installation, and the quality and proportion of mixed of the raw materials.

Key words: organosolv pulping, ethanol pulping, process integration, mass and energy integration

Introducción

La situación por la que actualmente atraviesa la industria de pulpa y papel a nivel mundial es difícil. Nunca antes tuvo tantos problemas por enfrentar, como la escasez de capital, de materias primas, y el impacto sobre el ambiente.
Es por ello que en la actualidad esta industria está obligada a hacer eficientes sus procesos, utilizando las materias primas alternativas con las que cuenta el país, para optimizar el aprovechamiento y la protección de recursos naturales, y ser más competitiva en el mercado internacional.
La fábrica de papel Damují, empresa productora de cartoncillo para corrugar de calidad exportable donde se realiza este trabajo, históricamente ha enfrentado dificultades por el efecto negativo que su producción provoca sobre el entorno donde se encuentra situada, encontrar una solución a esta situación se encuentra entre las prioridades de los directivos de la fábrica, es por ello que se parte de identificar los puntos débiles del proceso productivo y partir de esto se sigue una estrategia para brindar soluciones a los mismos.
En este trabajo se siguió como objetivo fundamental: estudiar la posibilidad de producir papeles corrugados de calidad empleando una mezcla de pulpa Organosolv (hidroalcohólica con etanol y bajo por ciento de sosa) y pulpa de recortes (o papel reciclado), considerando simultáneamente las mejores alternativas de suministro de etanol y una mejor distribución de los recursos energéticos y acuosos del proceso. Para el cumplimiento del mismo se dejaron caracterizados en la fábrica los siguientes aspectos:

1. situación de los residuales, el consumo energético e impacto ambiental de la producción de la fábrica de papel Damují.
2. tecnología limpia de producción de papel onda a partir del bagazo mediante el empleo del pulpado con etanol en la etapa de digestión del proceso. Ésta es compatible con el medio ambiente y económicamente competitiva.
3. estrategia de integración de procesos para la prevención de la contaminación, utilizando métodos modernos de análisis de materia y energía, contempla un método para el reciclado del agua y el mejor uso de la energía en la fábrica.

4. modelos para predecir, de acuerdo con las materias primas y los equipos, las condiciones de producción de cartoncillo de la mejor calidad (exportable o de consumo nacional) con la máxima eficiencia.
5. se evaluaron económicamente las soluciones propuestas y se analizaron las posibilidades de implementación en la fábrica.

Materiales y Métodos

En la estrategia seguida para la búsqueda de soluciones a la problemática ambiental que presenta la papelera Damují como primer paso se realizó un estudio detallado de cada etapa del proceso identificando en estas sus puntos débiles. Como resultado de este estudio se arribó como primera conclusión que en materia ambiental la fábrica presenta las siguientes dificultades:

1. en la etapa de digestión del proceso de cocción del bagazo se genera el licor negro, de alto poder contaminante y que en el proceso actual es vertido al medio sin recibir ningún tratamiento
2. la fábrica consume una gran cantidad de agua fresca y genera un volumen alto de residuales acuosos
3. en diferentes partes del proceso existen pérdidas energéticas, no se aprovecha el valor térmico de los flujos y en ocasiones también se vierten al medio flujos con calidad térmica y posibilidades de ser reutilizados.

Una vez identificadas las dificultades se elabora la estrategia a seguir. En la figura 1, de forma resumida se muestran los pasos seguidos en el estudio. (González, 1996); (Parthasarathy, 2000).
Como puede verse las dificultades son analizadas de forma individual y luego todas las propuestas son evaluadas y se valoran las posibilidades de aplicación en la fábrica.
En lo que se refiere a la deficiencia 1, licor negro generado en la etapa de cocción del bagazo, en las fábricas de papel este residual es sometido a un proceso para la recuperación de los productos químicos empleados en la cocción, en el caso de la fábrica de papel Damují esta solución no es factible técnicamente y tampoco desde el punto económico ya que la fábrica tiene una baja capacidad de producción y no se justifica esta inversión. En el trabajo se hizo una búsqueda de patentes con el objetivo de determinar las posibilidades de tratamiento de este licor. De la misma se obtuvo que dada las características de la fábrica los métodos que con mayor frecuencia se emplean para dar tratamiento a este tipo de residual no son factibles de aplicar, por esto se propone el análisis de la posibilidad de emplear en el proceso otro método de pulpeo, en este caso se sugiere el empleo del pulpeo con etanol. (Ferreira, 1992); (Núñez, 1991); (Reinoso, 1990)
Para determinar la factibilidad de la posibilidad de aplicación en las condiciones de la fábrica del pulpeo con etanol se realizan varios diseños de experimentos a través de los cuales se obtiene las variables de mayor influencia en el proceso, así como las condiciones de operación al aplicar el nuevo método, en cada diseño se obtienen modelos que representan las variables respuestas medidas como son: número de kappa, rendimiento, resistencia al aplastamiento de la onda (ya que se trata de un papel que tiene como finalidad ser ondulado para la fabricación de cajas de cartón).
Una vez establecidas las condiciones de operación al emplear el pulpeo con etanol, se procedió a identificar y diseñar los cambios tecnológicos necesarios a realizar en la planta de pulpa, ya que sería en esta donde se harían las modificaciones y por último se procedió a la modelación matemática el proceso incluyendo los modelos obtenidos para el pulpeo con etanol.
Para la modelación del proceso, este fue dividido en las siguientes etapas: pulpeo, recorte, mezcla y máquina de papel. Teniendo en cuenta que en cada una de estas etapas las variables de salida constituyen entradas de las siguientes, se desarrollaron los modelos que caracterizaban cada uno de estos elementos y estos se agregaron hasta obtener el modelo global del proceso. Con la modelación se concluye el análisis de la etapa de cocción de este proceso.

La deficiencia explicada en el punto 2, que trata sobre el elevado consumo de agua fresca y vertido al medio de residuales acuosos, en este caso se aplica una herramienta de integración de masa conocida como diagrama fuente sumidero en la cual se parte de la identificación de los equipos consumidores de agua fresca en el proceso, el flujo de agua que consumen y la composición máxima de contaminantes que estos pueden aceptar con vista a analizar la posibilidad de reciclado de los flujos de residuales acuosos, es por esto que también se identifican los flujos de residuales que se generan, su volumen y nivel de contaminación. La herramienta consiste en que hay equipos y etapas que pueden admitir cierto nivel de contaminación, es decir no requieren un agua de gran calidad y por ello pueden sustituir el flujo de agua fresca que demandan por el uso de un flujo de agua reciclada. Para determinar hasta que punto puede ser efectuado este reciclo se plantea el problema matemáticamente y se optimiza para encontrar la solución adecuada de distribución de flujos. (Noureldin, 2000), (Parthasarathy, 2000)

Por último en relación a las pérdidas energéticas que ocurren diferentes partes del proceso, se aplicó el análisis pinch con el objetivo de determinar las potencialidades de recuperación de calor y de esta forma reducir el uso de utilidades externas, en este caso se divide la fábrica en tres plantas: planta de fuerza, planta de pulpa, y planta de máquina de papel, se hace una caracterización energética de cada una y se determinan donde ocurren las mayores pérdidas energéticas. Como resultado del análisis energético realizado por plantas se obtiene que es posible de aprovechar las oportunidades del método pinch en la planta de fuerza en la que son caracterizados los flujos fríos y calientes y aquellos que se pierden y pudieran ser mejor aprovechados. (Noureldin, 2000), (Parthasarathy, 2000)

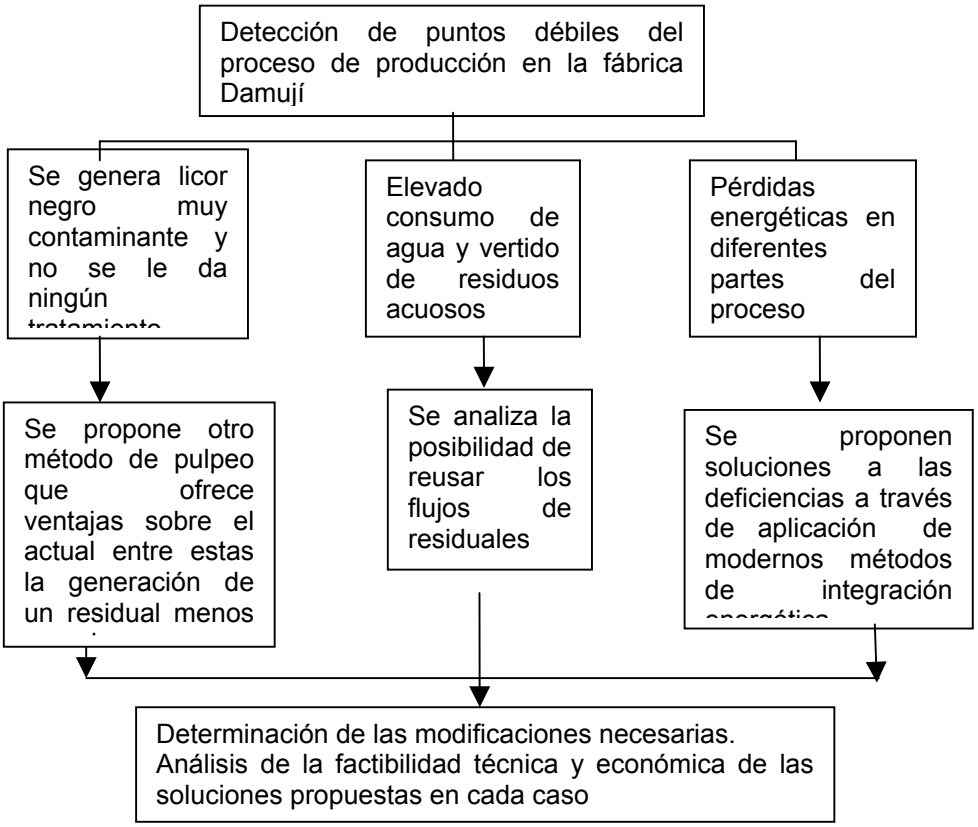


Figura 1. Esquema seguido para la búsqueda de soluciones a las deficiencias ambientales del proceso de fabricación de papel en Damují

Resultados y Discusión

En el desarrollo experimental que se realizó para dar solución a la deficiencia del licor negro se obtuvieron como mejores condiciones de operación las siguientes:
Temperatura de cocción: 170 ^{o}C
Presión de trabajo: 7 kgf/cm^2
Hidromodulo: 5:1
Por ciento de etanol base fibra seca: 45
Por ciento de sosa base fibra seca: 1.5
Tiempo de cocción: 15 minutos
Para estas condiciones se obtuvieron los siguientes resultados en las variables respuestas:
Número de kappa: 102
Rendimiento: 75%
CMT en hojas formadas sólo con pulpa de bagazo: 190 N
CMT en hojas de formulación 35% pulpa de bagazo, 65 % de recorte: 235 N
Los resultados de la caracterización realizada a los residuales obtenido en la cocción, 1: con sosa, proceso actual; 2: con etanol, método que se propone se muestran a continuación:

Tabla I. Indicadores de contaminación de licores residuales del pulpeo con sosa y etanol en Damují

	DQO(mg/L)	DBO(mg/L)	OD	SST(mg/L)	SS(mg/L)	pH
Pulpeo con Sosa en Damují	51484	1200	0.8	2048	64	10.2
Pulpeo con etanol en Damují	8118	20	0.7	165.6	50	5.4

Como puede verse todos los indicadores de contaminación son mayores en el licor residual del proceso que actualmente es usado en la fábrica, por otro lado se ve la mejoría apreciable que aporta el método de pulpeo que en el trabajo se propone demostrándose su validez para la disminución de la agresividad al medio de esta producción.

En la etapa de modelación del proceso, como se explicó en el desarrollo del trabajo se plantearon modelos para las diferentes etapas, estos modelos se muestran continuación, Tabla II, además se muestra la evaluación de las variables dependientes para dos condiciones de operación en las variables independientes. Es importante aclarar que la mayoría de los modelos que aquí se presentan fueron validados con datos de la fábrica.

Tabla II. Modelos y su evaluación resultante de la modelación del proceso de producción de cartoncillo empleando etanol en la cocción.

Caso 1	Caso 2
Área de pulpeo CMT= $77.15 + 1.35*x_1 + 7.31*x_2 - 0.73*x_3$ (1) Kappa= $105.75 - 2.995*x_2 + 11.79*x_3 - 2.51*x_2*x_3$ (2) Flujo de pulpa organoslv= $3.211 - 0.09*x_k - 0.0326*x_d - 0.23*x_9 + 0.0915*x_{10}$ (3)	
Se evalúa el modelo para: x_1= 45 min, x_2= 1.5 %, x_3= 5:1, x_k= 109.22 x_d= 0, x_9= 2, x_{10}= 5 %	x_1= 45 min, x_2= 2.5 %, x_3= 5:1, x_k= 109.12, x_d= 0 x_9= 2, x_{10}= 5 %
CMT = 134.2 N, Kappa = 109.22, F.pulpa= 1.75t/h	CMT= 131.35 N, Kappa= 109.12 F.pulpa= 1.76t/h
Área de Recorte CMT estimado en la pasta = $b_r* x_r + 178.13* x_b + 226.48*x_r*x_b$ (4) CMT estimado en la pasta = $b_r* x_r + 178.13* x_b + 226.48*x_r*x_b$ F. recorte = $-16.94 - 0.0407*x_{1a} + 0.144*x_{2a} + 1.034*x_{4p} - 2.12*x_{5p} - 2.61*x_{6p} + 2.62*x_{7p}$ (6) FTotal = F.p.organosolv + F. recorte (7) x_b= F.p.organosolv/ FTotal (8) pp:= $(77.15 + 1.35*x_1 + 7.31*x_2 - 0.73*x_3) * x_b + (302.43 - 49.51*x_{6p} + 31.19*x_{7p} - 0.092$ F. recorte$)*x_r - 157.64*x_b*x_r$ (9)	
x_{1a}= 230, x_{2a}= 230, x_{4p}= 2, x_{5p}=1.5, x_{6p}= 1.8 x_{7p}= 2	x_{1a}= 230, x_{2a}= 230 , x_{4p}= 1.6, x_{5p}= 1.5, x_{6p} 1.8, x_{7p}= 2
F.recorte= 6.30 t/h, F.Total= 8.05 t/h x_b= 22%, x_r = 78 %	F.recorte=5.88 t/h, F.Total= 7.64 t/h x_b= 23%, x_r = 77 %
Máquina de papel CMT = $-0.0144*CMT_{pasta}^2 + 4.2318*CMT_{pasta} + 20.561$ Produc. Final de papel = bo + bp*FTotal	
CMT de la pasta = 197.03 N CMT del papel = 317.82 N b_o= -0.38, b_p= 0.85, FTotal= 8.05 t/h	CMT de la pasta = 214.90 N CMT del papel= 331.83 N b_o=-0.38, b_p= 0.85, FTotal= 7.64 t/h

Produc. Final de papel = 6.45 t/h	Produc. Final de papel = 6.10 t/h

En la problemática referente al consumo de agua y vertido de residuos acuosos, la aplicación del diagrama fuente sumidero para el análisis de las potencialidades del reciclado de agua se obtuvo que existían variantes para el reciclo directo de agua ya que en los flujos de residuales a ser reciclados, se identificaron 3, el contaminante principal lo constituían fibras del mismo procesos, las cuales a su vez podían ser recuperadas y reincorporadas al proceso. También se identificaron necesidades de intersección de flujos para llevarlos a composiciones y flujo asimilables por los equipos consumidores de agua. Todos estos aspectos pudieron ser valorados con el uso del diagrama que se ha mencionado y con el planteamiento matemático del problema y más tarde su optimización se obtuvo que el consumo de agua fresca y el vertido de residuales acuosos podían reducirse en ambos casos a más del 80% por el reuso de flujos dentro del proceso. De esta forma el proceso quedó integrado desde el punto de vista másico.

Por último, la aplicación de la estrategia de integración energética desarrollada y la aplicación del método pinch permitió una redistribución de los recursos energéticos de forma más eficiente donde se aprovechó el valor calórico del licor negro en la planta de pulpa, la utilización de una purga que de forma continua era vertida en la planta de fuerza para el calentamiento del agua de alimentación a la caldera, el condensado de retorno y el combustible, y en la máquina de papel se diseñó un sistema para la recuperación del vapor de agua de la etapa de secado con el cual se logró disminuir aún más el consumo de agua fresca. Todas estas modificaciones tributaron a un ahorro significativo de combustible para la fábrica. El comportamiento del uso del vapor antes y después de la aplicación de la estrategia fue el siguiente:

Tabla III. Consumos de vapor en la papelera Damují antes y después del proceso de integración energética

	Consumo de vapor antes de aplicar la estrategia de integración energética , [t/dia]	Consumo de vapor después de aplicar la estrategia de integración energética , [t/dia]
Planta de Pulpa	5625	5090
Planta de Máquina de Papel	9072	9072
Planta de Fuerza	5449	2287

Hasta aquí se han mostrado los principales resultados obtenidos del análisis de las tres problemáticas planteadas al inicio del trabajo. Las soluciones propuestas fueron evaluadas económicamente y en la siguiente tabla aparece el costo de las mismas.

Tabla IV. Costo de Inversión de las modificaciones propuestas al proceso de fabricación de cartoncillo

Modificación Propuesta	**Costos de Inversión, $**
Pulpeo con etanol	261496
Reciclado de agua	37721
Integración energética del proceso de Damují	112208

Conclusiones

1. Es posible aplicar el pulpeo con etanol en las condiciones de la fábrica de papel Damují, realizando los cambios tecnológicos que se sugieren en el trabajo y trabajando en las siguientes condiciones: 45 % de etanol, 1.5% de sosa, tiempo de cocción 15 minutos, temperatura 170 ^{o}C, e hidromodulo 5:1.
2. Es posible estudiar el impacto de la introducción de una nueva tecnología de pulpeo del bagazo en las producciones de papel onda en Damují mediante el empleo de los modelos matemáticos de los elementos componentes.

3. Es factible ordenar las estimaciones de los resultados de calidad del producto empleando pulpa con etanol mediante un procedimiento heurístico de modelación de las diferentes alternativas.
4. Al emplear el pulpeo con etanol en la cocción de bagazo se obtiene un licor residual menos agresivo para el medio ambiente, los indicadores de contaminación en éste son menores en todos los casos a los del licor del pulpeo tradicional.
5. Existen potencialidades en el proceso para el reciclado de agua en el proceso lográndose disminuir el consumo de agua fresca y el vertido de residuales acuosos en más de un 80 %
6. La integración energética del proceso reporto ahorros en cuanto al consumo de combustible y contribuyó a la obtención de un proceso energéticamente más eficiente con una mejor distribución y utilización de los recursos energéticos.

Referencias

1. Noureldin, M. B; El-Halwagi, M., (2000), "Pollution prevention targets through integrated design and operation". Computers and Chemical Engineering, 24 pp 1445-1453.
2. Ferreira C. (1992), "Pulpado Hidroalcohólico de Eucaliptus grandis, deslignificación, catalizadores y ligninas.1992
3. Nuñez C., Ferreira J. (1991), "Pulpado hidroalcohólico del bagazo: Cinética, deslignificación y retención de polisacáridos. ATIPCA. 27° Congreso Técnico sobre celulosa y papel. Buenos Aires. Argentina. 18-23 de Noviembre.
4. Reinoso M., (1990) "Deslignificación del bagazo en el pulpado hidroalcohólico. Relación entre el No de Kappa y lignina residual".ATIPCA. 26° Congreso Técnico sobre celulosa y papel. Buenos Aires. Argentina. 12-17 de Noviembre.
5. Pajón P. M., (1998), Impacto prospectivo del pulpeo con etanol en Damují. Tesis de Maestría en Análisis de Procesos.
6. González Suárez (1996), "Posibilidades Del Pulpeo Con Etanol En Damují. Estrategia Para Su Complementación". Ponencia Ad-07 IV Simposio De Análisis De Procesos. UCLV.
7. Parthasarathy, G; Krishnagopalan, G. (2000), "Systematic reallocation of aqueous resources using mass integration in a typical pulp mill". Advances in environmental research. August.

BAGAZO DE CAÑA Y MADERA: ¿CUÁL SERÁ LA FIBRA DEL FUTURO EN CUBA?

Rafael S. Molina Mancebo

Unión de Investigación-Producción de la Celulosa del Bagazo "Cuba-9", Apartado 8, Quivicán, Provincia Habana, Cuba. Correo electrónico: investc9@enet.cu, direcc9@enet.cu.

RESUMEN

El bagazo de la caña de azúcar se ha empleado tradicionalmente en Cuba como materia prima para la producción de celulosa para papel y para la fabricación de paneles aglomerados de fibras y de partículas. Se mencionan las capacidades existentes para estos productos.
En el sector de la celulosa, la producción nacional se ha deprimido durante los últimos 15 años. Este fenómeno, sin embargo, no es exclusivo de Cuba, y es una manifestación de la evolución y de las tendencias internacionales en el desarrollo de esta industria.
El sector forestal y la industria de aprovechamiento de la madera y de sus residuos han experimentado una expansión sostenida en el país, y en la actualidad se valoran ideas acerca de su utilización como fuentes de fibra para la reanimación de la industria nacional de celulosa y de paneles aglomerados.
Por su rendimiento y rápido ciclo de renovación, el eucalipto es la especie de madera que mayor auge ha experimentado como fuente de fibra en países tropicales. Se comentan experiencias mundiales en el cultivo de plantaciones forestales para la industria de producción de celulosa papelera.
Se comparan las propiedades y características del bagazo y del eucalipto para este destino, así como los respectivos factores de riesgo, y se mencionan las premisas bajo las cuales el bagazo puede mejorar sus ventajas competitivas con respecto a la madera de eucalipto.

PALABRAS CLAVES: Bagazo, Eucalipto, Pulpa y Papel, Paneles aglomerados, Bosque tropical, Plantaciones forestales.

SUGARCANE BAGASSE AND WOOD: WHICH WILL BE THE FIBER OF THE FUTURE IN CUBA?

Rafael S. Molina Mancebo

Union of Research and Production of Bagasse Cellulose "Cuba-9", P. O. Box 8, Quivicán, Province Habana, Cuba. E mail: investc9@enet.cu, direcc9@enet.cu

ABSTRACT

Sugarcane Bagasse has been traditionally used in Cuba as raw material for the production of Paper Pulp and Agglomerated Panels like Hard Fiberboard and Particleboard. Existing capacities for these products are mentioned.

With respect to the Pulp Industry, the domestic production has undergone depression during the last 15 years. This phenomenon, however, does not concern exclusively to Cuba. Rather than that, it reflects the evolution and trends in the development of the International Pulp and Paper Industry.

Forestry sector and the Wood and its residues processing Industry have shown a sustained development in the Country. Consequently, some ideas are being worked out at present regarding their use as fibrous resources for the reanimation of the Cuban Pulp and Panel Industry.

On grounds of its yield and fast growing cycle, Eucalyptus has displayed the greater expansion in the Wood Sector of tropical countries. Worldwide experiences with industrial forests for the Pulp and Paper Industry are reviewed.

Properties and features of Bagasse and Eucalyptus as raw materials for the production of Pulp are compared, as well as their respective risk factors. Requisites for an enhanced competitiveness of Bagasse with respect to Eucalyptus wood are analyzed.

KEYWORDS: Sugarcane Bagasse, Eucalyptus Wood, Pulp and Paper, Agglomerated Panels, Tropical Forest, Plantation Forest.

BAGAZO DE CAÑA Y MADERA: ¿CUÁL SERÁ LA FIBRA DEL FUTURO EN CUBA?

Rafael S. Molina Mancebo

Unión de Investigación-Producción de la Celulosa del Bagazo "Cuba-9", Apartado 8, Quivicán, Provincia Habana, Cuba. Correo electrónico: investc9@enet.cu, direcc9@enet.cu

1. INTRODUCCIÓN

El bagazo de la caña de azúcar se ha empleado tradicionalmente en Cuba como materia prima para la producción de celulosa para papel y para la fabricación de paneles aglomerados de fibras y de partículas.
A mediados de la década de los años 80 del pasado siglo, la capacidad instalada para estos productos era de 105 000 Ton, y de 213 000 m³, para pulpa papelera y paneles, respectivamente, lo cual representaba una demanda potencial anual de 736 000 Ton de bagazo base 50 % de humedad.
La concepción típica del abastecimiento de fibra estaba basada en la ubicación de cada planta anexa a un central azucarero principal, el cual estaba destinado a entregar todo su bagazo, utilizando petróleo en reemplazo para cubrir sus necesidades energéticas. Los cambios drásticos en el escenario económico del país a partir de la década de los años 90, una de cuyas manifestaciones fue el encarecimiento del precio de este combustible, obligaron a abandonar el uso de bagazo sustituido por portadores energéticos no renovables (Molina, R. (1), 2003).

2. DESARROLLO

SITUACIÓN NACIONAL DE LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA Y PAPEL

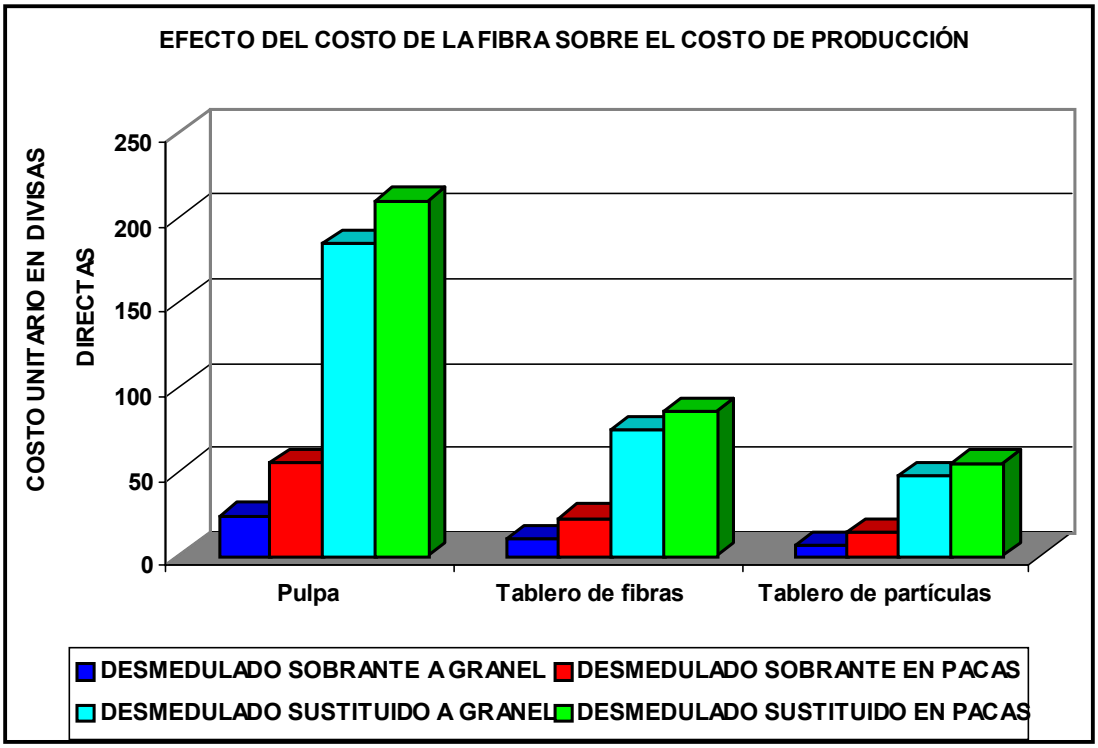
Durante los últimos 15 años la capacidad instalada y la producción nacional se han deprimido. Aunque este fenómeno no se puede atribuir solamente a las peculiaridades del desarrollo económico del país durante el periodo. Son también una manifestación de la evolución y de las tendencias internacionales en el desarrollo de esta industria.
A mediados de los años 80 (1984), la circulación nacional de papel y cartón llegó a rebasar las 300 000 Ton anuales, para un consumo percápita de 34 kg. La producción nacional en ese año fue de 121 200 Ton, y las importaciones alcanzaron la cifra de 184 200 Ton. (Molina, R (2), 2003).
En esa época, el país contaba con una capacidad instalada para la producción de celulosa del orden de 105 000 Ton anuales, de las cuales, 78 000 Ton eran de pulpa blanqueada o semiblanqueada. La industria nacional de producción de celulosa siempre ha dependido del bagazo de caña como materia prima fibrosa (3).
La capacidad instalada actual para la producción de papel y cartón es de 178 000 Ton, pero, por diversas razones, el índice de utilización de la misma es sumamente bajo. Para la fabricación de celulosa, la capacidad es de alrededor de 90 000 Ton, por lo que aproximadamente el 50 % de la demanda de fibra para una utilización plena depende de papel reciclado y de importaciones de celulosa.
La única planta en activo para la producción de pulpa es la Empresa "Sergio González", que emplea bagazo para la fabricación de papel para ondular. En el momento presente, no se fabrica celulosa blanqueada en el país, y la única planta existente en condiciones que permiten su rehabilitación, es la del Combinado de Papeles Blancos "Panchito Gómez" de Jatibonico. No está en los planes de la Unión del Papel el uso futuro de bagazo en esta instalación.
Por otra parte, las importaciones están limitadas en extremo, y el percápita ha descendido a niveles del orden de 7 kg. Todo el papel para impresión de periódicos, libros, revistas, libretas escolares, formas

continuas, fotocopiadoras, modelajes, etc., es importado. Sin embargo, existe una industria poligráfica desarrollada y relativamente moderna. (Molina, R. (4), 2002).

INFLUENCIA DE LA FIBRA SOBRE EL COSTO DE PRODUCCIÓN DE LA PULPA

Como promedio, la fibra constituye alrededor del 50 % del costo de producción de la pulpa papelera blanqueada. En el caso de la madera, la contribución de la fibra oscila entre 160 y 200 USD por Ton de pulpa, en dependencia de numerosos factores. De acuerdo a los precios actuales de los portadores energéticos no renovables, el uso de bagazo sustituido por petróleo encarecería considerablemente el aprovechamiento de esta materia prima para la industria de producción de celulosa.
Al precio de sustitución del bagazo, se añaden los costos de desmedulado, empaque y transporte. Por su alto consumo de fibra, la industria de celulosa es particularmente sensible a los costos de esta materia prima, como se puede apreciar en la **Figura 1**. Por lo tanto, en términos de viabilidad, es imprescindible emplear bagazo sobrante, el cual reporta ventajas económicas de importancia sobre el costo de la madera de pulpa.

FIGURA 1

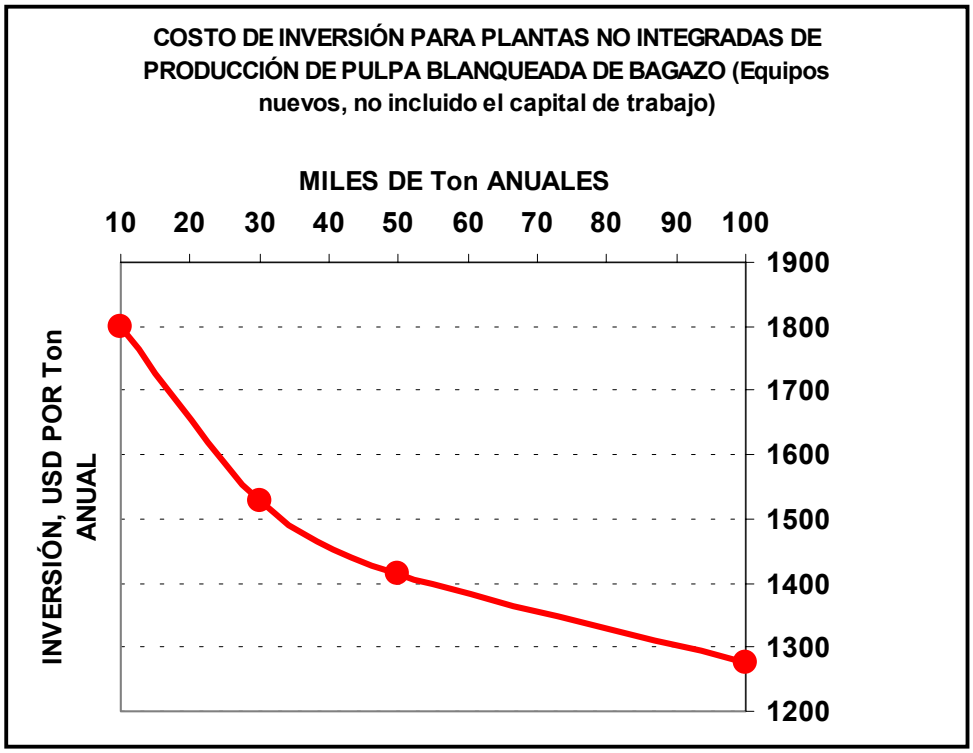


EL PROBLEMA DE LA ECONOMÍA DE ESCALA

A causa de las características de la industria azucarera cañera, se dificulta la creación de instalaciones productoras de pulpa de alta capacidad. Las mayores capacidades instaladas a partir de bagazo no rebasan las 300 Ton/día. El promedio mundial para esta materia prima es de 100 Ton/día. En el caso de la madera, las capacidades usuales oscilan entre 800 y 1500 Ton/día. (Molina, R. (5), 2002). Por lo tanto, este es un aspecto desventajoso para la pulpa de bagazo con relación a la de madera. En la **Figura 2** se ilustra el efecto de la economía de escala para plantas nuevas productoras de pulpa blanqueada de bagazo.

En lo referente a costos de inversión iniciales, este problema pudiera contrarrestarse mediante el empleo de maquinaria de "segunda mano". Con respecto a los costos de operación, mediante el empleo de bagazo sobrante.

FIGURA 2



¿DE QUÉ DEPENDE LA DISPONIBILIDAD FUTURA DE BAGAZO SOBRANTE?

La posibilidad futura de contar con bagazo sobrante depende de una reanimación en la industria azucarera, tanto en lo referente a los rendimientos agrícolas, como en la eficiencia industrial. Además se necesita una nueva visión integral del sector, encaminada hacia la diversificación, en la cual el central puede ser concebido como una "fábrica de biomasa". Ejemplos de posibilidades que pueden marcar nuevos rumbos sobre la base de objetivos comunes, son:

- *"Caña energética" o el cultivo de variedades de caña de alto contenido de fibra.*
- *Empleo de los residuos de la cosecha cañera (RAC) como combustible.*
- *Posibilidades de extender la zafra azucarera durante un tiempo mayor que el actual. La duración de la zafra está condicionada por los rendimientos en sacarosa. Una visión más amplia basada en el concepto de un complejo industrial de biomasa puede cambiar totalmente este enfoque. (forestales)*

EL "MITO" DE LOS PROBLEMAS DE CALIDAD DEL PAPEL FABRICADO CON PULPA DE BAGAZO

Hoy en día, son excepciones los papeles y cartones que se producen a partir de un solo tipo de pulpa. Por el contrario, la práctica general se basa en el empleo de mezclas. En el mercado internacional, la pulpa de bagazo comercial es casi desconocida, por lo que muchos fabricantes de papel no la pueden ensayar en sus productos. La pulpa de fibra corta más conocida y empleada en el mundo es la de eucalipto.

Sin embargo, la tecnología de producción de pulpa química convencional de bagazo es sencilla y conocida. La pulpa es fácilmente blanqueable en comparación con la de madera. Por sus características de fibra corta, es adecuada para la fabricación de papel para impresión y escritura, y base para estucar de calidades satisfactorias. Prueba de ello es que en el mundo operan exitosamente en la actualidad plantas productoras de estos surtidos basadas en el bagazo.
En el sector de los papeles y cartones industriales, el bagazo no es indicado para la producción de surtidos que requieren alta resistencia. No obstante, es también una materia prima excelente para la fabricación de medio para corrugar, producto altamente demandado en el sector de envases de papel y cartón.
Con respecto a los procesos de alto rendimiento, hoy en día es posible obtener pulpas de alta blancura y buenas propiedades de resistencia a partir de maderas duras. No puede decirse lo mismo en el caso del bagazo.

PLANTACIONES FORESTALES

La especie de madera de uso más extendido para la producción de celulosa blanqueada en países tropicales es el eucalipto. Aunque es también madera de fibra corta, permite obtener una calidad de pulpa superior que la que puede producirse a partir de las variedades tradicionales de caña. La producción de pulpa comercial de eucalipto ha alcanzado gran desarrollo en países como Brasil, India, Indonesia, España y otros. Para un aprovechamiento económicamente eficiente del área, se emplean las plantaciones forestales basadas en especies híbridas de crecimiento rápido. Específicamente en el caso del eucalipto, fuentes de información de la industria del papel (6), señalan que en Brasil se han logrado valores de rendimiento de hasta 42 m^3/ha-año, y tasas de renovación del orden de 5 a 7 años. El consumo de madera ha logrado reducirse desde 4,5 hasta 4 m^3 por TM de celulosa (7).
Estos resultados se han alcanzado después de muchos años de desarrollo de la tecnología forestal. Bajo esas condiciones excepcionales, el costo reportado de las nuevas plantaciones es de US $400/ha (8).
En el caso de plantaciones en Uruguay, el rendimiento varía entre 25 y 35 m^3/ha-año, con un período de rotación de entre 8 y 10 años.
Sin embargo, existe gran variación entre las tasas de crecimiento reportadas para plantaciones de varias especies de madera. En este sentido, a fines de los años 90, se indicaba que el rendimiento obtenido de la mayoría de las plantaciones tropicales era más bajo de lo esperado, en muchos casos por debajo de 50 % de su capacidad productiva y del rendimiento inicialmente previstos. Entre los factores que provocaban esta situación se mencionaban la adopción apresurada de decisiones tendentes a aumentar la extensión de las plantaciones forestales, sin una consideración cuidadosa de la viabilidad, así como la escasa prioridad concedida a los aspectos técnicos, como la adaptación de las especies a los lugares, el control de la calidad del material de plantación, los cuidados silvícolas y su seguimiento, y la protección y el apoyo a la investigación (Pande, H., 1999).
Los errores en las estimaciones han creado serios problemas de abastecimiento de madera en inversiones industriales cuya puesta en explotación se basaba en expectativas con respecto a la tasa de crecimiento y de rotación de las plantaciones, que no se lograron (10).

CONDICIONES NECESARIAS PARA UNA EXPLOTACIÓN EFICIENTE DE LA PLANTACIÓN FORESTAL

Entre los aspectos importantes que intervienen en la explotación de una plantación se señalan los siguientes:

⇒ CULTIVO DE LA PLANTACIÓN

- *Genética y banco de plantas híbridas para la repoblación.*
- *Silvicultura y organización de la tala, resiembra, raleo, estimaciones, análisis de terrenos, fertilización, desyerbe, equipos de corte, tiro, alza.*

- *Protección contra incendios.*
- *Protección contra plagas.*

⇒ INFRAESTRUCTURA
- *Viales y accesos.*
- *Transporte, personal, equipos, combustible.*
- *Redes de transporte de la madera hacia los centros destinados a su industrialización.*

NUEVAS INVERSIONES O MODIFICACIONES QUE SE REQUIEREN PARA ADAPTAR A EUCALIPTO UNA FÁBRICA DE CELULOSA DISEÑADA PARA BAGAZO

La modificación de una planta diseñada para el empleo de bagazo para su conversión al consumo de madera en astillas implica nuevas inversiones, adiciones y adaptaciones de consideración, que pueden resumirse en las siguientes:
- *Recepción y manipulación de madera en bolos.*
- *Corte a medida (uniformación de las dimensiones).*
- *Almacenaje (seco, con riego para prevenir incendios), o lago artificial.*
- *Descortezado.*
- *Caldera para el aprovechamiento de los residuos (corteza, aserrín, topes).*
- *Astilladora y sistema de clasificación de astillas.*
- *Modificación del sistema de digestión (para el bagazo son suficientes 10-12 minutos de tiempo de retención en el digestor; en el caso del eucalipto el tiempo de cocción es mucho mayor). Es probable inclusive que ello implique la sustitución del digestor actual por otro de tipo flujo pistón estacionario.*
- *Para poder mantener la capacidad productiva existente para bagazo, se requieren modificaciones y ampliación de la caldera y del circuito de recuperación para estar en condiciones de asimilar la cantidad de sólidos provenientes del sistema de licor negro de lavado. En el caso del pulpeo de bagazo, los sólidos a recuperación son del orden de 1 200 kg por TM de pulpa. Para el eucalipto, con mayor contenido de lignina y mayor consumo de reactivos de pulpeo (normalmente pulpeo al sulfato o kraft), los sólidos son de 1 400 kg por TM de pulpa o aun superiores.*

DEMANDA DE MADERA Y ÁREA NECESARIA DE BOSQUE CULTIVADO

Para un consumo de madera verde de alrededor de 4,5 m³ por Ton de celulosa, el abastecimiento de una planta de pulpa de 200 Ton/día, demandaría una cantidad diaria de aproximadamente 900 m³ de madera verde. Para 300 días de operación, se requeriría un consumo total de 270 000 m³.
Si se asume que bajo las condiciones de Cuba se podría obtener mediante la debida atención silvicultural y selección de especies, un rendimiento medio de 25 m³ por ha-año, la superficie anual de la plantación forestal no debe ser menor de 11 000 ha. La plantación no podría ser explotada comercialmente hasta cumplirse el período de renovación, que se supone de 8 años como mínimo.
Estos estimados se basan en los valores medios reportados internacionalmente, ya que el caso de Brasil es excepcional y producto de largos años de desarrollo e investigaciones en tecnología forestal y genética de especies.
En la **Tabla I** se resumen datos comparativos entre el bagazo y el eucalipto, como materias primas para la producción de pulpa papelera.

TABLA I
ALGUNOS DATOS COMPARATIVOS ENTRE EL BAGAZO DE CAÑA Y EL EUCALIPTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA BLANQUEADA

PROPIEDAD	U/M	Bagazo desmedulado	Eucalipto
Densidad aparente	kg (B.S.)/m³	80 - 100 (suelto)	700 (madera verde)
		180 - 200 (en pilas)	
		300 - 350 (en pacas)	
Longitud de fibra	mm	1,0 - 1,2 >2,0 mm (caña energética)	1,5
Contenido de lignina	%	18 - 20	27 - 28
Rendimiento (*)	m³/ha-año	-	10 - 40 (madera verde). Promedio 25
	Ton (B.S.)/ha-año	10	7 - 28 (madera verde). Promedio 17,5
		>20 (caña energética)	
Cantidad necesaria para una Ton de celulosa blanqueada	m³/Ton	-	4,57
	Ton (B.S.)/Ton	2,5	3,12
Tiempo de rotación del cultivo	años	1	7 - 12
Precio típico (**)	USD/m³	-	40 (precio internacional de madera verde)
	USD/Ton (B.S.)	15 (sobrante a granel) 68 (sustituido a granel)	-
Contribución al costo de producción de la celulosa	USD/Ton	37,5 (sobrante a granel) 170 (sustituido a granel)	182,8

(*) En la actualidad, el rendimiento agrícola de la caña es muy inferior en Cuba, lo cual implica en realidad un rendimiento de fibra útil de alrededor de 3 a 3,5 Ton B.S./ha-año.
(**) Precio del combustible fósil: $160 USD/ Ton.

Como puede apreciarse, de alcanzarse los rendimientos agrícolas previstos por la Tarea "Álvaro Reynoso", y con la introducción de nuevas variedades de caña energética, así como con otras medidas de incremento de la eficiencia energética, como el aprovechamiento de los residuos de la cosecha, es posible lograr mayores cantidades de bagazo sobrante, a un precio muy inferior al de las astillas de madera para pulpa.

3. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

No se está produciendo actualmente en el país pulpa blanqueada virgen, y la industria poligráfica depende totalmente de importaciones de papel. El percápita de consumo de papel y cartón es bajo con relación al alcanzado en los años 80 del pasado siglo.
En opinión del autor, a causa de los precios de los portadores energéticos no renovables, para hacer viable y competitiva la operación de plantas existentes y de nuevas inversiones basadas en el bagazo, con respecto a las importaciones de pulpa virgen, es imperativo disponer de bagazo sobrante. De este modo, el problema de la economía de escala inherente a la industria del bagazo pudiera ser contrarrestado por los menores costos de fibra en comparación con los de la producción basada en la madera.
Sin embargo, para lograr una mayor disponibilidad de bagazo sobrante, es necesario solucionar los problemas asociados a la agro-industria azucarera.
A pesar de sus características de fibra corta, es posible obtener pulpa blanqueada y papeles para impresión y escritura de alta calidad a partir del bagazo, como lo demuestra la existencia de plantas

basadas en esta materia prima en el mundo que operan y compiten exitosamente en el mercado de estos surtidos.

Las experiencias internacionales con plantaciones forestales indican que se necesitan numerosas condiciones y experiencias para garantizar el éxito y prevenir riesgos tales como los incendios, así como una infraestructura vial adecuada y medios de transporte eficientes. Estos requisitos no son más simples que los que necesita el cultivo de la caña de azúcar, y, por otra parte, las plantaciones forestales representan una inversión de recuperación lenta, ya que no pueden comenzar a ser explotadas hasta disponer de la superficie boscosa correspondiente al ciclo de renovación de la especie. En el mejor de los casos, este plazo no es menor de 6 a 7 años.

Sin negar las posibilidades futuras del sector forestal, se considera que el camino más corto y viable para contar con la fibra necesaria para la rehabilitación de la industria nacional de celulosa y papel, estriba en solucionar los problemas actuales de la agro-industria azucarera, sobre la cual se dispone de la ventaja de varios siglos de experiencia.

4. REFERENCIAS

1. Molina, R. (2003). “Demandas de fibra de las plantas productoras de derivados y alternativas para su aseguramiento”. Primer Taller para la utilización de bagazo y residuos de la cosecha cañera. La Habana, diciembre de 2003.
2. Molina, R. (2003). “Bagazo de caña y madera: disyuntivas fibrosas para la reanimación de la industria nacional de producción de celulosa para papel y cartón”. Primer Taller Internacional de aprovechamiento de la madera y Tecnología Forestal. La Habana, septiembre de 2003.
3. Anon. Programa de Desarrollo de Papel, MIB (1985).
4. Molina, R. (2002). Exposición sobre la industria nacional de celulosa y papel en comisiones para el desarrollo estratégico de los derivados de la industria azucarera. La Habana, octubre de 2002.
5. Molina, R. (2002). “Pulpa y papel de bagazo en los umbrales del nuevo siglo”. Ponencia en Mesa Redonda, Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña (Diversificación '2002). La Habana, junio de 2002.
6. Anon. Pulp and Paper International (1999): 41 (4): p. 16.
7. Anon. Pulp and Paper International (2000): 42 (10), p. 25
8. Anon. Pulp and Paper International (1997): 39 (3), pp. 31-33.
9. Pande, H. (1999). Importancia de las plantaciones industriales para el suministro mundial de fibra en el futuro. Unasylva (FAO) 49 (2), 1999.
10. Anon. Pulp and Paper International (1998): 40 (2), p. 27.

FIBRA DIETÉTICA, ALIMENTOS FUNCIONALES Y NUTRACRÚTICOS. POTENCIALIDAD DE LA INDUSTRIA AZUCARERA Y DERIVADOS.

Abril, A.

UIP de la Celulosa del Bagazo, Cuba-9. Quivicán, Apartado 8, P. Habana, Cuba invest@enet.cu

RESUMEN

La alimentación humana, se ha convertido en uno de los aspectos priorizados de la Ciencia y la Tecnología en nuestro país y en el mundo, teniendo en cuenta sus implicaciones con la salud, la calidad de vida y el crecimiento acelerado de la población mundial, todo lo cual requiere de alimentos con la cantidad y calidad suficientes para alimentar a la humanidad en el presente y en los próximos años.
Se ha demostrado en los últimos años, la importancia de la ingestión de fibra dietética en la salud humana, para prevenir la aparición del cáncer de colon y otros beneficios como son evitar la obesidad, y en algunos casos reducir la tensión arterial.
Las fuentes de fibras más utilizadas como aditivos en alimentos han sido: los salvados (trigo, avena, arroz, maíz), mientras que, la cáscara de chícharo, el psyllium y las fibras de frutas han constituido las más empleadas en los productos de uso médico.
Por su diversidad, la Industria Azucarera y de los Derivados, tiene amplias posibilidades de desarrollar alimentos funcionales, nutracéuticos y fibra dietética, que además de constituir una contribución a la alimentación humana, contribuyan a la diversificación azucarera, con nuevos productos y combinaciones de alto valor agregado.
Como ejemplos de estos desarrollos, está la fibra dietética a partir del bagazo, para la confección de productos horneados y pastas, lignina de bagazo como antioxidante, celulosa microcristalina, guarapo deshidratado y azúcar enriquecido con la adición de vitamina C, D, B y otros componentes. Otra línea de interés radica en la búsqueda de componentes de actividad antioxidante en la caña, mieles y otros productos de la Industria Azucarera.

Palabras Clave: Fibra dietética, alimentos funcionales, nutraceúticos

DIETARY FIBER, FUNCTIONAL AND NUTRACEUTICALS FOODS. POTENTIALITY OF THE SUGAR CANE AND SUGAR CANE BYPRODUCTS INDUSTRIES.

Abril, A.

UIP of Bagasse Cellulose, Cuba-9. Quivicán, P.O. Box 8, P. Habana, Cuba invest@enet.cu

SUMMARY

The human feeding, has become one of the prioritized aspects of the Science and the Technology in our country and in the world, keeping in mind their implications in the health, the quality of life and the world population's quick growth, all that which requires of foods with the quantity and enough quality to feed the humanity in the present and in next years.

It has been demonstrated in the last years, the importance of the ingestion of dietary fiber in the human health, to prevent the appearance of the colon cancer and other benefits like to avoid the obesity, and in some cases to reduce the arterial tension.

The sources of fibers more used as additives in foods have been: Beating Shells (wheat, trenches, rice, corn), while, the pea shell, the psyllium and the fibers of fruits have been more employees in medical products.

Because their diversity, the Sugar and Byproducts Industries, have wide possibilities to develop functional foods, nutraceuticals and dietary fiber, that besides constituting a contribution to the human feeding and contribute to the sugar diversification, with new products and combinations of high added value.

As examples of these developments, there is the dietary fiber from sugar cane bagasse, for baked products and pastas, Bagasse lignin as antioxidant, microcrystalline cellulose, dehydrated sugar juice and sugar enriched with the addition of vitamins C, D, B and other components. Another line of interest resides in the search of components with antioxidant activity in the cane, molasses and other products of the Sugar Industry.

Key Words: Dietary fiber, Functional Foods, Nutraceutical.

INTRODUCCIÓN

La alimentación humana, es una de las líneas priorizadas de la Ciencia y la Tecnología en nuestro país y en el mundo, teniendo en cuenta sus implicaciones con la salud, la calidad de vida y el crecimiento acelerado de la población mundial, todo lo cual requiere de alimentos con la cantidad y calidad suficientes para alimentar a la humanidad en el presente y en los próximos años.

Se ha demostrado en los últimos años, la importancia de la ingestión de fibra dietética en la salud humana, para prevenir la aparición del cáncer de colon y otros beneficios como son evitar la obesidad, y en algunos casos reducir la tensión arterial.

La relación entre la dieta y la salud fue reconocida por la medicina china desde el año 1 000 antes de Cristo. Hipócrates hace casi 2500 años, sentenció "deja que la alimentación sea tu medicina y que la medicina sea tu alimentación". También la Biblia, hace referencia a la mejor salud que tenían los judíos en comparación con los Egipcios y Babilonios, debido a su dieta basada fundamentalmente en leguminosas y vegetales.

Con vistas a mejorar su estado de salud, el hombre comienza a preocuparse por una correcta alimentación. Es así como se despierta un interés cada vez más creciente por las fibras dietéticas, ya que se ha descubierto que las mismas poseen efectos preventivos contra determinadas enfermedades. La aparición de diversas enfermedades en la sociedad industrializada, debidas en parte a los cambios nutricionales y en el estilo de vida de las personas, fue determinante para impulsar definitivamente a la investigación en materia de nutrición.

Hace tiempo que los países centroeuropeos concedieron a las fibras la importancia que realmente poseen para la salud, lo que también ocurre actualmente en los mediterráneos incluidos España, cuya población, sin embargo, ha sido menos constante en este sentido que las demás europeas, a pesar de disponer de la muy conocida, prestigiosa y afamada “Dieta Mediterránea”, que es, rica en: legumbres, frutas y verduras, por lo que aporta a la dieta un alto contenido de fibra en una óptima relación cualitativa.

Las fuentes de fibras más utilizadas como aditivos en alimentos han sido los salvados (trigo, avena, arroz, maíz), mientras que, la cáscara de chícharo, el psyllium y las fibras de frutas han constituido las más empleadas en los productos de uso médico.

El contenido de fibra en los vegetales de consumo habitual, varía entre un 3-8% de alimento comestible.

En las frutas es del 1,4-2,4%, siendo la media del 1,6%. Los alimentos más ricos en fibra son: el salvado de cereales, las alcachofas, las habas, los espárragos, las espinacas, las judías verdes, las berenjenas, las acelgas, la col lombarda, los puerros, los tomates y otros muchos que harían prácticamente interminable este listado. La fibra dietética se encuentra sólo en las plantas. Está compuesta por un grupo de sustancias estructuralmente relacionadas: celulosa, hemicelulosas, Lignina, gomas y pectina. Las fuentes buenas en fibra dietéticas son: granos completos, vegetales, frutas, nueces y semillas. Las carnes, el pescado, las aves, los huevos, los productos lácteos, las grasas, los aceites y el azúcar no la contienen.

Las fibras dietéticas deben incluirse en las dietas debido a que provocan un aumento de la materia fecal, estimulan el movimiento peristáltico de los alimentos a través del tracto digestivo, y ayudan a los músculos del mismo. Además, algunos investigadores han demostrado que las fibras pueden ejercer un papel muy importante en la prevención o el tratamiento de varias enfermedades y desórdenes como la obesidad, la diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer de colón, diverticulosis, el síndrome del intestino irritado, así como también del estreñimiento (González H. R. 2003).

Por su diversidad de productos, la Industria Azucarera y de los Derivados, tiene amplias posibilidades de desarrollar alimentos funcionales, nutracéuticos y fibra dietética, que además de constituir una contribución a la alimentación humana, contribuyan a la diversificación azucarera, con nuevos productos y combinaciones de alto valor agregado.

Como ejemplos de estos desarrollos, está la fibra dietética a partir del bagazo, para la confección de productos horneados y pastas, Lignina de bagazo como antioxidante, celulosa microcristalina, guarapo deshidratado y azúcar enriquecido con la adición de vitamina C, D, B y otros componentes. Otra línea de interés radica en la búsqueda de componentes de actividad antioxidante en la caña, mieles y otros productos de la Industria Azucarera.

En este trabajo, se describen las características fundamentales de las fibras dietéticas y la potencialidad de diferentes derivados de la caña de azúcar en este campo.

DESARROLLO

Higginson (1960) y otros médicos británicos comenzaron a interesarse en la fibra dietética, cuando descubrieron que los habitantes de una aldea en África, no sufrían ciertas enfermedades bastantes comunes en las zonas urbanas del continente y en los países occidentales.
Más tarde, (Burkitt 1975 y Trowell 1972) sobre la base de diferentes estudios epidemiológicos, señalaron que la deficiencia de fibra en la dieta podría contribuir a la aparición de determinadas enfermedades crónicas.
Todavía, no se conoce con exactitud el efecto que tiene la fibra dietética sobre las actividades fisiológicas del hombre, lo cierto es que la información obtenida hasta ahora acerca de sus propiedades fisicoquímicas y sobre su acción sobre el aparato digestivo, han justificado su uso terapéutico en enfermedades digestivas (Paniagua 1995) (diverticulosis, colon irritable, cáncer de colon, apendicitis).
Las fibras tienen un marcado efecto sobre la concentración de ácidos biliares en el jugo gástrico, muy poco sobre la acidez y ninguno sobre la pepsina, (Ryding 1984), lo cual favorece o justifica su consumo.
La celulosa, según diferentes trabajos de (Chean y Bernstein 1990) (Paniagua 1998) se encuentra entre las fibras que más acción tiene sobre la captación de ácidos biliares, promoviendo además su poliesterificación hacia formas inactivas. Aunque algunos autores (Schneeman 1991), señalan que la celulosa tiene una capacidad baja para unirse con los ácidos biliares.

Concepto de fibra dietética.

La fibra alimentaria fue definida inicialmente, como la parte de nuestra dieta derivada de las paredes celulares de los vegetales, que resiste la hidrólisis de las enzimas digestivas (Trowell 1972). Posteriormente, fue ampliada para incluir otras sustancias asociadas a los polisacáridos estructurales y lignina como son ceras, cutinas, polifenoles, proteína no digerible y una fracción de lípidos y compuestos inorgánicos (Trowell, 1974), sin embargo, no incluía los polisacáridos utilizados como aditivos alimentarios (gomas, polisacáridos de algas, pectinas, celulosas modificadas y almidones modificados, de los que se pueden esperar efectos fisiológicos similares a los de la fibra y que, además, son difíciles de diferenciar analíticamente de los polisacáridos de la pared celular.
Trowell y col (1976), reemplazaron esta definición por otra químicamente más precisa, que incluye todos los polisacáridos y lignina que no se digieren por las secreciones endógenas del tracto digestivo humano. La misma limita la definición anterior, al incluir solo los hidratos de carbono indigestibles y la lignina, y se amplía al incluir otros polisacáridos procedentes de aditivos alimentarios.
Cummings (1981) propone que la fibra debe ser definida en términos de las distintas sustancias químicas que la componen, sin incluir ninguna suposición acerca de su papel fisiológico que todavía no se conoce con exactitud, de esta forma, propone la definición como “polisacáridos no digeribles amiláceos y la lignina”, si bien indica que se deben realizar más investigaciones acerca de las propiedades químicas y los efectos fisiológicos de estos constituyentes, pues no considera totalmente correcto incluir la lignina, ya que no es un polisacárido.
Algunos autores (Englyst y Hudson, 1987; Englyst y Cummings, 1988) excluyen la lignina de la definición de fibra debido a que no es un hidrato de carbono y constituye una fracción mínima de la dieta difícil de determinar con exactitud, que ejerce efectos fisiológicos muy distintos de los polisacáridos no amiláceos.
Otros autores (Southgate y col, 1978; Prosky col 1985; Asp y col.,1988) consideran a la lignina como componente de la fibra, porque forma parte del tejido vegetal y por su carácter no digerible.
Esta línea, sin obviar el aspecto fisiológico, (Asp 1987) define la fibra como “polisacáridos no amiláceos, más la lignina que no son digeridos o absorbidos en el intestino delgado humano”, siendo esta definición la más aceptada y constituye la base para el diseño de los métodos de análisis de la fibra dietética.
Respecto a la exclusión de la proteína resistente, (Asp 1987) indica que la digestibilidad de las proteínas está influida por factores tales como el procesado, por ello, es necesario saber previamente si dicha

fracción forma parte de la pared celular y si es no digerible también “in vivo” (Asp y col, 1983). En general, la mayoría de los autores aceptan la exclusión de las proteínas.
El término de “almidón resistente” fue introducido por Englyst para referirse al almidón resistente "in vitro" después de la hidrólisis por α- amilasas, si no era previamente solubilizado con un álcali o con DMSO (Englyst y col, 1982). Recientemente ha sido definido desde el punto de vista fisiológico como el almidón de la dieta que no es digerido y/o absorbido en el intestino delgado. Dado que este almidón es indigestible, y por sus propiedades físico-químicas (susceptibilidad a la degradación bacteriana, capacidad de retención de agua) tiene unos efectos fisiológicos similares a otros polisacáridos constituyentes de la fibra, algunos autores creen adecuado incluirlo en la definición de la misma (Theander, 1987; Asp. y col, 1988).
Sin embargo, otros autores consideran que no debe ser incluido dentro del concepto de fibra, ya que lo que se mide como almidón resistente, es sólo una parte del almidón que resiste la digestión en el intestino delgado. Por otra parte, el contenido de almidón resistente, puede variar dependiendo del tipo de procesado a que sean sometidos. En consecuencia, sería difícil elaborar tablas de composición de alimentos, pues podría manipularse el contenido de fibra en alimentos ricos en almidón en función del método de procesado y se desestimaría el verdadero valor de fibra como componente de alimentos (Englyst y Kingman, 1990).
En la actualidad todavía no existe un acuerdo entre los científicos acerca de la definición de fibra y aunque el origen de este concepto tenga un carácter intrínsecamente fisiológico, es necesario con esta base fisiológica y una metodología analítica adecuada, describir la fibra en función de los componentes que la forman. Hoy en día, la definición más aceptada es: “Polisacáridos no amiláceos y Lignina”.

Composición de las fibras dietéticas
Los componentes de la fibra dietética pueden ser reunidas en cuatro grandes grupos, si se atiende a sus características químicas:
1) Polisacáridos estructurales o Polisacáridos no-almidón: Celulosa, hemicelulosas, pectinas, rafinosa y estafinosa.
Celulosa.
Es la sustancia orgánica vegetal más abundante en la naturaleza. La madera contiene cerca del 50% de ella, y el algodón es celulosa casi pura. Se trata de un polisacárido lineal, de alto peso molecular, constituido por la unión de entre 300 y 15 000 U de glucosa. En las paredes celulares de todas las plantas, la célula está rodeada por fibrillas de celulosa densamente “empaquetadas”, con una ordenación paralela. Sus propiedades más importantes se relacionan, en primer lugar, con la susceptibilidad de la molécula a la hidrólisis y, en segundo lugar, con su capacidad de absorber agua. Forma parte de los componentes insolubles de la fibra dietética y se encuentra abundantemente en la harina de trigo entera, el salvado y los vegetales. Las propiedades más importantes que tiene la celulosa son:
• Retener agua en las heces (100 g pueden fijar 40 ml de agua).
• Aumentar el volumen y el peso de las heces.
• Favorecer el peristaltismo del colon.
• Disminuir el tiempo de tránsito en el colon.
• Aumentar el número de deposiciones intestinales.
• Reducir la presión intraluminal.
• No intervenir en la absorción de metales divalentes, colesterol y ácidos biliares.
La celulosa es la principal fuente de fibra insoluble. Uno de los productos más comunes de ella es la celulosa microcristalina (MCC). En los EUA se destaca como el primero el AVICEL® de la FMC Corporation, pero existen otras compañías que lo venden también en los EUA. Están disponibles muchas formas de MCC en un variado rango de tamaño de partículas; MCC sola o con carboximetilcelulosa (CMC) añadida; o en combinación con otras gomas como la guar y el aligenato de sodio. La MCC y sus derivados se han utilizado extensamente para reemplazar los ingredientes con muchas calorías, especialmente las grasas. Por ejemplo la compañía Opta Food Ingredients, Inc. (Bedford, EUA) vende productos de MCC Blanver's Best™, los cuales están hechos de celulosa microcristalina coprocesada con un 10% y hasta un 20% de CMC. Estos productos se utilizan generalmente a niveles de hasta un 3% y de esta manera contribuyen al contenido de fibra insoluble (MCC) y soluble (CMC) de los alimentos.

Otros derivados de la celulosa, como la metilcelulosa y la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), han sido utilizados durante años como aglutinantes multipropósitos, ya que pueden hidratarse y formar geles de varias fortalezas.
La celulosa en polvo, con un 99% total de fibra dietética (TFD) se encuentra disponible en varias fuentes.
Aunque se encuentra con un alto grado de pureza, la celulosa en polvo se considera no calórica. Desde el punto de vista químico, está compuesto de beta 1,4-glucanos (90%) y de hemicelulosas 10%).
La longitud más común para la mayoría de las aplicaciones es de 35 µm, aunque se han utilizado fibras más pequeñas (25 µm) para bebidas fortificadas. Con este tamaño, las fibras son casi tan anchas como largas, por lo que actúan más como una partícula.
En dependencia de la longitud, la fibra de celulosa puede retener entre 3,5 y 10 veces su peso en agua.
Las más largas aumentan la viscosidad de los sistemas alimenticios debido a que retienen más agua. La retención de agua es proporcional a la longitud del capilar en la fibra. Debido a las propiedades capilares de la fibra celulósica, mientras más larga sea, mayor será la absorción de agua y grasa.
.
Hemicelulosa.
Constituyen un grupo muy amplio de polisacáridos formados por la unión, en diferentes proporciones, de unidades de monosacáridos, siendo los más importantes: glucosa, galactosa, xilosa, arabinosa, manosa y ácidos urónicos. Las hemicelulosas no tienen una relación biosintética ni estructural con la celulosa, pero se las denominó así por considerarlas íntimamente relacionadas en la planta. Efectivamente, las paredes celulares de las plantas "superiores" pueden compararse a estructuras de hormigón armado, donde las fibrillas de celulosa corresponden a las varillas de acero y entre ellas existe una matriz, a modo de cemento, constituido sobre todo por hemicelulosas y también por pectinas. Como hemos dicho, son polisacáridos formados por la unión de distintos azúcares, pero no forman cadenas tan largas como la celulosa. Si son muy ricas en ácidos urónicos, se llaman hemicelulosas ácidas; si no lo son, se denominan hemicelulosas neutras. Forman parte de las fibras insolubles y están presentes en el salvado y en los granos enteros. Sus propiedades más destacadas son:
• Aumentan el volumen y el peso de las heces.
• Reducen la elevada presión intraluminal del colon.
• Aumentan la excreción de ácidos biliares.
Pectinas.
Son también polisacáridos ramificados, formados por unidades de ácido galacturónico, que a veces pueden incluir moléculas de otros monosacáridos, como fructosa, xilosa y ramnosa. Lo que las diferencia de las hemicelulosas es su alto contenido en ácido galacturónico. El peso molecular de las pectinas es habitualmente alto, como corresponde a su estructura formada por varios cientos o hasta 1 000 U de monosacáridos. Si bien se encuentran en todas las plantas, los cítricos y las manzanas son especialmente ricas en ellas. También las contienen las hojuelas del salvado, la cebada y las legumbres. Son de fibras solubles y actúan de la siguiente manera:

- Absorben el agua.
- Suministran el sustrato fermentable para las bacterias del colon.
- Retrasan el vaciamiento gástrico.
- Fijan los ácidos biliares y aumentan su excreción.
- Reducen la concentración plasmática de colesterol.
- Mejoran la tolerancia de los diabéticos a la glucosa.

2) Polisacáridos no estructurales:
Gomas.
Son polisacáridos muy complejos que no forman parte de la pared celular en la planta sino que, suelen destinarse a reparar áreas dañadas. Presentan una alta viscosidad. Su estructura está formada por largas cadenas de ácido urónico, xilosa, arabinosa o manosa. Entre las más conocidas se encuentran la goma guar, la arábiga, la de karaya y la de tragacanto. Son fibras solubles cuyas propiedades son similares a las de las pectinas:
• Disminuyen el tiempo de vaciado gástrico.
• Suministran el sustrato fermentable para las bacterias del colon.
• Reducen la concentración plasmática de colesterol.
• Mejoran la tolerancia de los diabéticos a la glucosa.

Mucílagos.
Son polisacáridos poco ramificados que no forman parte de las paredes de las células vegetales, sino que se encuentran en el interior de semillas y algas. De hecho, son en realidad hemicelulosas neutras (es decir, pobres en ácidos urónicos), pero no se las llama así para remarcar el que no son polisacáridos estructurales. Entre los mucílagos más conocidos se hallan los contenidos en la cáscara de semilla de Plantago ovata (Ispaghula Husk), la goma guar y el de la semilla de acacia. Forman parte de las fibras solubles. Los efectos que ocasionan son:
• Disminución del tiempo de vaciado gástrico.
• Suministro del sustrato fermentable para las bacterias del colon.
• Fijación los ácidos biliares.
3) Sustancias estructurales no polisacáridos:
Lignina.
Es un complejo aromático (no carbohidrato) del que existen muchos polímeros estructurales (ligninas). Después de los polisacáridos, la lignina es el polímero orgánico más abundante en el mundo vegetal. Es importante destacar que la lignina es la única fibra no polisacárido que se conoce. Sus propiedades son específicas porque:
• Reduce el grado de digestión de la fibra.
• Inhibe el crecimiento de colonias bacterianas intestinales.
• Presenta efecto hidrofóbico, pues tiene una acción muy potente en la adsorción de ácidos biliares.
• Protege a la mucosa del colon frente a agentes cancerígenos.
Almidón resistente.
Los almidones o féculas se encuentran distribuidos ampliamente en tubérculos (como la patata), y en granos, en semillas, en gran número de frutos, en los rizomas y en la médula de muchas plantas. Al principio, se pensaba que la totalidad del almidón ingerido se disociaba y absorbía a lo largo del tracto intestinal. Estudios recientes han demostrado que al menos el 10% escapa a los procesos de digestión. Este almidón es resistente se define como "la suma de almidón y productos de su degradación que no han sido absorbidos en el intestino delgado de sujetos sanos". Existen tres tipos de almidón resistentes a la α-amilasa humana, que se encuentran por ejemplo en: los granos y semillas poco molidos, las patatas y plátanos y las comidas preparadas o precocinadas. Se comporta en el colon como un sustrato importante para la fermentación bacteriana, habiéndose demostrado su influencia en la producción de ácidos grasos de cadena corta (el butirato por ejemplo).
3) Otras sustancias.
En este grupo se incluyen la cutina, los taninos, la suberina, el ácido fítico, las proteínas y los materiales inorgánicos como el calcio, el potasio y el manganeso.

Clasificación de las fibras dietéticas.
Las fibras dietéticas se clasifican según su composición, su grado de solubilidad en el agua y su tipo o nivel de fermentación bacteriana.
Según su composición se pueden clasificar en tres grandes grupos:
1) Fibra verdadera o vegetal.
Está integrada por algunos componentes de la pared celular de las plantas, la celulosa, la hemicelulosa y la lignina.
2) Fibra dietética total.
Incluye a todos los compuestos, fibrosos o no, que no son digeribles por las enzimas del intestino humano.
3) Fibra bruta o cruda.
Es el residuo libre de cenizas que resulta del tratamiento en caliente con ácidos y bases fuertes. Constituye del 20-50% de la fibra dietética total. Es un concepto químico/biológico.
Hay que señalar que cuando se menciona a la fibra, siempre hay que entender que se está citando a la dietética. Esta cuestión es básica y fundamental para poder entender las diferencias de los valores cuando se refieren al contenido en fibra de los diversos alimentos (ver Tabla I).

Tabla I. Diferencias entre la fibra cruda y la dietética.

Alimentos	Fibra cruda (g/100g)	Fibra Dietética (g/100g)
Harina integral de trigo	**2**	**10**
Plátano	**0,6**	**2,8**
Naranja	**0,5**	**1,1**

Las fibras pueden fermentarse por bacterias en mayor o menor grado de donde surgen las dos categorías siguientes:
1) Fibra poco fermentable. Aquellas ricas en celulosa y lignina, como el salvado de trigo, que son bastante resistentes a la degradación bacteriana en el colon, por lo que son excretadas intactas en las heces.
2) Fibra muy fermentable. Son ricas en hemicelulosas (solubles e insolubles), en arabinoxilanos —como la Ispaghula— o en ácido glucourónico, representadas principalmente por las pectinas. Todas son fermentadas y degradadas rápida y completamente por la flora del colon. Por su comportamiento fermentativo, debemos incluir también el almidón resistente.

Tabla II Fermentabilidad de las fibras.

Tipo	Principalmente solubles	Solubles + Insolubles	Principalmente Insolubles
Fermentables (< 70%)	Pectina, goma guar, goma arábiga, tragacanto		
Parcialmente fermentables (10-70%)	Agar, Plantago ovata, cáscaras (Ispaghula husks, Psyllium husks)	Plantago ovata, semillas	Salvado de trigo, Celulosa
No fermentables (< 10%)	Carragenina, Karaya, metilcelulosa, carboximetilcelulosa		Lignina

Clasificación Biológica.
Es la más empleada, ha dado origen a la mayoría de las tablas que se usan habitualmente en dietética:
1) Fibra insoluble.
Esta característica es propia de la celulosa, la mayoría de las hemicelulosas y de la lignina.
2) Fibra soluble.
Forma una mezcla de consistencia viscosa, cuyo grado depende del alimento ingerido. Se encuentra fundamentalmente en las frutas (naranjas y manzanas) y en los vegetales (zanahorias).
Esta es la forma más común en que suelen clasificarse las fibras dietéticas. Generalmente ambos tipos se encuentran en todas las fuentes y sólo las proporciones son las que varían.
La fibra soluble está mayormente en las frutas y verduras. También está presente en el salvado de avena, la cebada y los frijoles. Debe su nombre a que se disuelve en agua y pasa por el aparato digestivo más lentamente que la insoluble. Junto con una dieta baja en grasa, puede ayudar a bajar el nivel de colesterol en la sangre. También es posible que mantenga en equilibrio el nivel de la glucosa.
La fibra insoluble está formada principalmente por compuestos que constituyen la estructura de las células de las plantas y de las capas de salvado de los granos y cereales. Proporciona volumen y pasa por el aparato digestivo rápidamente. Estimula el movimiento de los músculos del intestino, lo cual ayuda a mantener la regularidad. Se encuentra principalmente en el pan y en los cereales hechos con grano integral, en la cascara comestible de algunas frutas como la manzana y la pera, en las raíces y en las verduras hojosas. Los cereales son especialmente ricos en ella.

Tabla III. Fuentes principales de los componentes de la fibra dietética.

Fibra	Fuente
Celulosa	En la pared celular de todos los vegetales. Frutos, vegetales, leguminosas (soja), cereales, salvado
β-glucanos	Principalmente en avena y cebada.
Hemicelulosas	Maíz, avena, cebada, trigo, soja.
Pectinas	Frutas cítricas, vegetales (fundamentalmente la col).
Gomas	Avena, leguminosas (Especies de acacia, algarrobo), guar (Cyamopsis tetragonoloba Lim.) alga carragén, bacterias del género xanthomonas.
Mucílagos	Avenas, leguminosas, psyllium (Plantago psyllium Lim., Plantago ovata, Ispagula husk)
Lignina	Principalmente en alimentos con semillas que se consumen intactas: maní. Frutas y algunos vegetales

Ingestión de fibra dietética

Las recomendaciones aunque son muy variadas y se adaptan al uso terapéutico deseado, pueden oscilar entre 20-100 g/día. En ocasiones se considera que una dieta es adecuada cuando al menos aporta 30 g/día de fibra y que la finalidad no es alcanzar un nivel determinado sino aumentar la ingesta paulatinamente para evitar efectos desagradables. Muchos expertos recomiendan que se consuma de 20 a 35 g de fibra dietética al día. Se estima que el americano típico consume solamente de 11 a 13 g diarios. Algunos estudios demuestran que los mayores efectos sobre el metabolismo de carbohidratos y lipoproteínas se obtienen cuando se consumen de 70 a 100 g/día de fibra, ingesta que a la mayoría de la población le resultaría imposible mantener. Otros establecen que para diabéticos la ingesta debería ser como máximo de 40 g/día, y que con una ingesta entre 20 g/día y 50 g/día se lograrían disminuir de forma significativa el colesterol en plasma.

El bagazo de la caña de azúcar como fuente de fibra dietética.

De las patentes sobre fibra dietética revisadas, entre 1970 y 2002, sólo el 9,8 % trata sobre la celulosa (99 de 1 013). Una sola (0,1%) está relacionada con un producto de harina que contiene una alta concentración de fibra dietética derivada de la caña de azúcar y su proceso de fabricación (Kevin 1992) . En esta patente se describe que el producto se obtiene mediante la separación de la médula de la caña de la corteza. La médula limpia se seca y se muele hasta obtener fibras con una longitud que no excede los 300 μm.

El procedimiento para la obtención de celulosa a partir de fuentes típicas de este producto (madera, algodón, bagazo, etcétera) es químico y se fundamenta en el tratamiento de la fibra vegetal con peróxido de hidrógeno en medio alcalino (US Pat. 1989) . Una versión mejor de este método incluye la combinación de la ruptura mecánica con el método químico, lo que redunda en un menor gasto de reactivos y en la obtención de un producto no tóxico y con una disponibilidad alta de celulosa (US Pat. 1991) .

Existe otra patente para la obtención de celulosa de fuentes vegetales como fuente de fibras dietéticas (Mitsubishi Paper Mills Ltd, 1996) Esta describe el procedimiento para obtener un producto apto para el uso humano, con vistas a aportar beneficios a su salud. Esta invención describe la deslignificación y el posterior blanqueado mediante la utilización de al menos dos tipos de compuestos seleccionados entre: el oxigeno, el cloro, un alkalis, el hipoclorito, el peróxido de hidrógeno o el dióxido de cloro. De esta manera se obtiene de una pulpa de celulosa con un 85% de blancura, un contenido de compuestos halogenados menor de 330 ppm y un nivel de benzeno – etanol inferior a 1,2 mg por gramo de pulpa.

Obtención de fibra dietética a escala piloto

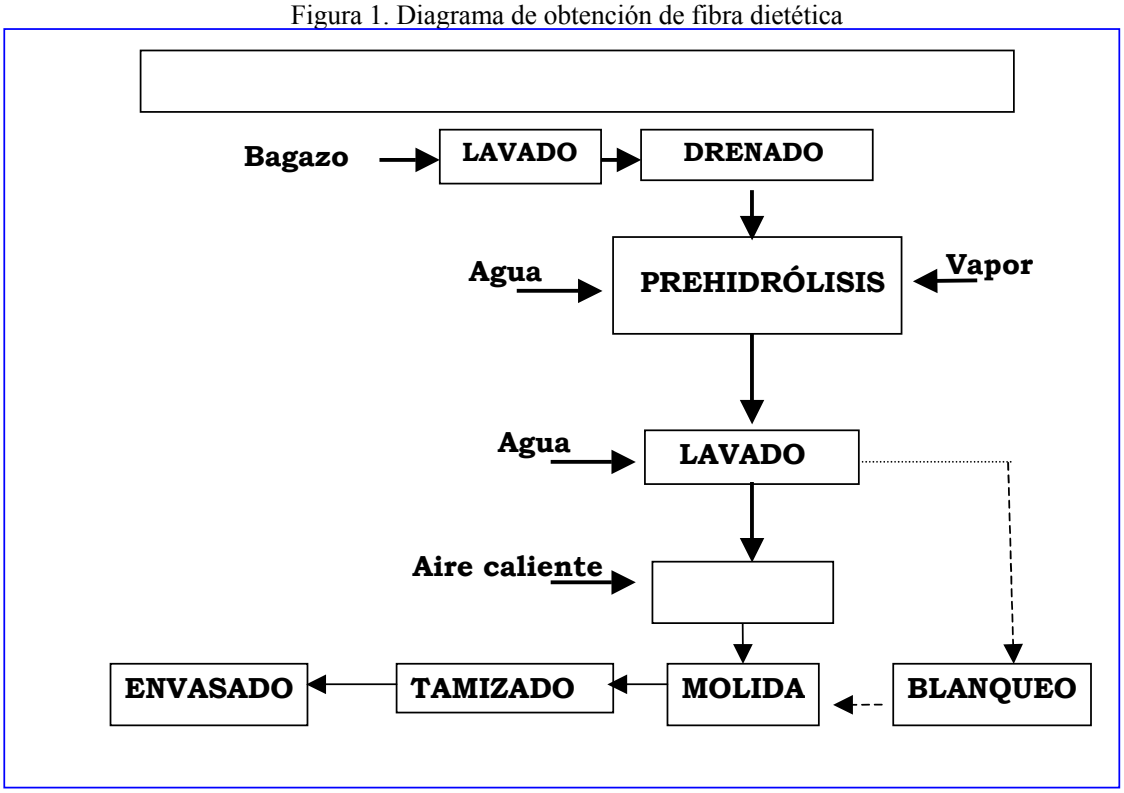
En la tabla IV, se muestran los resultados obtenidos a escala de planta piloto en la obtención de fibra dietética a partir del bagazo. Se empleó bagazo integral de 6 meses de almacenamiento de la Empresa Azucarera Cte. Manuel Fajardo.

El material obtenido a 170 0C resultó de color muy oscuro, por lo que se disminuyó a 150 0C. En esta ocasión la fibra resultó de un color más claro. La misma fue molida inicialmente en un molino Walley de Planta Piloto y posteriormente en un molino de planta piloto. Esta muestra fue empleada a modo experimental para la confección de pan tipo flauta. Se realizaron dos pruebas con 4 – 5% de proporción de fibra en la masa, con resultados satisfactorios.
Cabe señalar que para la segunda prueba el material fue tamizado en un tamiz de 350 μ, empleando el aceptado para este fin. Como resultado el pan obtenido presentó mejor palatabilidad y apariencia.
También se han tratado con Ozono algunas muestras obteniéndose un material de mejor coloración, destacándose mejor efecto cuando se trata el material sin moler.
En la prehidrólisis a 130^0C se obtuvo un material más claro.

Tabla IV. Componentes Químicos del bagazo y de la fibra dietética obtenida

	Bagazo	**Fibra (170^oC)**	**Fibra (150^0C)**	**Fibra (130^0C)**
Celulosa, %	45,3	56,8	56,9	54,0
Lignina, %	23.6	22,9	22,6	21,9
Solubilidad NaOH 1%	36,7	42,3	39,6	38,7
Hemicelulosas, %	27,5	19,5	19,4	23,5
Cenizas, %	2,2	0,2	0,3	0,3

Figura 1. Diagrama de obtención de fibra dietética



Obtención de celulosa microcristalina (MCC) para su uso como fibra dietética.
La Celulosa Microcristalina es la fracción sólida de bajo peso molecular, resistente a la hidrólisis parcial controlada de la celulosa en medio ácido. Este producto es de elevada pureza química y se emplea como excipiente de tabletas y otros usos donde se incluye el de aditivo en alimentos y fibra dietética.
En la UIP Cuba-9, se desarrolló una tecnología para la obtención de MCC a partir del bagazo.
Las características del producto obtenido evaluado según Normas Pharmaccopea se resumen a continuación:

Tabla V. Propiedades de la MCC obtenida a partir del bagazo

Característica	Valor
Pureza %	**97**
pH	**5,7**
Cenizas %	**0,01**
Humedad %	**4,1**
Retención en tamices %	
250	**21,6**
125	**22,2**
63	**38,2**
45	**16,0**
colector	**2,0**

Las propiedades de la MCC obtenida son semejantes a las de los mejores productos del mercado. En estos momentos se evalúa como fibra dietética en la confección de diferentes alimentos, sola o en combinación con carboximetilcelulosa.

Derivados de la Lignina de bagazo como fibra dietética y aditivo en alimentos.
La UIP Cuba-9, ha desarrollado tecnologías para la obtención de derivados de la lignina del bagazo, a partir de los licores residuales del pulpeo con fines papeleros, o a partir del bagazo integral o desmedulado. El producto obtenido LIGMED®, por su constitución es una fibra dietética insoluble, que además posee propiedades antioxidantes y una gran capacidad para adsorber y retener fuertemente bacterias patógenas y toxinas que se encuentran en el tubo digestivo, las cuales son expulsadas naturalmente durante la defecación; además presenta propiedades antimicrobianas. Entre sus aplicaciones farmacológicas están la de antidiarréico oral, preventivo de enfermedades del tracto gastrointestinal y antioxidante. Presenta perspectivas como fibra dietética o como aditivo en alimentos

Tabla VI. Características del LIGMED

Característica	Valor
Fórmula química	$C_9H_{7,53}O_{1,76}(OCH_3)_{0,94}(OH)_{1,47}$
Peso molecular	**2500-3000 Dalton**
Lignina ácido insoluble (%)	**≥60**
Cenizas (%)	**≤5**

CONCLUSIONES

1. Las fuentes de fibras más utilizadas como aditivos en alimentos han sido: los salvados (trigo, avena, arroz, maíz) para cereales, mientras que, la cáscara de chícharo, el psyllium y las fibras de frutas han constituido las más empleadas en los productos de uso médico. Las demandas diarias de fibra dietética estimadas de 20-30 g para mantener una salud adecuada son difíciles de satisfacer con los productos tradicionales(vegetales, granos, tubérculos y otros), por lo que se hace necesario incrementar el contenido de fibra dietética de otros alimentos, mediante su adición a los mismos.
2. La demanda de fibra ha crecido entre los consumidores por la toma de conciencia, que ha tenido lugar entre estos, acerca de los beneficios que aporta a la salud.
3. La aparición de cualquier producto nuevo, basado en las fibras dietéticas y que involucre el tratamiento de alguna enfermedad nueva o existente, será muy bien recibido.
4. En Cuba recién está surgiendo el mercado de las fibras dietéticas, ya que la mayoría de los productos identificados se encuentran en la etapa de investigación y desarrollo, con poca aplicación aún en la

industria médico – farmacéutica y con escaso desarrollo en las plantas de producción y en la comercialización de estos productos.

5. La industria azucarera tiene un enorme potencial en el desarrollo de nuevos productos a partir del bagazo y de otros derivados como fibras dietéticas y alimentos funcionales. Se deben explorar las posibilidades de incrementar el valor como alimento del azúcar, mediante su modificación química o por la adición de otros elementos.

REFERENCIAS

- Andrews K.R. (1992) Patent Number 5106645. Product and process of making a high fiber flour-type product derived from sugar cane.
- Asp, N.G.; Johanssan, G.G.; Hallmer, H. y Siljestrom, M. (1983). Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fibre. J. Agric. Food Chemistry, 31, 476-482.
- Asp, N.G. (1987). Dietary fibre definition. Chemistry and analytical determination. M aspects, 9,17-29.
- Asp, N. G.; Furda, I; DeVries, J. W. ; Schweizer, T. F. y Prosky, L (1998). Dietary fiber definition and analysis. Am. Journal Clinical Nutr., 48, 688-690.
- Burkitt D.P, Trowell H. (1975) Refined carbohydrate foods and disease. New York: Academis Press.
- Chean D., Bernstein H., (1990) Colon cancer and dietary fiber. Cellulose inhibit the DNA-Damaging. Ability of bile acid. Nutr. Cancer; 13:51-57.
- Englist, H.N., Wiggins, H.S. y Cummings, J.H. (1982). Determination of the non-starch poly-saccharides in plant foods by GLC of constituent sugars as the alditol acetates. Analyst, 107, 307-318.
- Englist, H.N., Hudson, G., (1987). Colorimetric method for routine measurement of dietary fiber as non starch polysaccharides. Comparison with GLC. Food Chem.,24,63-76.
- Englist, H.N., Cummings, J.H., (1988). Improved method of measurement of dietary fiber as non starch polysaccharides in plants foods. J.Assoc.Off.Anal.Chem.,71,808-814.
- Englist, H.N., Kingman, S.M. (1990). Dietary fiber and resistant starch a nutritional classification of plant polysaccharides in J.W. anderson eds. Dietary fiber. Plenum publishing corporation. 49-65.
- González H. R y col. 2003 Consultoría Biomundi/IDICT. Estudio de mercado y estado de la técnica de los procesos de fabricación de fibras dietéticas. La Habana, abril 2003.
- Higginson J., Dettle A.G.,(1960) Cancer incidence in Bontu and " Cope Coloured" races of South
- KEVIN R (US), EP 0515579 A1 19921202, WO 9111917 A1 19910822.Product and process of making a high fiber flour-type product derived from sugar cane, US5106645, Titular: AN-DREWS
- LIGMED-A.; (1996). Registro de medicamentos veterinarios #196, Cuba.
- Mitsubishi Paper Mills Ltd JP8116923, , 1996.
- Paniagua M., Piñol F., Cedán A., (1995). Acción terapeútica de la celulosa microcristalina en la gastritis alcalina. Su importancia en el paciente quirúrgico. XXI Congreso Brasileiro de Cirugia. XI Congreso Latino.Americano de Cirugia. Sao Paulo. Brasil
- Paniagua M., Piñol F., (1998). Nueva terapéutica de la gastritis alcalina. De. Academia. La habana.
- Prosky, L., Asp, N.G., Furda, Y., deVries, J.W., Schweizer, T.F., Harland, B. (1985). Determination of total dietary fiber in food and food products. Collaboratory study. J. Assoc.Off.Anal.Chem., 68,677-679.
- Rydning A., Berstad A., (1984) Influence of fiber on acidity, pepsin, and bile acid in human gastric juice in vitro. Scand J. Gastroenterol. 19:953-959.
- Schneeman B.O., Gallaher D.D., (1991). Fibra de la dieta. En: Conocimientos actuales sobre nutrición. 6a.ed. Washington: Organización Panamericana de la Salud:(Publicación científica).No.532.

- Southgate, D.A.T., (1978). Analysis of food carbohydrates. Part Y. Joint FAO:WHO Metting on carbohydrates in human nutrition. Ginebra, 17-26.
- II Taller sobre celulosa, papel y derivados del bagazo. Junio (1995).
- Theander, O. (1987). Chemistry of Dietary Fibre components. Scand J. Gastroenterol, 22, 21-28.
- Trowell H., (1972) Ischemic heat disease and dietary fiber. Am. J. Clin. Nutr. ,25:926-932.
- Trowell, H.; Southgate, D. A. T.; Woleve, T. M. S.; Leeds, A. R. Gassull, M. A. y Jenkins, D. J. A. (1976). D. F. Redefined dietary fiber. Lancel I, 967.
- Trowell, H. (1974). Definition of fiber. Lancel, 503.
- US Pat 4806475, US Agriculture, 1989
- US Pat. 4997488, US Agriculture, 1991.

ANEXO

Glosario

Alimento diseñado (Designer food): Alimento procesado, que es suplementado con ingredientes naturales ricos en sustancias capaces de prevenir enfermedades. Este término se utiliza frecuentemente como sinónimo de alimento funcional.

Alimento funcional (Functional food): Un alimento es funcional si contiene un componente alimenticio (sea un nutriente o no) con efecto selectivo sobre una o varias funciones del organismo, cuyos efectos positivos justifican que pueda reivindicarse que es funcional (fisiológico) o incluso saludable. Una reivindicación funcional se refiere a las consecuencias positivas derivadas de las interacciones entre un componente de un alimento y las funciones genómicas, bioquímicas, celulares o fisiológicas específicas, sin referencia directa a ningún efecto sobre la salud o la prevención de enfermedades. Las reclamaciones sanitarias se refieren a la prevención de una patología o de una enfermedad mediante el consumo de un componente o un ingrediente alimentario específico. Una reivindicación sanitaria verdadera requiere, en la mayoría de los casos, estudios posteriores que incluyan grandes poblaciones y ensayos a largo plazo". Ejemplos de alimentos funcionales: productos fitoquímicos no nutritivos presentes en frutas y verduras, el betacaroteno y los productos probióticos. El término Alimento Funcional fue propuesto por primera vez en Japón en la década de los 80's con la publicación de la reglamentación para los "Alimentos para uso específico de salud" (FOSHU).

Colesterol: El colesterol, un producto químico céreo similar a la grasa, es un componente esencial de ciertas hormonas, estructuras corporales y ácidos digestivos. La cantidad de colesterol requerido para cumplir con estas funciones es elaborada internamente por el hígado. La grasa saturada tiende aumentar el colesterol en la sangre. Los alimentos altos en grasa saturada incluyen las carnes grasas y los productos lácteos de leche entera. El aceite de vegetal hidrogenado, el aceite de coco, el aceite de grano de palma, el aceite de palma y la mantequilla de cacao también son altos en grasa saturada. Se encuentran comúnmente en los productos horneados comerciales, en los alimentos procesados y en las cremeras no lácteas.

Colitis: Inflamación del colon y por extensión del intestino grueso.

Fructooligosacáridos: Oligómeros de sacarosa que contienen entre 1 y 3 residuos de fructosa. Son carbohidratos reguladores de los niveles de glucosa en sangre. Posee efecto prebiótico o bifidogénico, ya que tienen la capacidad de incrementar la flora normal del intestino, favoreciendo el crecimiento de los microorganismos de la flora para completar la óptima digestión del producto e incrementando las defensas naturales del organismo.

Glicemia: nivel de azúcar en la sangre.

Oligosacáridos: Los oligosacáridos son polímeros de hasta 20 unidades de monosacáridos. La unión de los cuales tiene lugar mediante enlaces glicosídicos, un caso concreto de enlace acetálico. Los más abundantes son los disacáridos, oligosacáridos formados por dos monosacáridos, iguales o distintos. Se ha establecido arbitrariamente un límite de 20 unidades para definir a los oligosacáridos. Por encima de este valor se habla de polisacáridos. Los oligosacáridos son parte integrante de los glicolípidos y las

glicoproteínas que se encuentran en la superficie externa de la membrana plasmática y por lo tanto, tienen una gran importancia en las funciones de reconocimiento en superficie.

Organismos probióticos, organismos prebióticos: Un probiótico es un microorganismo vivo que se toma como suplemento alimenticio y que tiene efectos beneficiosos para quien lo ingiere, ya que mejora la flora bacteriana. Un prebiótico es un ingrediente alimenticio no digerible que tiene efectos beneficiosos para quien lo ingiere, porque estimula selectivamente el crecimiento o la actividad de una o varias bacteria en el colon. Con frecuencia, el prebiótico es una mezcla de hidratos de carbono no digeribles, de cadenas cortas y medias con efectos bifidogénicos. En algunos países europeos se han aceptado las reclamaciones funcionales de los fructooligosacáridos de la achicoria como fibra dietética soluble y como factor bifidogénico.

Producto Nutracéutico (Nutraceutical): Los productos nutracéuticos se refieren a cualquier sustancia que pueda considerarse alimento o parte de un alimento y que tenga beneficios médicos o sanitarios, incluyendo la prevención y el tratamiento de enfermedades El concepto de alimento nutracéutico ha sido recientemente reconocido como "aquel suplemento dietético que proporciona una forma concentrada de un agente presumiblemente bioactivo de un alimento, presentado en una matriz no alimenticia y utilizado para incrementar la salud en dosis que exceden aquellas que pudieran ser obtenidas del alimento normal".

Productos fitoquímicos (Phytochemical): Sustancias que se encuentran en verduras y frutas, que pueden ser ingeridas diariamente con la dieta en cantidades de g y muestran un potencial capaz de modular el metabolismo humano. Ya que los alimentos funcionales generalmente son de origen vegetal, se utilizaban indistintamente ambos términos, sin embargo, actualmente se consideran como alimentos funcionales también a los microorganismos probióticos y en este concepto no estarían incluidos.

DETERMINACIÓN DE TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PORO EN MEDIOS FILTRANTES
SIZE AND DISTRIBUTION PORE ON FILTER MEDIA

Lic. Alejandro Armada Maestri
Dr. Eduardo Barquinero González

UIP Cuba-9
Apdo. 8 Quivicán, La Habana
investc9@enet.cu

RESUMEN

El presente trabajo muestra la versión de un equipo diseñado por nuestro grupo y construido por una firma de ingeniería especializada, el cual permite la determinación de los diferentes tamaños de poro y distribución de poro en diferentes medios filtrantes, permitiendo definir con mayor exactitud el uso adecuado de los mismos, contribuyendo, además al mejoramiento de las tareas de desarrollo y control de la calidad en el área de medios filtrantes. Este equipo se basa en la medición y control del paso de aire, en términos de flujo y presión , a través de las muestras secas y húmedas, los que son reportados punto a punto.
En nuestro casos se determinó el tamaño de poro mínimo y promedio para el cartón soporte FO y el % de paso de aire entre ambos poros, demostrándose la fiabilidad del método.
Los resultados obtenidos con este equipo muestran la factibilidad del mismo para la definición de las diferentes mezclas de pulpas, incluyendo la pulpa de bagazo para la fabricación de medios filtrantes, brindando la posibilidad de concluir y presentar la norma cubana para la determinación de poro y distribución de poro.
Palabras claves: tamaño de poro, distribución de poro, medios filtrantes.

SUMMARY

The present work shows the version of a equipment designed by our group and its construction by a specialized engineering group, which allows the determination of different pore sizes and pore distribution in different filtrates media, allowing to define with more accuracy the appropriate use of the same ones, contributing, also to the improvement of development tasks and quality control in the filtrates media area. This equipment is based on the measure and control of the flow pass air, in terms of flow and pressure, through dry and humid samples, being those reported point to point.
In our cases it was determined the size of minimum and average pore for the support filter FO and the % of flow pass between both, being demonstrated the reliability of the method.
The results obtained with this equipment show the feasibility of the same one for the definition of the different mixtures of pulps, including the bagasse pulp for the production of filtrates media, offering the possibility to conclude and to present the cuban standard for pore determination and pore distribution determination.
Keywords: pore size, pore distribution, filtrates media.

INTRODUCCION

En el mundo moderno el uso de papel y cartón con diferentes fines se a hecho una necesidad, por lo que los centros de investigación y las industrias de papel y cartón se han visto obligados ha desarrollar cada vez más tecnologías de punta que aumenten la calidad y la diversificación de estos productos, para satisfacer las demandas en aumento.

En el presente trabajo se aborda el diseño y construcción de un equipo que permite determinar la distribución de tamaño de poro en medios filtrantes base celulosa así como en cualquier otro tipo de papel y cartón, según las normas conocidas ASTM y BS con el objetivo de garantizar una mejor calidad en las investigaciones y posteriores producciones.

La determinación de la distribución de tamaño de poro en cualquier medio filtrante o papel resulta de vital importancia para el conocimiento de la abundancia relativa de un tamaño de poro específico durante la caracterización del mismo. Esto permite definir las características de la materia prima que debe usarse para la formulación de dichos productos y su posterior uso y aplicación por sus consumidores.

Este método de análisis puede ser empleado en la determinación de la distribución de poro, en la determinación del tamaño de poro correspondiente al flujo medio, para el análisis de los efectos de los procesos de filtración sobre la distribución de tamaño de poro, conocer el grado del filtro acorde a la distribución de tamaño de poro, y para la determinación de la velocidad del flujo de aire y por tanto su capacidad.

CONCLUSIONES

El trabajo realizado con este equipo muestra las siguientes ventajas:

- Mayor rapidez en la toma de lecturas con relación al método tradicional, lo que favorece una mayor ejecución de determinaciones por día.
- Mayor precisión en las lecturas de presión hasta 0.001 MPa y de flujo hasta 1 ml / min lo que favorece una mayor exactitud en el cálculo del tamaño de poro mínimo, promedio y de la distribución del tamaño de poro.
- Posibilidad de determinar valores de tamaño de poro por debajo de 1 μ , (filtros de esterilización) debido a los elevados valores de presión que es capaz de medir el equipo a través del medio filtrante (hasta 1 MPa = 10 atm.)
- El equipo posee una interfaz que permite mediante una computadora la ejecución de las gráficas correspondientes flujo contra presión de forma automática.

La adquisición de este equipo favorecerá un mejor control en la calidad de los medios filtrantes y papeles producidos por la UIP Cuba-9 así como el servicio a diferentes industrias que adquieran estos medios filtrantes u otros de otro tipo a otras firmas con el objeto de confirmar criterios de calidad, igualmente propiciará el desarrollo de nuevos medios filtrantes donde se empleen la pulpa de bagazo al 100 % o en mezclas con otras pulpas, sobre todo de aquellos basados en un tamaño de poro mucho menor.

REFERENCIAS

-American Standard Technical Method ASTM F – 316; Pore size characteristics of membrane filters for use with aerospace fluids

-British Standard BS 6410 :1991; Methods of test for filter paper. Test No 14; Pore size.

MATERIALES Y METODOS

Para llevar a cabo el método para la determinación de la distribución de tamaño de poro, nuestro grupo se dio a la tarea del diseño en su concepción y funcionamiento de un equipo, el cual fue construido en su totalidad posteriormente por una firma especializada.

Este equipo se trata de un conjunto formado fundamentalmente de un medidor digital de flujo y presión que controlan de forma manual ó automática a través de una válvula reguladora los valores de flujo y de presión de aire que se establecen a través del medio filtrante o papel húmedo ó seco, Fig. 1

Cualquier medio filtrante o papel, humedecido mediante un fluido determinado, permitirá el paso del aire a partir del momento en que la presión del propio aire exceda el valor de tensión superficial del fluido dentro de la estructura capilar de los diferentes poros.

La relación entre la presión de aire y el tamaño de poro se ha establecido a partir de la siguiente expresión:

$d = 4 * \sigma / p$ **(1)**

donde:

σ = tensión superficial del fluido (mN / m)

p = presión de aire (kPa)

d = diámetro de poro (μ)

Por existir una relación inversa entre presión de aire y diámetro de poro ocurrirá que el paso de aire se producirá, en la medida que se aumenta la presión a partir de cero, desde los poros de mayor diámetro hacia los poros de menor diámetro. Esto es, primero pasará el aire a través del poro mayor por requerir menor presión y al incrementarse la presión sucesivamente terminará de pasar a través del más pequeño después de completar el paso a través de todos los de mayor diámetro de forma decreciente

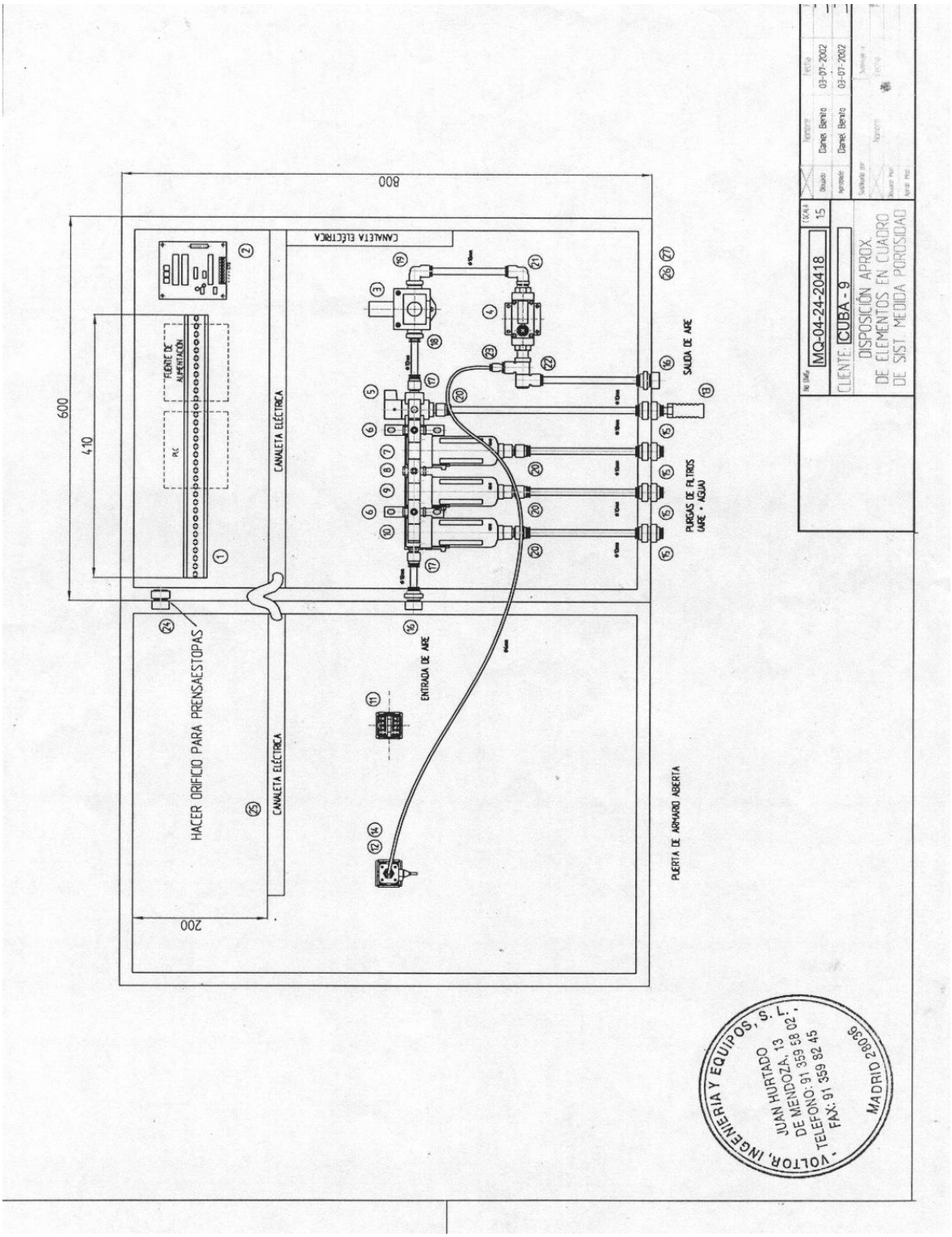
Comparando los flujos de aire a través de un medio filtrante húmedo y el mismo seco, podremos obtener un punto de intersección a presiones mayores correspondiente a la presión del poro mínimo y si después hallamos el punto de intersección trabajando con las mitades de los valores del flujo seco, encontraremos entonces la presión correspondiente al poro promedio.

El poro máximo o poro de mayor tamaño corresponderá a la presión necesaria para lograr la primera burbuja en el medio filtrante húmedo.

Para el cálculo del % de flujo total entre dos tamaños de poro determinados se comparan los valores de flujo del medio filtrante húmedo y seco para las presiones correspondientes a esos tamaños de poros de acuerdo a la expresión:

% de Flujo =((flujo húmedo P↑) / (flujo seco P↑) – (flujo húmedo P↓) / (flujo seco P↓)) * 100 **(2)**

Fig. 1 Equipo para la determinación de poro y distribución de poros en medios filtrantes.



Descripción de las partes del equipo

PIEZA	DENOMINACION
01	RAIL ON
02	TARJETA AMPLIFICADORA
03	VÁLVULA PROPORCIONAL DE CAUDAL
04	FLUJOSTATO
05	VÁLVULA 3/2 MANUAL 3/8 “
06	ESCUADRA DE FIJACION
07	FILTRO 0.01 μ
08	BLOQUE UNION ESPACIADOR
09	FILTRO 0.3 μ
10	FILTRO 5 μ
11	DISPLAY REMOTO FLUJOSTATO
12	PRESOSTATO DIGITAL
13	SILENCIADOR
14	RACOR HEMBRA
15	PASAMUROS TUBO ϕ 10 MM
16	PASAMUROS HEMBRA ¼ “
17	RACOR MACHO 3/8 “
18	RACOR RECTO ½ “
19	RACOR CODO ½ “
20	RACOR RECTO ¼ “
21	RACOR CODO 3/8 “
22	RACOR CODO ORIENTABLE
23	REDUCCIÓN CLAVIJA ϕ 10 MM
24	PRENSAESTOPAS
25	CANALETA ELECTRICA
26	ARMARIO METALICO
27	PLACA DE MONTAJE

RESULTADOS Y DISCUSION

Una vez concluida la construcción y montaje del equipo se pasó a la fase de calibración del mismo para la experiencia se empleo un cartón filtrante soporte F00 obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 1.

TABLA I Valores de flujo seco y húmedo contra presión

Flujo Seco		Flujo Húmedo	
Presión (MPa)	Flujo (ml / min)	Presión(MPa)	Flujo (ml / min)
0.004	5	0.003	0
0.007	10	0.006	5
0.009	15	0.008	8
0.013	20	0.009	11

0.015	25	0.011	15
0.019	30	0.012	18
0.022	35	0.013	20
0.026	40	0.014	25
0.029	45	0.018	31
0.031	48	0.021	35
0.036	55	0.024	41
0.040	60	0.026	45

Estos resultados son promedios de determinaciones realizadas por triplicado, estando las lecturas situadas dentro de ± 5%
El ploteo de estos resultados se muestran en la siguiente figura:

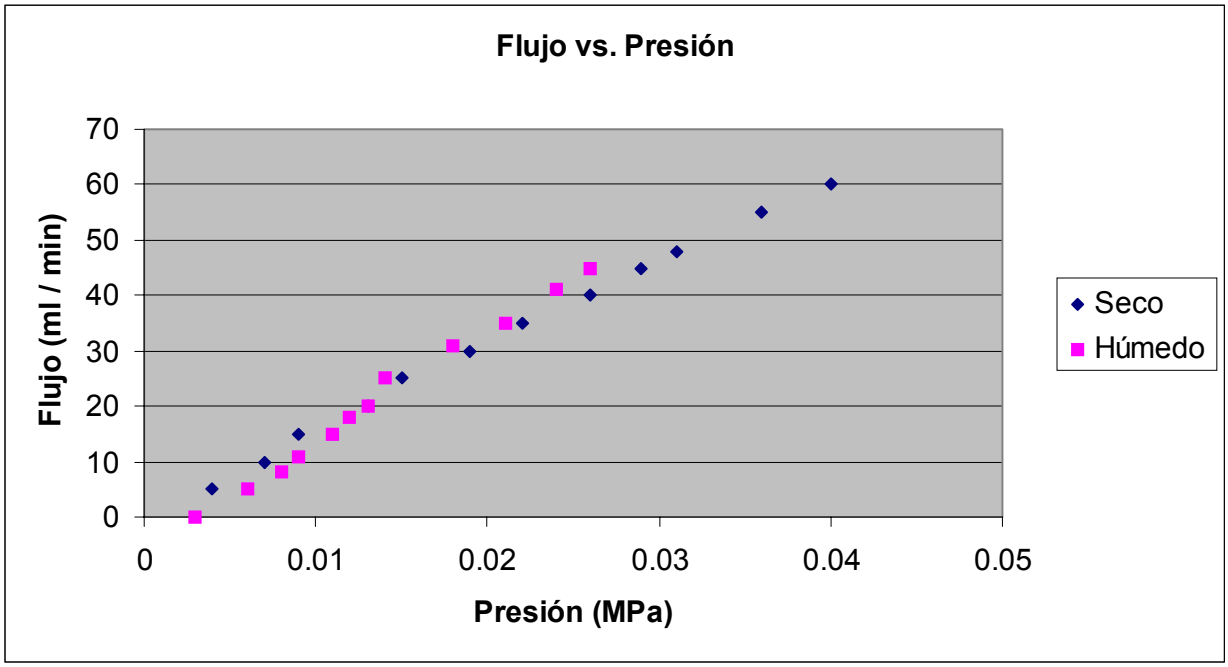


Fig 2. Gráfico de presión vs. flujo

En la figura se observa, que los valores de flujo húmedo desde el inicio se hallan por debajo de los de flujo seco, como consecuencia de la presión adicional que se necesita para vencer la tensión superficial del fluido presente en el interior de los poros.
Posteriormente ambas curvas se encuentran en un punto correspondiente al valor de presión de poro mínimo como fue explicado anteriormente. A partir de éste punto ambas curvas tienden a seguir la misma trayectoria de la curva de flujo seco la cual resulta en una recta desde su inicio.
Como gente humectante se empleó el alcohol isopropílico con tensión superficial $\sigma = 22.3$ mN / m
Los valores para flujo seco y húmedo fueron interpolados para iguales valores de presión y a partir de los mismos se hallaron los puntos de intersección de ambas curvas y de intersección entre la mitad de los valores de flujo seco y la curva de flujo húmedo. Se halló también el % de paso de flujo entre ambos poros.
Los valores de ambas curvas fueron procesados en Excel mostrándose los resultados a continuación en la Tabla 2.

Tabla II Cálculo de poro mínimo y promedio

Interpolando			Diferencia e/ Flujo seco y húmedo	1 / 2 Flujo Seco	Diferencia e/ 1/2 Flujo seco y húmedo
Presión	Flujo seco	Flujo húmedo			
0.004	6.6	1.6	4.9	3.3	1.7
0.005	8.1	3.6	4.5	4.1	0.4
0.006	9.6	5.6	4.0	4.8	-0.8
0.007	11.1	7.6	3.5	5.6	-2.1
0.008	12.7	9.6	3.0	6.3	-3.3
0.009	14.2	11.6	2.5	7.1	-4.6
0.010	15.7	13.7	2.1	7.9	-5.8
0.011	17.2	15.7	1.6	8.6	-7.0
0.012	18.8	17.7	1.1	9.4	-8.3
0.013	20.3	19.7	0.6	10.1	-9.5
0.014	21.8	21.7	0.1	10.9	-10.8
0.015	23.3	23.7	-0.3	11.7	-12.0
0.016	24.8	25.7	-0.8	12.4	-13.3
0.017	26.4	27.7	-1.3	13.2	-14.5

Los valores de presión para el cálculo del poro mínimo se toman promediando los dos valores de presión que producen el cambio de signo (antes y después) entre las diferencias de flujo seco y húmedo. Estos valores de presión se hallan en negrita en la columna correspondiente a los valores de presión, (0.014 y 0.015)

Y para los valores de presión para el cálculo de poro promedio se aplicó el mismo procedimiento, ésta vez usando las diferencias entre 1 / 2 de flujo seco y húmedo, apareciendo igualmente en negrita en la columna correspondiente de presión, (0.005 y 0.006)

Los valores de tamaño de poro fueron calculados mediante la ecuación **(1)** y % de paso entre poro promedio y mínimo empleando la ecuación **(2)**

La siguiente Tabla muestra los resultados de éstas determinaciones:

Tabla 3.- Resultados de poro mínimo, promedio y distribución.

Presión de poro mínimo (MPa) = 0.0145

Poro mínimo (μ) = 6.2

Presión de poro promedio (MPa) = 0.0055

Poro promedio (μ) = 16.2

% de flujo pasando entre 6.2 y 16.2 μ = 48.1

El cartón filtrante F00 es empleado en la filtración de sustancias que se mezclan con otros agentes de filtración, quien le da el carácter de prefiltro es precisamente el tamaño de su poro máximo y su poro mínimo, resultados que han sido debidamente comparados primeramente con los valores reportados por fabricantes de placas a nivel internacional como la firma Carlson de Inglaterra, y la FILTROS de Suiza.

MONTAJE DE MÉTODOS PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS FÍSICAS A ETIQUETAS AUTOADHESIVAS.

ASSEMBLY OF METHODS FOR THE REALIZATION OF PHYSICAL TESTS TO SELF-ADHESIVE LABELS.

Ing. Ballester, A.;Ing. León, T.; Dra. Hernández, A.; Tec. Suares, R.; Mec. Acosta, J.

UIP de la Celulosa del Bagazo CUBA-9, Apartado Postal 8, Quivicán, CP 33500, Habana, Cuba
E- mail: direcc9@enet.cu

Resumen

La función de informar y vender de un envase, se logra fundamentalmente mediante una etiqueta que es colocada en el mismo. El Laboratorio de Pruebas Físicas de la UIP Cuba 9, concluyó el montaje de algunas de las técnicas empleadas para la evaluación de diferentes materiales autoadhesivos. Fueron diseñados y probados diferentes aditamentos para ser adaptados a un tensómetro L&W, para que este cumpliera con los requerimientos de las normas. Estos dispositivos consistieron en soportes para muestras a analizar y en el caso de los ensayos de despegabilidad a 180º y estabilidad dimensional, unos rodillos con recubrimiento de goma sin los cuales no se puede ejecutar los mismos. Se realizaron pruebas y se registraron resultados utilizando los dispositivos terminados.

Summary

The function of to inform and to sell of a container, is achieved fundamentally by means of a label that is placed in the same one. The Laboratory of Physical Tests of the UIP Cuba 9, it finished the assembly some of the techniques employees for the evaluation of different self-adhesive materials. They were designed and proven different devices to be adapted to a tensometer L&W, so that this it fulfilled the requirements of the norms. These devices consisted on supports for samples to analyze and in the case of the test methods, peel adhesion to 180º and dimensional stability, some rollers with rubber cover without which you cannot execute the same ones They were carried out tests and they registered results using the finished devices.

Introducción.

Las etiquetas autoadhesivas son un producto de amplio uso a escala mundial pues reúnen varias ventajas que las hacen insustituibles, como son por ejemplo, fácil empleo y la gran variedad de diseños que se les pueden dar. Su crecimiento ha sido notable en los últimos años. Son definidas internacionalmente como: Inscripción, leyenda o descripción gráfica escrita, impresa o adherida al envase o embalaje, que indica el contenido y las características físicas y químicas fundamentales de éste.

Las etiquetas autoadhesivas constan de diferentes partes, cuatro materiales generalmente, una capa frontal, el adhesivo, silicona y papel soporte o despegable Cada material de éste conjunto debe ser evaluado con técnicas específicas para conocer las características de los mismos y el valor al cumplir su misión en éste.

Con el objetivo de realizar en el centro diferentes ensayos que permitiesen evaluar estos materiales se comenzó el montaje de algunas técnicas establecidas en las normas FINAT. Entre estas técnicas están las siguientes, que por sus características son las más asequibles a los medios con los que disponemos.

Ensayos	Normas
1. Fuerza de desprendimiento en un ángulo de 180º (Peel) a 300mm/min	FMT-1
2. Resistencia a temperaturas elevadas	FMT-5
3. Cohesividad o resistencia interna al deslizamiento (Shear)	FMT-8
4. Peso del estucado adhesivo	FMT-12
5. Estabilidad dimensional	FMT-14

Para cada una de estas técnicas fue necesario diseñar un equipamiento específico el cual, se detallará a continuación. Algunos de estos ensayos se prepararon para ser realizados en el tensómetro Lorentzen & Wettre del Laboratorio de Pruebas Físicas

Ensayo: Fuerza de desprendimiento en un ángulo de 180º (Peel) a 300mm/min. FTM 1

Para éste ensayo es necesario medir la fuerza requerida para separar la etiqueta autoadhesiva de una superficie dada en un ángulo de 180º y una velocidad de separación de mordaza de 300mm/min.

Se diseñó un aditamento para el tensómetro L & W, ver figura I. Por las características del equipo se proyectaron las piezas de manera tal que fuesen lo más ligeras posible. Se construyó un soporte muy sencillo con un pequeño torniquete para sostener firmemente las superficies de prueba de vidrio donde se pegarían las muestras en una posición vertical. El aditamento permite montar y desmontar con facilidad las superficies de prueba.

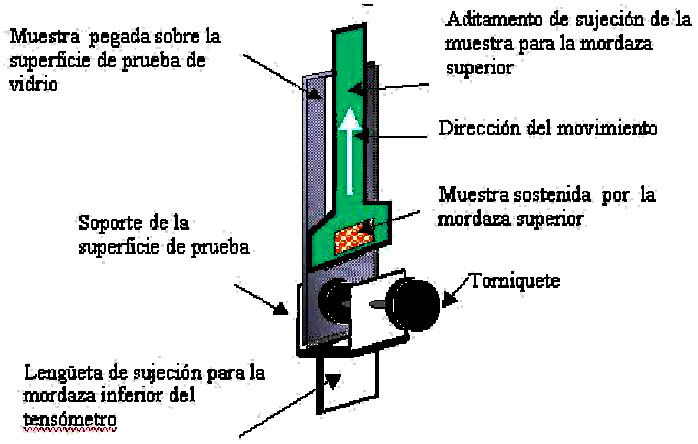


Figura I . Despegabilidad a 180º (FTM 1)

Ensayo: Resistencia a temperaturas elevadas. FTM 5

En éste ensayo fue necesario la elaboración de un soporte que fuese capaz de mantener una serie de muestras colgadas en él sin tener contacto unas con otras para ser colocadas en una estufa a 70 ºC durante una semana para comprobar posteriormente las variaciones en sus propiedades.

Se construyó un soporte para las tiras de acero inoxidable y se seleccionó una estufa adecuada para el ensayo. El aditamento construido se muestra en la figura II. Su realización depende de las pruebas de despegabilidad a 180º para el análisis posterior de las tiras.

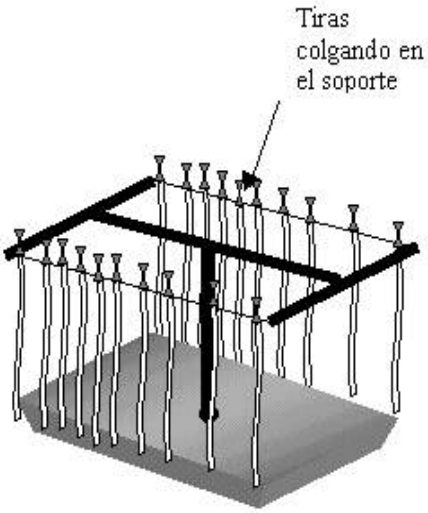


Figura II. Resistencia a elevadas temperaturas (FTM 5)

Ensayo: Cohesividad o resistencia interna al deslizamiento (Shear). FTM 8

Esta técnica requirió de un soporte para las muestras consistente en una superficie lisa colocada en un ángulo de 2º con respecto a la vertical que fuese fácil de montar y de desmontar. Ver figura III.

El soporte de la superficie lisa de prueba (vidrio) se construyó de madera y se buscaron pesas de un kilogramo para colgar de las tiras según indica la norma.

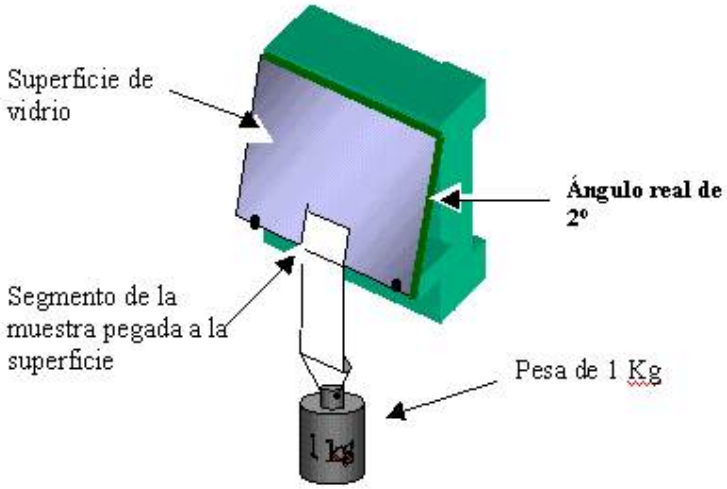


Figura III. Cohesividad (FTM 8)

Ensayo: Peso del estucado adhesivo. FTM 12

Éste ensayo es importante para conocer la cantidad de adhesivo aplicado a un material autoadherible con gran exactitud. Requirió de una estufa con recirculación de aire, una balanza que tuviese una precisión de ±0.001g, una campana, recipientes adecuados para introducir las muestras en un solvente y un solvente orgánico(tolueno, acetona o cloroformo). Los materiales y equipos necesarios fueron reunidos y se montó la técnica.

Ensayo: Estabilidad dimensional. FTM 14

Éste ensayo es más importante en materiales sintéticos y se refiere a los cambios que sufre un material de éste tipo adherido a una superficie estándar y sometida a elevadas temperaturas. Para el mismo fue necesario elaborar estas superficies con vidrio cuidando que quedasen con las dimensiones muy precisas. Después de pegar sobre estas las muestras y de ser colocadas en la estufa a 70ºC durante 48 horas, son retiradas y se verifican los cambios en las dimensiones. Figura IV.

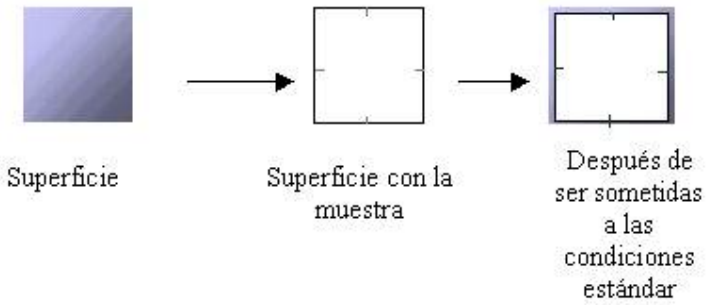


Figura IV. Estabilidad dimensional (FTM 14)

Se seleccionó una estufa para éste ensayo el cual requiere un rodillo estándar que se encuentra en fase de terminación. Figura V.

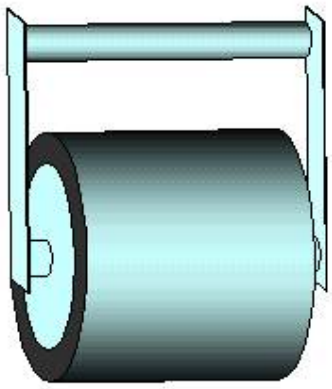


Figura V. Diseño de los rodillos (FTM 1,5,8 y 14).

La elaboración de todos estos aditamentos no fue costosa para el centro pues muchos de ellos se realizaron con desechos. En el caso de las superficies de pruebas se utilizaron pedazos de vidrio pulido que fueron recortados hasta las dimensiones necesarias.

Para el soporte de las superficies de pruebas en el ensayo de despegabilidad a 180º, se empleó un fragmento de un equipo abandonado que tenía este torniquete, el cual, con ligeras modificaciones quedó listo para adaptarlo al tensómetro.

En el caso del soporte para el ensayo de cohesividad o resistencia interna al deslizamiento, se empleó madera proveniente del embalaje de las bobinas jumbo que llegan como materia prima de Adypel y que quedan como desecho.

Para el soporte de las tiras en el ensayo de resistencia a altas temperaturas, se utilizó también recortería sobrante de otros trabajos.

En la elaboración de los rodillos se emplearon barras de acero al carbono que se cortaron y se tornearon lo cual representó un costo de $12.25 MN. Los dos rodillos fueron posteriormente recubiertos de goma lo que costó $150 USD. El costo de elaboración fue ínfimo si se tiene en cuenta que tan sólo el rodillo estándar, el más pequeño, costaba 600 euros y para el mayor no hay ofertas, por lo que se tendría que hacer un pedido a un fabricante y esto lo haría mucho más caro que el anterior. Ver diseño en los anexos.

Resultados.

Se realizaron algunos ensayos con dos de los métodos terminados. Estos fueron, despegabilidad a 180º y el peso del estucado adhesivo.

Para el primero se comprobó el buen funcionamiento de los aditamentos diseñados para el tensómetro L&W. Se probaron varios materiales autoadhesivos:

- Propylux blanco
- Propylux transparente
- Couche satín
- Metalizado

Todos producidos por la firma Jackstadt de México, S.A. Los dos primeros materiales evaluados eran películas de polipropileno mientras que los segundos eran de papel como base y con respaldo siliconado. En ambos casos se observó que los valores obtenidos eran reproducibles y se mantuvieron en el rango de los reportados como se aprecia en la tabla I.

TABLA I RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESPEGABILIDAD (PEEL) A 180º

MUESTRAS	PEEL A 180º (Kg/25MM)	
	Obtenidos	Reportados
Propylux blanco	0.9±0.2	0.9
Propylux transparente	0.6±0.2	Mínimo 0.5
Couche satín	1.2±0.2	1.2
Metalizado	1.1±0.2	1.2

En el ensayo del peso del estucado adhesivo se evaluaron estos mismos materiales obteniéndose los valores de la tabla II.

TABLA II RESULTADOS DEL ENSAYO DE DEPOSITO DEL ADHESIVO.

MUESTRAS	DEPOSITO DE ADHESIVO (G/M^2)	
	Obtenidos	Reportados
Propylux blanco	20±2	21
Propylux transparente	20±3	21
Couche satín	22±3	24
Metalizado	20±2	-

En este caso se obtuvo también buena reproducibilidad en los resultados y por lo tanto, la certeza de que el ensayo está listo para su implementación.

Recomendaciones.

Los aditamentos diseñados aunque cumplen con los requisitos necesarios tienen algunos detalles que serán mejorados posteriormente por lo que dejamos como recomendaciones.

1. Mejorar el diseño de estos aditamentos para que tengan una mejor estética y sean más cómodos de usar.

2. También se deben modificar para que soporten condiciones de trabajo en que reciban muchos esfuerzos como el caso del aditamento del tensómetro, el cual siempre funcionará bajo grandes tensiones y es necesario asegurar su durabilidad.

3. Analizar las posibilidades para el montaje de otros ensayos de gran utilidad para un país como Cuba. Por ejemplo, resistencia a la humedad y resistencia al frío ya que muchos de estos materiales autoadhesivos pueden emplearse como etiquetas en productos que podrían requerir refrigeración.

Bibliografía.

1. FINAT
2. Documentación de Jac Autoadherible (México)
3. UNE-EN 1943
4. UNE 57-139-86

SUPERPARAMAGNETIC BEAD CELLULOSE. PREPARATION, CARACTERIZATION AND PAPAIN IMMOBILIZATION.

PARTÍCULAS SUPERPARAMAGNETICAS DE CELULOSA. OBTENCIÓN, CARACTERIZACIÓN E INMOVILIZACIÓN DE PAPAÍNA.

Bordallo E[1]., León V[1]., Rieumont J[2]., Villalonga R[3]., Fernández M[3]., MenéndezCuesta, I[1]. Hernández R[1]., Correa R[2]., Díaz, C[2].

[1] Unión de Investigación-Producción de la Celulosa del Bagazo Cuba-9. Pablo Noriega Apdo: 8, CP: 33500, Quivicán, La Habana, Cuba. e-mail: direcc9@enet.cu
[2] Facultad de Química, Universidad de La Habana, Zapata y G, CP: 10400, Plaza, Ciudad de la Habana, Cuba.
[3] Universidad de Matanzas, Autopista a Varadero km 31/2, Matanzas, C.P. 44740, Cuba.

Key words: Bead cellulose, superparamagnetic, activation, immobilization.
Palabras claves: Celulosa esférica, superparamagnéticas, activación, inmovilización.

ABSTRACT

The aim of this study was to obtain superparamagnetic beads cellulose (SBC) by water/oil emulsion. The particles were prepared from viscose and ferrite powder. The magnetic particles were characterized by optical and scaning electron microscopy (SEM), thermogravimetric analysis and iron content. Fe_3O_4 is evenly distributed in the whole particle, which was verified by iron liberation studies. The particles size average was 100 µm with an iron content of 2.8%.
The hydroxyl groups on the particle surface were activated with monochloroacetic acid in NaOH, resulting in a substitution degree of 1.0 meq/g. The activated particles were tested for the immobilization of papain enzyme using EDAC as a coupling agent. Enzyme content was 60 mg/g support with an activity of 27%. No variation was observed at optimum temperature. The enzyme retained 75% of its initial activity after a 100-days storage at 4°C and 33% after 6 reusing cycles.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue la obtención de partículas superparamagnéticas de celulosa a partir de una solución de celulosa y magnetita utilizando la técnica de emulsión agua/aceite. El producto fue caracterizado por microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM), análisis termogravimétrico y contenido de hierro. El estudio de liberación de hierro mostró que la Fe_3O_4 se encuentra distribuida homogéneamente en toda la partícula. El tamaño promedio de las partículas fue de 100 µm con un contenido de hierro de 2.8%.
Los grupos hidroxilos de la celulosa fueron activados con ácido monocloroacético en NaOH, obteniéndose un grado de sustitución de 1 meq/g. La papaína fue inmovilizada utilizando EDAC como agente copulante. El contenido de enzima en el biocatalizador fue de 60 mg/g de soporte con un 27% de la actividad inicial. No se observó variación en cuanto a la temperatura óptima de trabajo y se retuvo el 75% de la actividad después de 100 días almacenamiento 4°C y el 33% después de seis ciclos de reuso.

Introducción

Los sistemas de partículas sensibles a un campo magnético externo forman parte de una nueva generación de materiales con múltiples aplicaciones en biomedicina y otras técnicas. Su desarrollo, iniciado en la década de los 60, [Davidenko, 1994 (a,b)] ha estado dirigido fundamentalmente a la preparación de líquidos magnéticos y microportadores magneto-dirigidos o ferrogeles.
Las partículas magnéticas recubiertas con un polímero han sido utilizadas en dispositivos para el aislamiento de células, la inmovilización de enzimas, el diseño de sistemas de liberación controlada de principios activos, en separaciones de materiales biológicos [RamirezVick, 2000], entre otras.
Su utilización en operaciones de separación y concentración en biología y biotecnología se ha diversificado en los últimos años debido a la simplicidad, rapidez, fácil manipulación y bajo costo en el escalado del bioproceso [Sinclair, 1998; Horárk, 2001].
Existen dos formas básicas para obtener estos composites [López, 2001]; por microencapsulación de las nanopartículas magnéticas preformadas en el material polimérico poroso por un procedimiento de mezclado o molinado o por la síntesis in situ de las nanopartículas dentro de la matriz polimérica.
La relevancia de estos ferrogeles radica en que sus momentos magnéticos se encuentran orientados al azar en ausencia de un campo, cuando éste se incrementa y vence la agitación térmica, el momento magnético tiende a alinearse en la dirección del mismo y como resultado se alcanza el valor de la magnetización de saturación. Al reducir el campo a cero, el momento magnético nuevamente se orienta al azar y la magnetización desaparece. Esto permite su resuspensión y reutilización en los bioprocesos.
El uso de las partículas magnéticas de celulosa ha recibido gran atención en los últimos años debido a su naturaleza no tóxica, biocompatibilidad, permeabilidad variable combinada con una alta hidrofilicidad y considerable fortaleza mecánica en el estado hinchado. Por eso el objetivo de este trabajo fue la síntesis de partículas superparamagnéticas de celulosa (PSC), su caracterización y aplicación en la inmovilización de la hidrolasa papaína.
Los resultados obtenidos sugieren que utilizando la técnica de emulsión inversa se logra microencapsular la magnetita durante el proceso de coagulación de la viscosa en forma de partículas esféricas.

Materiales y métodos.

Los reactivos utilizados en el presente trabajo fueron grado para síntesis y se adquirieron de las siguientes fuentes: Bratsk (Rusia): Pulpa para disolver de madera grado rayón con un grado de polimerización promedio en peso GP_w 900-1000; Riedel-deHaën (Alemania): epiclorhidrina (ClC_3H_5O) 92.5 g/mol, 1.18 g/mL, ácido oléico ($C_{18}H_{34}O_2$) 282.47 g/mol 0.89 g/mL, BDH (Inglaterra): ácido monocloroacético ($C_2H_3ClO_2$) 94.5 g/mol; Merck, (Alemania): clorhidrato de 1-etil-3-(3-dimetil-aminopropil)carbodiimida (EDAC). La magnetita fue suministrada gentilmente por el Prof. M.C. José Raúl Correa del Departamento de Química General, Facultad de Química, Universidad de la Habana (Cuba): magnetita (Fe_3O_4) 231.4 g/mol, tamaño promedio 300 nm.

Equipos.

La determinación del tamaño de las partículas fue realizado en un microscopio óptico OLYMPUS VANOX acoplado a una cámara de video SONY, empleando los softwares para morfometría en imágenes DIGIPAT de la Eicisoft y el STATGRAPHICS 5.0 para el procesamiento estadístico de las mediciones.
La superficie de las partículas fue observada con un microscopio electrónico de barrido Philips de la serie XL-20.
Los análisis térmicos fueron registrados en un equipo TGA/SDTA 851e Mettler Toledo, a una velocidad de calentamiento de 20°C por minuto en atmósfera inerte, utilizando crisoles de alúmina de 70 µL.
Las mediciones espectrofotométricas descritas en el presente trabajo fueron realizadas en un espectrofotómetro UV/VIS Ultrospec 2000.

Las mediciones magnéticas fueron realizadas en un magnetómetro Quantum Design MPMS-5S, equipado con un dispositivo superconductor de interferencia cuántica (SQUID).

Métodos.

Obtención de las partículas superparamagnéticas de celulosa (PSC).
Las PSC fueron obtenidas dispersando las nanopartículas de Fe_3O_4 primero en agua y luego en una disolución de celulosa (viscosa) durante 5 minutos, posteriormente la mezcla fue dispersada en 124 mL de keroseno que contienen 9 mL de ácido oléico manteniendo la agitación a 1700 rpm a temperatura ambiente durante 10 minutos y seguidamente se inició el calentamiento hasta 88-90°C. Se filtró y se lavó con agua caliente, etanol, y acetona. Finalmente, se almacenaron las partículas en etanol al 20%.

Activación de las PSC entrecruzadas.
Se dispersaron 9.7 g (60 mmol) de PSC en 65 mL de 2-propanol por espacio de 5 minutos y se añadieron lentamente con agitación 11 g (275 mmol) de NaOH. La mezcla se agitó durante 60 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, se añadieron 5.8 g (61 mmol) de ácido monocloroacético y 8 mL (9.4 g, 102 mmol) de epiclorhidrina. Se elevó la temperatura hasta 70°C y se mantuvo bajo estas condiciones durante 120 minutos. Finalmente al producto se le adiciona HCl 1 mol/L hasta pH ácido, se lava con agua desionizada hasta neutralidad y se almacena en etanol al 20%.

Inmovilización de la papaína en las PSC activadas.
30 mg de PSC activadas, fueron tratadas con 20 mg de EDAC en buffer fosfato 50 mM, pH 6 a temperatura ambiente durante 15 minutos. A la mezcla de reacción se adicionaron 20 mg de papaína disuelta en el buffer anterior, la cual fue agitada durante 1h a temperatura ambiente y 16 h a 4°C. Finalmente el conjugado se lavó abundantemente con buffer fosfato y se almacenó a 4°C.

Caracterización del composite.
Microscopía óptica.
Una muestra del producto fue llevada al microscopio óptico, se digitalizaron varias imágenes aleatoriamente y luego empleando el software para morfometría en imágenes DIGIPAT de la Eicisoft se obtuvo el radio de más de 300 partículas.

Microscopía electrónica.
Se tomó una muestra, se fijó sobre una cinta adhesiva y fue tratada con vapores de oro. Luego fue colocada al microscopio electrónico operado a un voltaje de 25 Kv. Los aumentos utilizados para tomar las imágenes fueron variables.

Determinación de la capacidad de intercambio (C_i) en las PSC activadas.
Una masa determinada de los intercambiadores hinchada se dejó sedimentar durante 24 h en una probeta. Se leyó el volumen que ocupa (volumen externo). Se filtró y se le añadieron 25 mL de NaOH 0.05 mol/L, se dejó drenar libremente y se lavó hasta neutralidad. El exceso de NaOH se valoró con HCl 0.05 mol/L. Finalmente, el producto se secó hasta peso constante.

$$C_i(meq/g) = \frac{(VC_{NaOH} - VC_{HCl})}{peso\ seco}$$

$$C_i(meq/100\ mL) = \left[\frac{(VC_{NaOH} - VC_{HCl})}{volumen\ externo}\right] \times 100$$

Determinación del contenido de Hierro.
Se pesó cuantitativamente 1,000 g de muestra en un crisol previamente calcinado, enfriado y pesado. Se calentó suavemente al inicio hasta que la muestra estuvo completamente carbonizada, luego se incrementó la temperatura hasta 900 ± 25°C durante 3 h.

$$\%Cenizas = \frac{g\,del\,residuo}{Peso\,muestra\,inicial} x100$$

La cuantificación del hierro en la ceniza fue realizado colorimétricamente, desarrollando color con ortofenantrolina. Se leyó la absorbancia a 510 nm y se interpoló en una curva patrón de hierro, según [norma TAPPI T 242 su-69, 1989].

Cinética de liberación del hierro de las partículas magnéticas.
Se pesaron 100 mg de PSC y se le añadieron 10 mL de HCl 12.5%, se tomaron alícuotas de 1 mL cada 30 minutos, reponiendo igual volumen después de cada extracción. La cuantificación del hierro se efectuó de manera similar a la anterior.

Caracterización del conjugado enzimático.
Determinación de la actividad enzimática.
El contenido proteico de las preparaciones enzimáticas fue determinado colorimétricamente mediante el método descrito por Lowry [1951] empleando albúmina de suero bovino como patrón.
La actividad proteolítica de las preparaciones enzimáticas fue determinada a 25°C usando una solución de caseína 1 mg/mL en solución tampón de Tris·HCl 0.1 M, pH 8.0, mediante el método de Laskowski, [1955] usando caseína como sustrato, y empleando el reactivo de Folin-Ciocalteu para cuantificar la concentración de tirosina liberada.

Parámetros cinéticos aparentes de la catálisis enzimática.
Las constantes cinéticas aparentes correspondientes a la enzima nativa y modificada fueron calculadas a partir de las relaciones de Michaelis-Menten, utilizando el método de dobles recíprocos de Lineweaver y Burk, donde: K_m = constante de Michaelis (aparente), V_o y V_m = velocidad inicial y máxima (aparentes), c(S) = concentración de sustrato, c(E) = concentración de la enzima (g/l), y k_{cat} = constante catalítica aparente de la reacción enzimática.
Para ello se determinó la velocidad inicial de la reacción catalizada por la hidrolasa en estudio a diferentes concentraciones de sustrato. Las condiciones fueron las siguientes: Rango de concentración del sustrato caseína, 0.0125-0.5 mg/mL, 25°C.

$$V_o = \frac{V_m \cdot c(S)}{K_m + c(S)}$$

$$k_{cat} = V_m/c(E)$$

Perfil de termoestabilidad.
Las enzimas nativa y modificada fueron incubadas a diferentes temperaturas en las soluciones tampones descritas posteriormente (concentración final de las enzimas 0.5 U/mL, correspondientes al 100% en los gráficos). Después de 10 minutos de incubación se tomaron alícuotas de estas soluciones, se enfriaron rápidamente en baño de hielo y se evaluó finalmente su actividad enzimática.

Ciclos de reuso.
La enzima inmovilizada fue evaluada de acuerdo a su actividad enzimática vs caseína. Posterior a la realización de la hidrólisis enzimática, las PSC fueron separadas del medio de reacción mediante la acción de un campo magnético externo, lavadas con solución tampón de acetato 50 mM, pH 5.0 y reutilizas en otro proceso de hidrólisis enzimática.

Resultados y discusión.

El composite de la celulosa esférica con propiedades magnéticas se obtuvo por microencapsulación de la magnetita en un proceso de emulsión inversa. El componente no celulósico seleccionado es estable en medio alcalino a 90°C y está compuesto por partículas lo suficientemente pequeñas (300 nm), lo que garantiza su comportamiento superparamagnético.
Los ensayos iniciales realizados para la obtención del composite no fueron satisfactorios porque no se lograba una mezcla homogénea entre la magnetita en forma de polvo fino y la viscosa, lo que provocaba la separación de ambas fases durante el proceso de dispersión y coagulación originando partículas con y sin magnetita y muchos aglomerados. Por ello trabajamos dispersando primero la magnetita en la menor cantidad posible de agua, con el propósito de humedecer su superficie [Lenfeld, 1993] y favorecer una mezcla homogénea con la viscosa para obtener materiales con el mayor contenido posible de Fe_3O_4.
En la figura 1 se muestra la curva de distribución de tamaño de partícula, utilizando un 4% de magnetita a microencapsular, la misma se corresponde con una curva logarítmica, donde predominan partículas de dos tamaños, correspondiendo el tamaño promedio 100 µm.

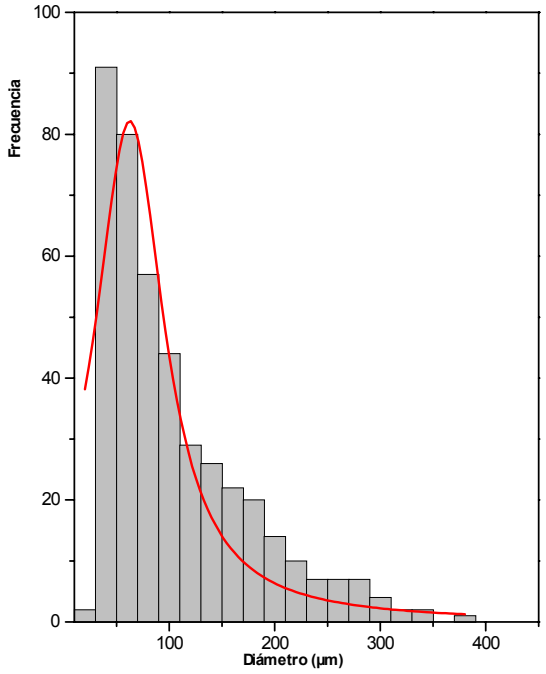


Figura 1: Curva de distribución de tamaño de partícula, tamaño promedio 100 µm.

En la microfotografía obtenidas por microscopía óptica y electrónica de barrido [figura 2] se observa la morfología esférica del composite. Por otra parte, se realizó un estudio de la liberación del hierro en medio ácido [figura 3] para estimar en que forma la magnetita se encontraba distribuida en las PSC. La forma lineal de la curva sugiere que la magnetita se encuentra distribuida uniformemente en toda la partícula (orden cero), ya que si estuviera concentrada en el centro tiende a dar un primer orden y si fuera en la superficie se observaría un salto (burst).

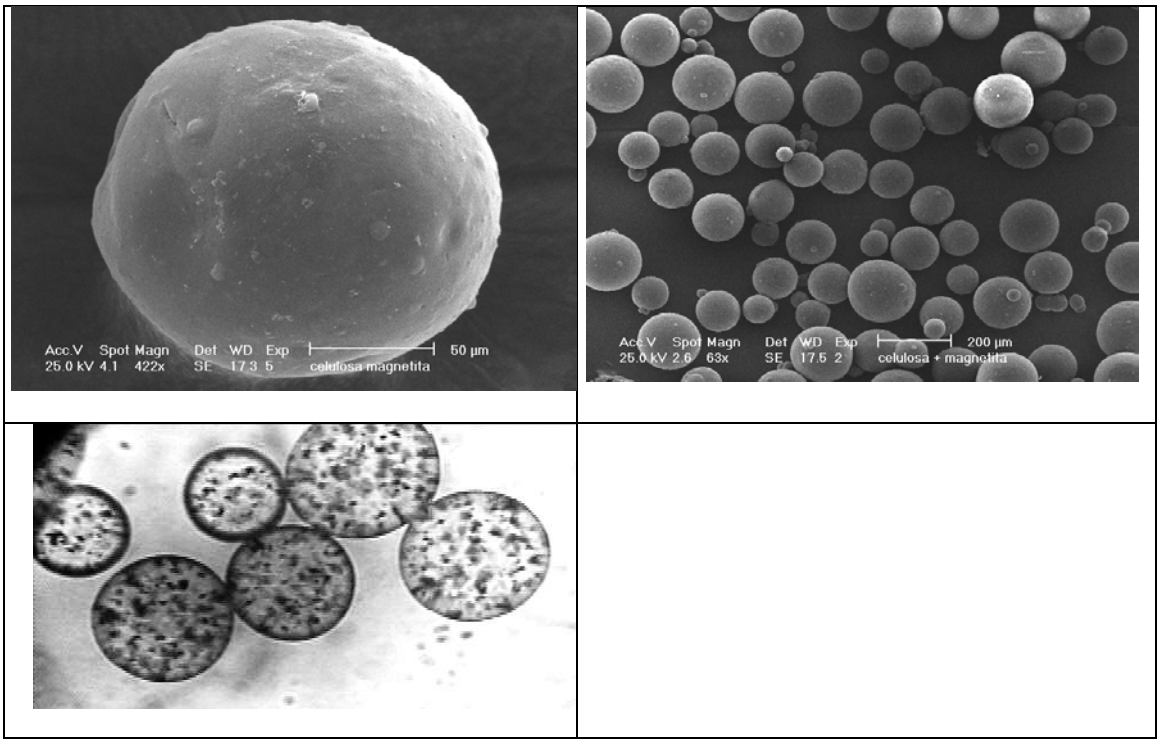


Figura 2: Microfotografías obtenidas por SEM a las PSC

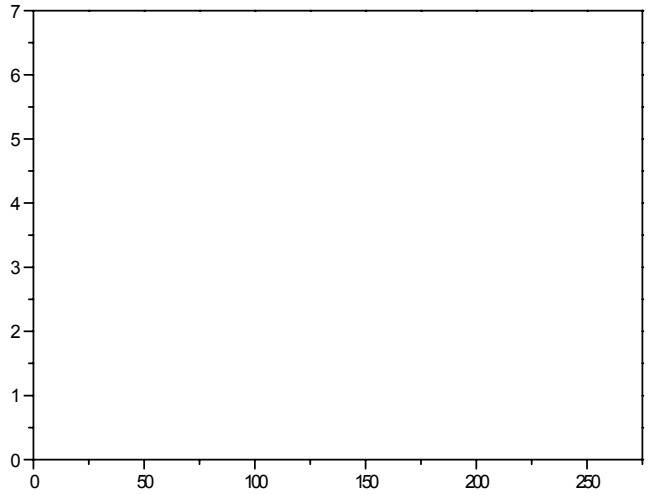


Figura 3: Curva de liberación de hierro en medio ácido.

El composite fue caracterizado además mediante análisis termogravimétrico [figura 4]. A partir de los termogramas se puede apreciar que en el intervalo de temperaturas entre 25-150°C el composite y la celulosa pierden progresivamente agua. Por otra parte, ocurre una rápida pérdida de peso del orden 52-62% en el rango de temperaturas entre 350-360°C, debido a la formación de compuestos volátiles, lo cual se corresponde con la descomposición térmica de la celulosa en atmósfera inerte.

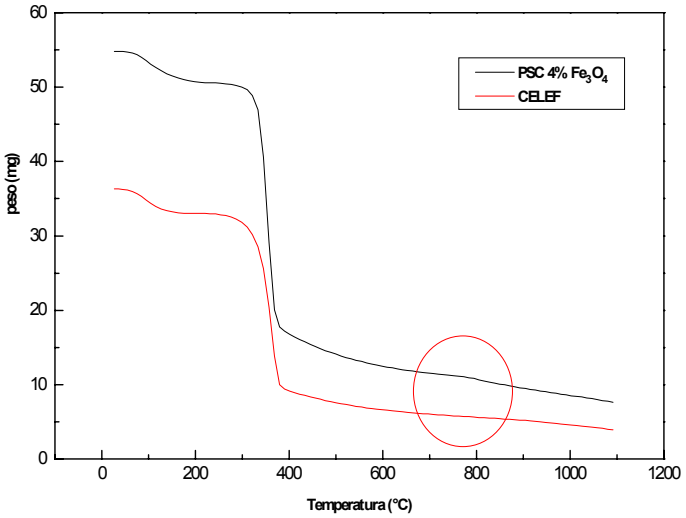


Figura 4: Termogramas de la CELEF y del composite.

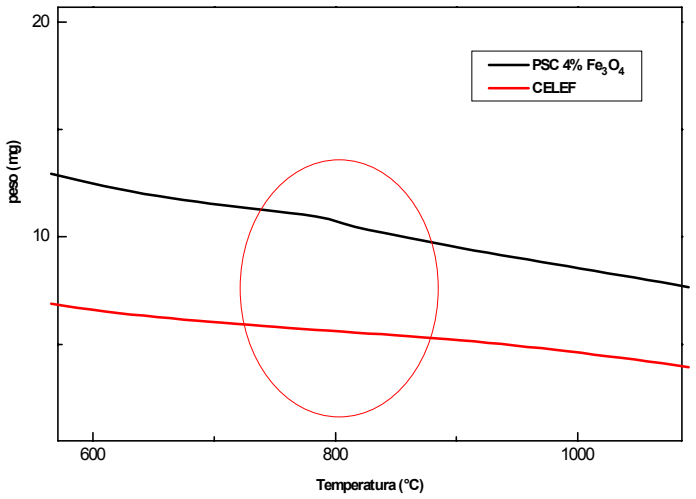


Figura 5: Ampliación de la curva termogravimétrica alrededor de 800 °C.

Aproximadamente a 800°C la magnetita reacciona con el carbono formado en la descomposición de la celulosa [Esquema I] obteniéndose óxido de hierro (II) y monóxido de carbono, produciéndose una pérdida de peso en el composite [figura 5].

$$Fe_3O_{4(s)} + C_{(s)} \longrightarrow 3FeO_{(s)} + CO_{(g)} \qquad \text{Esquema I}$$

En todos los casos aparece un residuo que debe estar formado por componentes de naturaleza inorgánica (FeO) y orgánica debido a la deshidratación y reticulación de la celulosa que genera un producto con una estructura semejante al grafito.

El contenido de magnetita microencapsulada fue determinado a partir de los valores encontrados en las cenizas. En todos los casos el por ciento de magnetita en la PSC fue superior al 50% de la cantidad inicial.
En la figura 6 se muestra el lazo de histéresis de las PSC. El valor calculado para la coercitividad fue de 37 Oe, lo que sugiere que las partículas no se comportan como un imán permanente.

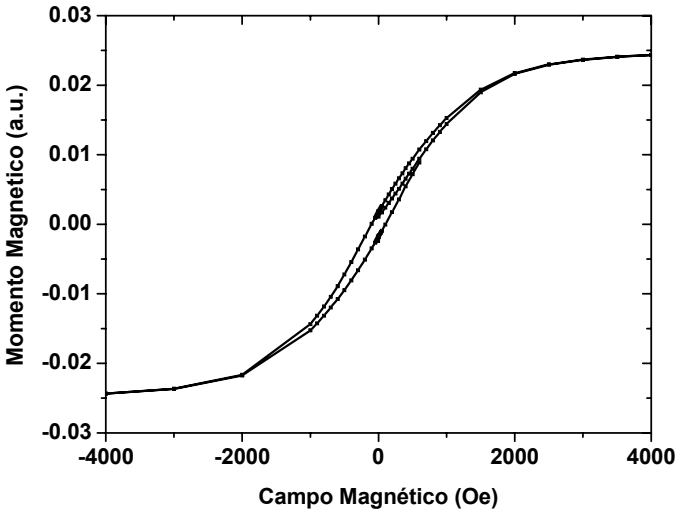


Figura 6: Lazo de histéresis para las PSC.

Inmovilización de la papaína en las PSC.
El biocatalizador papaína-PSC, preparado por el procedimiento anteriormente descrito, fue purificado lavando exhaustivamente la matriz. La cantidad de enzima inmovilizada fue de 60 mg/g de soporte. En la tabla I se reportan las propiedades catalíticas de este conjugado enzimático.

Tabla I: Propiedades catalíticas del conjugado papaína-CELEF-magnética.

Enzima	Actividad proteolítica (U/mg)	K_m (mL/g)
Papaína nativa	86.3	107
Papaína-CELEF-magnética	23.0	146

Como puede apreciarse de la tabla, la papaína modificada retiene el 27% de la actividad proteolítica correspondiente a la enzima nativa. Esta reducción es consecuencia de la baja accesibilidad del sustrato proteico al sitio activo de la enzima, originado por el impedimento estérico al estar unido a la superficie de las partículas.
La conjugación covalente con las partículas magnéticas reduce la afinidad de la enzima por el sustrato caseína, el cual fue afectado durante la inmovilización en las partículas magnéticas de celulosa. El valor de K_m fue incrementado de 107 mL/g para la papaína a 146 mL/g para la enzima modificada. Sin embargo, la temperatura óptima [figura 7] para la hidrólisis de la caseína catalizada por la papaína permanece sin variación.
La enzima inmovilizada retuvo el 75% de su actividad después de 100 días a 4°C y retuvo aproximadamente el 33% de su actividad inicial después de 6 ciclos de reuso [figura 8].

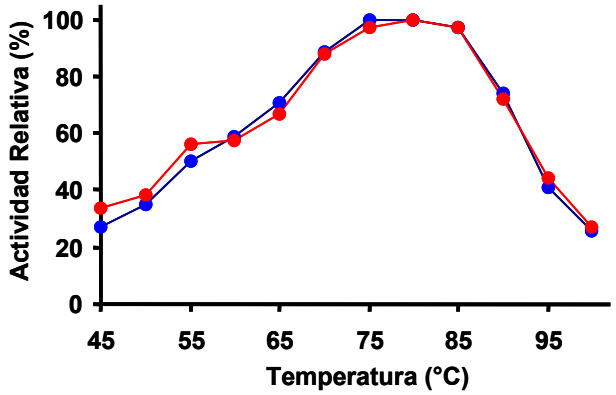


Figura 7: Perfil de estabilidad térmica para la papaína nativa (●) e inmovilizada (●).

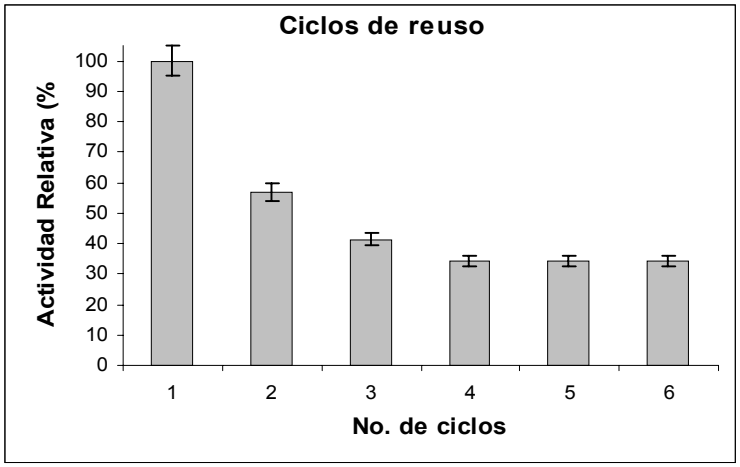


Figura 8: Ciclos de reuso de la enzima inmovilizada.

Estos resultados demuestran que el biocatalizador sintetizado es estable en el tiempo y que su manipulación con un campo magnético externo para su aislamiento no afecta la actividad proteolítica de la enzima inmovilizada.
Los resultados obtenidos sugieren que las PSC activadas con grupos –COOH, pudieran ser utilizada para la inmovilización de biomoléculas.

Conclusiones.

1. El método de emulsión agua en aceite (W/O) resultó adecuado para obtener partículas con propiedades superparamagnéticas, a partir de una solución de xantato de celulosa en medio básico.
2. Las mediciones magnéticas obtenidas indican que las partículas no se comportan como imanes permanentes.
3. Se comprobó la efectividad del método propuesto para la inmovilización de enzima en el composite, tomando como punto de enlace los grupos amino que presentan estas biomoléculas. La enzima inmovilizada mantiene sus propiedades funcionales por lo que los materiales obtenidos pueden ser objeto de aplicaciones prácticas.

Referencias

Davidenko. N., Orlov. D.V., Sastre. R ***(1994a),****Revista de los Plásticos Modernos. 457, 72.*

Davidenko. N., Orlov. D.V., Sastre. R. ***(1994b****), Revista de los Plásticos Modernos*. 458*, 173.*

Horák. D., Rittich. B., Šafář. J., Španová. A., Lenfeeld. J., Beneš. M.J. ***(2001),*** *Biotechnol. Prog. 17, 447.*

Laskowski. M. ***(1955****), Methods of Enzymology. 2, 26.*

Lenfeld J. ***(1993),*** *Angewante Makromolekulare Chemie. 212, 147*

López. D., Cendoya. I., Torres.F., Tejada. J., Mijangos. C. ***(2001),*** *Journal of Applied Polymer Science. 82, 3215.*

Lowry. O.H., Rosebrough. N.J., Farr. A.L., Randall. R. ***(1951),*** *Journal of Biological Chemistry. 193, 265*

RamirezVick. JE., Garcia., AA, Lee.,J. ***(2000),*** *Reactive & Functional Polymers. 43, 53*

Sinclair. B. ***(1998),*** *Scientist. 12, 17.*

TAPPI. Loose Leaf Data (Technical Asociation of the Pulp and Paper Industry, editor*)* Norma T 242 su-69, TAPPI Press **(1989).**

USO DEL MATERIAL LIGNOCELULOCICO: UN DESAFIO PARA LA HUMANIDAD.
LIGNOCELLULOSE UTILIZATION: A CHALLENGE FOR THE HUMANITY.

Dopico, D.; Hernández, Y.; Sánchez, M.[1]

UIP de la Celulosa del bagazo Cuba-9. Apdo. 8, Quivicán CP 33500. e-mail: direcc9@enet.cu
Consultoría BIOMUNDI ([1])

RESUMEN

El aumento del consumo energético en el último siglo ha sido proporcional al crecimiento de la población mundial y la industrialización. Para satisfacer la demanda energética se han explotado sin límites las reservas fósiles (petróleo, gas, carbón), lo que provoca la existencia cada vez más limitada de estos recursos con el impacto ambiental que implica su utilización.

En este trabajo se hace referencia al aprovechamiento de los materiales lignocelulósicos, a escala mundial, como fuente renovable y alternativa de productos de alto valor agregado y energía.

Palabras claves: materiales lignocelulósicos, bagazo, lignina.

SUMMARY

The increase of the energy consumption in the last century has been proportional to the world population's growth and the industrialization. To satisfy the energy demand they have been exploited without limits the fossil reservations (petroleum, gas, coal), what causes the more and more limited existence of these resources with the environmental impact that implies their use.

In this work reference is made to the use of lignocellulose, to world scale, as renewable source and alternative of products of high added value and energy.

Key words: Lignocellulose, bagasse, lignin.

INTRODUCCION

Bajo la denominación de residuos lignocelulósicos se agrupan residuos orgánicos procedentes de la actividad humana como residuos agrícolas, forestales e industriales. Los residuos lignocelulósicos son los materiales renovables más abundantes de la tierra, como proceden del proceso fotosintético de la madera y el material vegetal en general son inagotables Jacobus (2001).

Alrededor de tres cuartas parte de la biomasa total generada en la agricultura y la rama pecuaria no son utilizadas, por citar un ejemplo, la mayoría de los residuos madereros y la agricultura no son aprovechados durante la coseche, quedando en el campo del 50-75 % de las ramas, hojas y raíces de los materiales vegetales Singh (1995).

La disponibilidad de los residuos lignocelulósicos en cualquier región geográfica depende principalmente de: factores climáticos y ambientales, de las prácticas de cultivo y de la tecnología utilizada Parajó (1998).

El aprovechamiento de estos residuos como sustrato para productos de alto valor agregado tiene su base en la separación y aprovechamiento de sus constituyentes. La separación simultánea de sus tres principales fracciones (celulosa, hemicelulosas y lignina) no puede ser alcanzada por métodos convencionales, al menos uno de los polímeros tiene que ser degradado. Esta separación puede ser efectuada por métodos físico, químicos o biológicos tales como: hidrólisis ácida o alcalina, tratamiento con solventes orgánicos, explosión con vapor y procesos enzimáticos Olsson (1996).

El uso de la celulosa y las hemicelulosas está bien definido y diversificado. En el caso de la celulosa tiene su más amplia aplicación en la producción de papel, rayón y materiales fibrosos; así como materia prima para la obtención de Celulosa Microcristalina y otros excipientes (García, 2002), glucosa, etanol, glicerol, ácido láctico, sorbitol, entre otros.

El uso de las hemicelulosas como polímero está limitado fundamentalmente a su función como adhesivo natural aumentando la resistencia de las fibras de pulpa y papel, sin embargo sus azúcares monoméricos son precursores de químicos tales como: Xilitol, furfural, ácido acético, proteína microbiana, etcétera Singh (1995).

La lignina, es la fracción lignocelulósica menos usada intensivamente a pesar de que sus posibilidades son conocidas hace más de 80 años, aunque en nuestros días comienzan a ser consideradas viables y económicamente competitivas en función de: su amplia disponibilidad e innumerables posibilidades de aplicación que ofrece su estructura y propiedades físico, químicas y biológicas Ragauskas (2003), Gellerstedt (2003). Partiendo de este hecho, en el presente trabajo se hará una referencia general a lo que se ha logrado hasta el presente en el campo de la investigación y aplicación de la lignina, así como cuales son las perspectivas futuras en dicha temática.

MATERIALES Y METODOS

Para la realización de este trabajo se han consultado libros y revistas especializados en el tema, además bases de datos como Chemical Abstract e Internet.

RESULTADOS Y DISCUSION

La lignina es un polímero tridimensional formado por unidades fenilpropano enlazadas aleatoriamente, lo que conlleva a la formación de una estructura de alta masa molecular, muy compleja, altamente ramificada y con disímiles enlaces entre sus unidades.

De acuerdo al método de aislamiento las ligninas pueden ser clasificadas en general como se desglosa a continuación:

- Ligninas ácidas. Es la lignina obtenida por remoción de carbohidratos mediante hidrólisis ácida. En este caso tenemos la lignina Klason, Wilstatter y residuo resultante de la obtención de furfural.
- Lignina MWL. Es la mejor representación de la lignina para realizar estudios estructurales. Es obtenida moliendo finamente el material vegetal seguido por extracción y purificación con solventes neutros.
- Lignina enzimática. Obtenida por el tratamiento del material vegetal con enzimas del tipo celulasas, seguido de extracción con solventes Toumela (2000).
- Lignina Kraft. Es la lignina derivada del proceso de pulpeo al sulfato de la madera para la fabricación de papel.
- Lignosulfonatos. Es el tipo más usada comercialmente y proviene del pulpeo al sulfito, es una lignina altamente polar y soluble en agua.
- Lignina alcalina. Derivada de los licores negros del pulpeo a la soda, usado generalmente en plantas anuales.
- Lignina organosolv. Lignina obtenida por diferentes sistemas basados en solventes orgánicos como etanol, metanol. ácido acético, etc.

Existen diferentes aspectos que favorecen la utilización práctica de la lignina:

- ✓ Amplia disponibilidad. La Biosfera contiene aproximadamente 3 x 10^{11} t de lignina con un incremento de 2 x 10^{10} t/año Kosikova (2002).
- ✓ No son tóxicas.
- ✓ Alto contenido energético debido a su núcleo aromático.
- ✓ Necesidad de tratamiento de los licores negros provenientes de los procesos de pulpeo por el alto impacto ambiental que estos representan.
- ✓ Fuente directa de compuestos fenólicos y aromáticos.
- ✓ Compatibilidad con diferentes reactivos químicos.
- ✓ Presencia de varios grupos reactivos en su esqueleto carbónico, lo que proporciona versatilidad para diferentes reacciones a las que puede ser sometida.

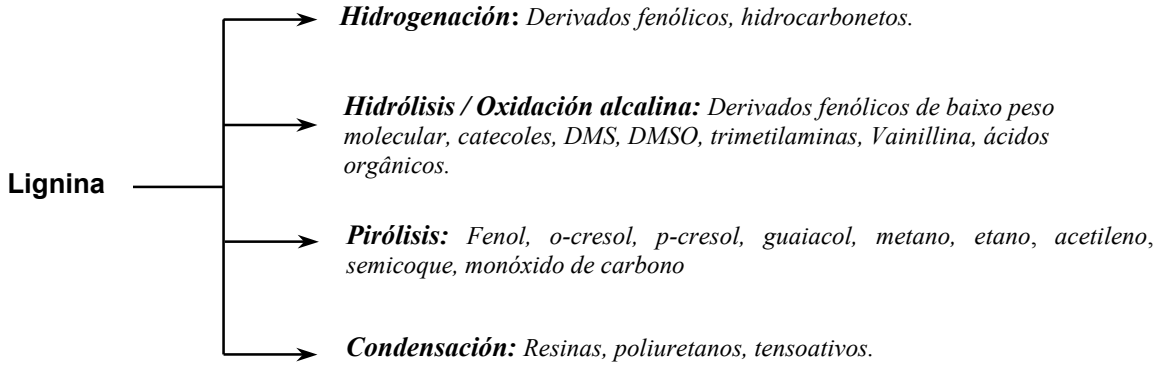
La principal dificultad del trabajo con lignina es su elevada complejidad molecular, su variación respecto al origen y las transformaciones industriales a que es sometida Monties (1998), Muurinen (2000).

Variados usos químicos han sido desarrollados a partir de la lignina ya sea como polímero de alta masa molecular o como por reacciones de fracciones de menor masa molecular. La mayoría de las aplicaciones constituyen proyectos de investigación de varias industrias, entre ellas: la Médico-Farmacéutica, la Agricultura, la Construcción y la Petroquímica. Sus usos se concentran en sectores como:

- ➢ Medicina. Sus derivados han sido investigados y/o usados principalmente en la captación de ácidos biliares, prevención de neoplasias, translocación bacteriana, inhibición y tratamiento de virus como el HIV y Herpes simples, hepatitis. Estos estudios y aplicaciones han sido posibles por las propiedades de la lignina como antioxidantes, antibacterianas y antivirales, por citar algunos ejemplos Alimi (2002); Petukhov (2000); Miikulosova (2003).
- ➢ Emulsiones y dispersantes. Es una de las mayores aplicaciones de los derivados de lignina. Son obtenidos a partir del tratamiento de los grupos hidrofílicos e hidrofóbicos presentes en la misma DYES (2002); Kosikova (2000).
- ➢ Agricultura. La lignina y sus derivados juegan un importante papel en la formación y tratamiento de los suelos. Un ejemplo de este uso es la preparación de micronutrintes agrícolas y productos de liberación controlada base lignina lo que ayuda a que los mismos estén disponibles para el uso de la planta y los suelos por un período de tiempo prolongado Pereira (1996). Además se usan en la producción de alimento animal Zahedifar (1996).

- Bio-combustibles. Los materiales lignocelulósicos, constituyen la alternativa más importante de sustitución del petróleo como fuente de combustibles y químicos. En la actualidad una gran cantidad de los licores negros del pulpeo de la madera y otros materiales se usan en la misma industria que los origina como fuente de energía Jacobus (2001).
- Construcción. En este sector los lignosulfonatos son los más aplicados ayudando a disminuir la cantidad de agua necesaria en el concreto, morteros y hormigones, a la vez que aumenta su fluidez. Debido al menor consumo de agua en los materiales, estos tienen menor densidad a la vez que se incrementa su resistencia y durabilidad y evita la aparición de poros y grietas Lignosulfonatos (1994); Nadif (2002).
- Petroquímica. Uno de los mejores ejemplos de la versatilidad de los derivados de lignina lo encontramos en la industria del petróleo y el gas, donde es usada como diluente y dispersante para mejorar la fluidez y la capacidad de bombeo de los líquidos usados en la perforación. Una de las razones del uso comercial de los lignosulfonatos en la perforación de petróleo es su relativamente baja agresión al medio ambiente Lignins (1995); Whittington (1999).
- Adhesivos. El uso más amplio en este campo es como sustituyente en resinas del tipo fenol-formaldehido y urea-formaldehido, llegando a sustituir entre el 10-30 % del fenol y la urea. Este tipo de resina se usa en la fabricación de madera artificial, electrodos, automóviles, etc. Raskin (2002); Cetin (2002).
- Secuestrante. Los derivados de lignina pueden secuestrar metales pesados (hierro, zinc, cobre, manganeso, entre otros) previniendo la reacción de estos con otros compuestos o su precipitación. Esta propiedad ha sido muy útil para el tratamiento de aguas de enfriamiento así como el tratamiento de residuales Goncalves (2001).
- Lignina como fuente directa de productos químicos. En la figura 1 se ilustran algunos métodos mediante los cuales la lignina se convierte en productos químicos. Recientemente se publicó que es posible obtener a partir de la lignina una gasolina reformulada y parcialmente oxigenada Shabtal (2000).

Figura 1. Métodos de conversión de la lignina en productos químicos.



Los derivados de la lignina más ampliamente comercializados son los lignosulfonatos y su uso más difundido es como dispersante. Estos productos se comercializaron por primera vez en el año 1948 en Estados Unidos, donde se vendieron alrededor de 4 000 t. Se estima que en la actualidad el consumo mundial sea alrededor de 1 500 000 t. En la tabla I se muestra el consumo de lignosulfonatos en Estados Unidos en el año 2001.

Tabla I Consumo de lignosulfonatos en Estados Unidos en el año 2001.

Usos	Toneladas	Porcentaje total
Aglutinante de carreteras	92 610	21
Alimentación animal (pellet)	44 100	10
Mezclas de concreto	92610	21
Aditivo en alimento animal	110 250	25
Otros	101 250	23
Total	441 000	100

Las ventas mundiales de materiales derivados de la lignina, en el año 1996, alcanzaron la cifra de 600 x 10^6 USD Nadif (2002), el mercado de tales productos está limitado al 2 % de la lignina disponible de los procesos de pulpeo Kadla (2002), los cuales rinden alrededor de 50 x 10^6 t/año. La capacidad mundial de producción de lignosulfonatos, en el 2001, fue de aproximadamente 1,7 x 10^6 t, con un valor global de producción de 550 millones de USD, por lo que se puede inferir que el precio por tonelada estaba en el orden de 323 USD. La tabla II refleja el precio que han alcanzado los productos desarrollados y/o comercializados por la compañía suiza GRANIT.

Tabla II Precios tentativos de productos desarrollados por la compañía suiza GRANIT.

Tipo de producto	Precio (USD/t)
Productos tradicionales	430-1400
Sustitución de productos renovables	530-2500
Aplicaciones únicas	> 1000

La compañía Borregaard LignoTech Ltd. De Noruega y la canadiense Tembec Inc. Son las mayores productoras, con capacidades anuales de 653 000 t y 240 000 t respectivamente, lo que representa el 54,3 % de la producción mundial. Existen otras empresas que comercializan derivados de lignina, en Brasil: Melbar Productos De Lignina Ltda, en Estados Unidos: Nexfor Fraser Papers Inc, MeadWestvaco, KBM Corporation y Lignin Institute; Reino Unido: Roy Wilson Dickson Ltd.; en Torquía: KMT Lignin Chemicals.

El mercado de la lignina es considerado "de poco valor", ya que los porcentajes de crecimientos son bajos, además es monopólico e incipiente, con tendencia a incrementarse. Debido a la gran actividad de I+D encaminada a obtener productos de bajo costos con gran valor agregado, aplicables a varias industrias.

Muchos expertos consideran que la factibilidad técnica y económica no será el principal problema para la introducción a gran escala de nuevas ligninas en el mercado, sino que el problema se concentra en la carencia de una coordinación profesional organizada y herramientas de comunicación dedicadas explícitamente a la promoción de la misma, como son:

- La ausencia de normas confiables para la caracterización de la lignina, de diferentes fuentes, que permita a la industria definir su calidad.
- No existe una identificación coordinada de las necesidades de investigación para nuevos mercados.
- La falta de herramientas de comunicación eficientes para suministrar información a las compañías acerca de nuevos proyectos que deben emprenderse sobre la lignina.

La meta de introducir a la lignina como una nueva materia renovable en otras industrias, necesita de un esfuerzo común entre científicos, comercializadores y consumidores, debido a que la competencia de productos habitualmente usados con los mismos fines es fuerte. Para esto, se considera que uno de los primeros pasos debe ser el de organizar los paquetes del conocimiento y de información referentes al uso de la lignina en el desarrollo sostenible, antes de comenzar a invertir en actividades de publicidad, y una vez que la información esté organizada y disponible, utilizar los canales comunes para darle la divulgación que merece.

Se estima que en la próxima década, la lignina como fuente de materia prima renovable y ecológica pueda generar ingresos de hasta 2 000 millones de USD, como consecuencia de la diversificación de sus usos en varios sectores hasta ahora no explotados y el aumento del valor agregado de sus productos. Por lo que su producción y suministro a costos competitivos y con un alto grado de pureza y calidad, son los principales objetivos de las compañías líderes de este mercado.

CONCLUSIONES

- Los materiales lignocelulósicos constituyen una fuente inagotable de biomasa. Su uso es un reto para la humanidad por sus posibilidades como materia prima renovable y alternativa al petróleo.
- Actualmente se han hecho progresos significativos para utilizar los derivados de lignina de forma viable y económicamente competitivos.
- Es necesario un compromiso entre investigadores, productores, comercializadores y consumidores con el fin de explotar la lignina en toda la amplia potencialidad que su aplicación permite.
- El campo de la lignina y sus derivados necesita cambio, organización y búsqueda de nuevas tecnologías que permitan obtener productos a bajos costos y óptima calidad.

BIBLIOGRAFIA

- ALIMI, H. (2002) Composition for inhibiting cellular proliferation comprises lignin or its derivate and carrier. WO200224208-A1
- CETIN, N.S AND ÖZMEN, N. (2002) Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production I. Organosolv lignin modified resins. International Journal of Adhesion & Adhesives 22, p.2913-2920.
- DYES. (2002) Dialogue, V.11, n.1. Disponible en Internet. Lignin Institute's web site. www.lignin.info.
- GARCIA, L.; BORDALLO, B.; CORDERO, D. (2003) Celulosa Microcristalina. Usos. XIII FORUM de Ciencia y Técnica (1 Etapa) UIP Cuba-9.
- GELLERSTEDT, G. AND LINDSTRÖM, M. (2003) Kraft Lignin-A Resource for the Future, Proceeding of Sixty International FORUM of New Approaches to Lignin Promotion and Eurolignin Network.
- GONÇALVES, A AND BENAR, P. (2001) Hydroximethylation and oxidation of oragnosolv lignins and utilization of the products, Bioresource Technology V.79, p.103-111.
- JACOBUS, P.H. (2001) Biotechnology and the utilization of biowaste as resource for bioproduct development. Trend in Biotecbnology, V.19, n.5, p.172-177.
- KADLA, J.F; KUBO, S; VENDETTI, R.A; GILBERT, R.D; COMPERC, A. L AND GRIFFITH, W. (2002) Lignin-based carbon fibers for composites fiber applications. Carbon V.40, p.2913-2920.
- KOŠÍKOVA, B; DURIŠ, M AND DEMIANOVA, V. (2000) Conversion of lignin biopolymer into surface-active derivatives. European Polymer Journal, V.36, p.1209-1212.
- KOŠÍKOVA, B; SLOMELOVA, D; MIKULÁŠOVÁ, M; HORVÁTHOVA, E AND LÁBJAJ, J. (2002) Reduction of carcinogenesis by bio-based lignin derivates. Biomass and Bioenergy, V.23, p.153-159.
- LIGNINS and the oil and gas drilling industry. (1995) Dialogue, V.4, n.1, Disponible en Internet Lignin Institute's web site. www.lignin.info.
- LIGNOSULFATE-stabilized emulsions. (2001) Dialogue, V.10, n.1,. Disponible en Internet Lignin Institute's web site. www.lignin.info.
- LIGNOSULFONATES in concrete admixture. (1994) Dialogue, V.3, n.1, Disponible en Internet Lignin Institute's web site. www.lignin.info.
- MIKULÁŠOVÁ, M; KOŠÍKOVA, B. (2003) Modulation of mutagenesis of various mutagen by lignin derivates. Mutation Research, V.535, p.171-180.

- MONTIES, B. (1998) Novel structures and properties of ligninin relation to their natural and induced variability in ecotypes, mutants and transgenic plants. Polymer Degradation and stability, V.59, p.53-64.
- MUURINEN, E. (2000) Organosolv pulping: a review and distillation study related to peroxyacid pulping. Academic Dissertation, Faculty of Technology, University of Oulu, ISBN 951-42-5661-1
- NADIF, A; HUNKELER, D AND KÄUPER. (2002) Sulfur-free lignins from alkaline pulping tested in mortar for use as mortar additives. Bioresource Technology, V.84, n.1, p.49-55.
- PARAJÓ, J. C., DOMÍNGUEZ, H., DOMÍNGUEZ, J. M. (1998) Biotechnological production of xylitol.Part 3: operation in culture media made from lignocellulose hydrolysates. Biores. Technol. V. 66, p.25-40.
- PEREIRA, C.A. (1996) Obtenção e avaliaçõa de formulações de liberação controlada de Diuron /lignina. Lorena: DEBIQ-FAENQUIL, 74p, Tesis de Maestría.
- PETUKHOV, D., THOFIMOV, V., PHILOV, V., REZTSOVA, V., KILMAIEVA, E. (2000) Production of a substance for treating noncancerous disorders comprises subjecting a lignin-containing material to alkaline hydrolysis fallowed by oxidation. WO200029005-A
- RAGAUSKAS, A. (2003) Rediscovering the Future of Lignin Chemistry. Proceeding of Sixth International FORUM of New Approaches to Lignin Promotion and Eurolignin Network. Holanda.
- RASKIN, M., IOFFLE, L.O., PUKIS, A.Z., WOLF, M.H. (2002) Lignin-based resin material for adhesive compositions, contains reaction product of lignin based material and alpha, beta- unsatured carbinyl compound. US2002065400-A1.
- SHABTAL, J., ZMIERCZAK, W. AND CHORNET, E. (2000) Conversion of lignin to gasoline, comprises subjecting lignin material to base-catalyzed depolymerization and hydrocracking and subjecting depolymeryzation product to etherification. WO200011112-A
- SINGH, A & MISHRA, P. (1995) Microbial pentose utilization. Current application in biotechnology. Progress in industrial microbiology. Elsevier Science, V.33,. ISBN 0-444-82039-6.
- TOUMELA, M; VIKMAN, M; HATAKKA, A; ITAVAARA, M. (2000) Biodegradation of lignin in compost environment: a review. Biresource Technology, V.72, p.169-183.
- WHITTINGTON, L., NAAE, D. AND KIEKE, D. (1999) Catalytic method for preparation of lignin phenol surfactants in organic solvents. CA2272592-A1.
- ZAHEDEFAR, M. (1996) Novel uses of lignin and hemicellulosic sugars from acid hydrolyzed lignocellulosic materials. Doctoral thesis. University of Aberdeen.

CELULOSA MICROCRISTALINA. USOS
MICROCRISTALLINE CELLULOSE. UTILIZATION.

García García L., Bordallo López, E., Cordero Fernández D., Dopico Ramírez, D.

UIP DE LA CELULOSA DEL BAGAZO CUBA-9, Pablo Noriega, CP 33500, Quivicán, La Habana, Cuba.
e-mail: investc9@enet.cu, eduardobordallo@yahoo.com

RESUMEN

La celulosa microcristalina, comúnmente denominada MCC, es ampliamente usada por la industria alimenticia como relleno y como fibra dietética y por la industria farmacéutica como excipiente en la producción de tabletas, cápsulas, etc. Este producto es utilizado en forma de polvo y obtenido tratando la celulosa de alta pureza con ácidos minerales.

En el proceso de conversión del bagazo de la caña de azúcar en pulpa de alta pureza, la materia prima es tratada con hidróxido de sodio, seguidamente la pulpa cruda es lavada, blanqueada y secada.

La pulpa blanqueada de bagazo de alta calidad es tratada con ácido clorhídrico en un reactor esmaltado. Posteriormente es lavada con agua, secada y molida, resultando una celulosa microcristalina de 97 % de pureza con grado farmacéutico adecuado.

SUMMARY

Microcrystalline Cellulose, commonly known as MCC is widely used in food industry as a filler material, as dietary fiber and in pharmaceutical industry as an excipient of tablets, capsule and other dosage form of drugs.

Microcrystalline Cellulose, generally used in powder form, is usually obtained by hidrolitical action of mineral acid on fibrous high alpha grade cellulose.

In order to convert sugar cane bagasse to high quality bagasse pulp, the bagasse is treated with sodium hydroxide, and obtained pulp is then washed, bleached and dried.
After the high quality bagasse pulp is treated with hydrochloric acid in a glass lined reactor, with subsequent water washing, drying and then pulverization, resulting in 97 % pure microcrystalline cellulose powder of the pharmaceutical grade.

Palabras Claves:
Celulosa Microcristalina, Microcrystalline Cellulose
Fibra Dietética, Dietary Fiber
Celulosa de Elevada Pureza, High Alpha Grade Cellulose.

INTRODUCCIÓN

La celulosa microcristalina es un derivado del ∝-celulosa depolimerizada y purificada a partir de plantas fibrosas, esta constituye la fracción sólida de bajo peso molecular, resistente a la hidrólisis parcial controlada de la celulosa en medio ácido. Es un producto blanco, inodoro, libre de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

La obtención de celulosa microcristalina ha sido estudiada por muchos autores a partir de diferentes materias primas tales como linter de algodón, pulpas de diferentes orígenes obtenidas por diferentes procesos, maderas, bambú, cáscara de trigo, papeles de desecho, cáscara molida de nuez, pulpa de bagazo de caña de azúcar, etc.

El objetivo fundamental de este trabajo, fue la obtención de pulpa de alta pureza de bagazo de caña de azúcar con propiedades adecuadas para la producción de celulosa microcristalina para ser utilizada con diferentes fines.

La naturaleza química de este producto (celulosa purísima) y su estructura física (con gran desarrollo) han hecho surgir una amplia gama de posibilidades de aplicación, bien partiendo de la forma pulverulenta o de la suspensión coloidal.

En particular la Celulosa Microcristalina se utiliza como excipiente en la industria farmacéutica y como sustituto de harina y azúcar en alimentos de bajas calorías. Es utilizado también en cápsulas, como portador del color y el sabor.

En la actualidad en nuestro país, la MCC es utilizada como terapéutico sobre la absorción de los ácidos biliares en las Heces Fecales en los pacientes con cáncer de colon y pólipos adenomatozos y a nivel de jugo gástrico en los casos de gastritis alcalina por reflujo duodeno gástrico con magníficos resultados desde el punto de vista clínico.

Entre las fuentes más abundante de fibra dietética insoluble (carbohidratos no digerible por el hombre), se destaca la celulosa (el carbohidrato más abundante en la naturaleza, ya que constituye una parte significativa de la masa de las plantas). Uno de los productos más comunes de ella es la celulosa microcristalina (MCC). Diferentes autores destacan la importancia que tiene el consumo de las fibras para la salud del hombre. Las fibras influyen en la función del intestino grueso, reduciendo el tiempo de transito, aumentando el peso y la frecuencia de las deposiciones, y diluyendo el contenido intestinal mediante su fermentación por la microflora, que habitualmente se haya presente en él.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Procedimiento para la obtención de pulpa de alta pureza

El bagazo integral fue desmedulado con el objetivo de incrementar el porcentaje de fibra útil que se suministra en la industria de derivados; además de eliminar el meollo, se eliminan los iones metálicos y el polvo contenido en este.

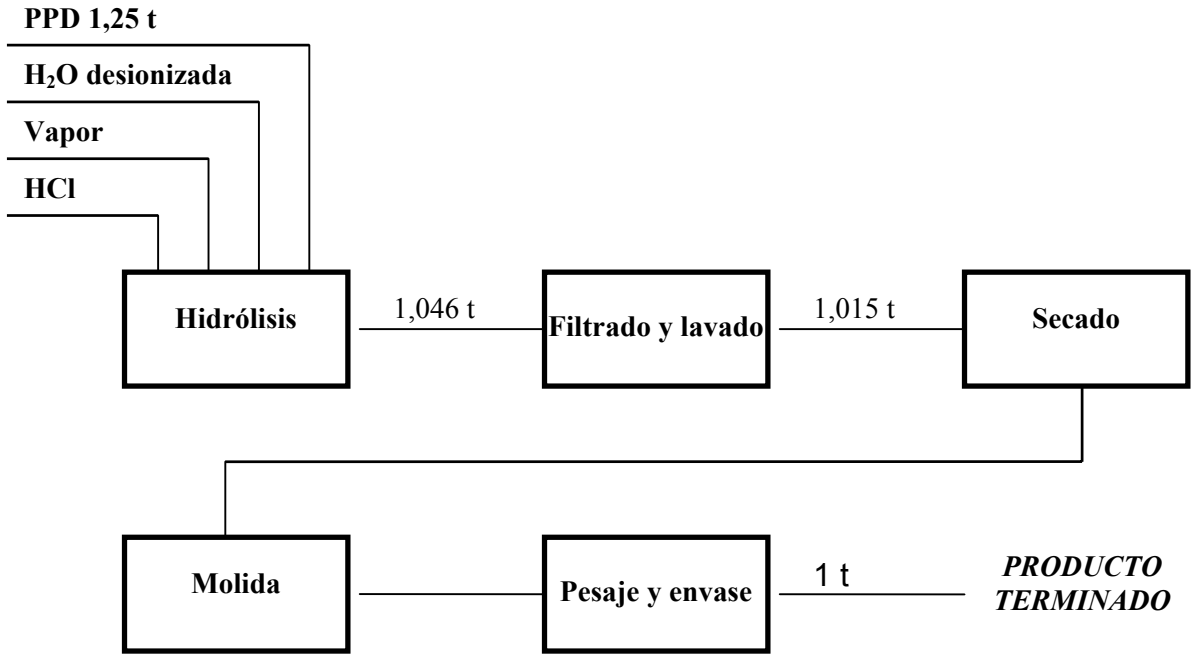
Posteriormente se realiza la prehidrólisis acuosa con el objetivo de eliminar el 75% de las hemicelulosas presentes y para disminuir el contenido de cenizas (2–3 %). Esta es llevada a cabo en un reactor de acero inoxidable a una temperatura de 170ºC por el transcurso de 1 hora y un hidromódulo de 1:7.

El bagazo prehidrolizado fue sometido a un proceso de cocción, en el cual la celulosa es aislada del material fibroso, removiendo la mayor parte de los restantes componentes (lignina, Pentosanos, cenizas, resinas, etc.). El pulpeo utilizado en este trabajo fue a la soda, utilizando un 16% de Na_2O sobre pulpa a una temperatura de 160 ºC, tiempo de 45 minutos e hidromódulo de 1:6. Seguidamente, la pulpa fue clasificada y blanqueada utilizando el esquema dióxido, extracción, dióxido (DED).

2. Procedimiento para la obtención de Celulosa Microcristalina.

Al reactor esmaltado se le suministra ácido clorhídrico de 4 - 6 % de concentración y pulpa de alta pureza. Se mezcla el contenido durante 60 minutos a temperatura 100 °C, con agitación esporádica. La suspensión obtenida se centrifuga y lava con agua desionizada hasta pH neutro. La masa húmeda se seca a temperatura entre 55-60 °C. Finalmente el producto es molido hasta el tamaño de partículas deseado y envasado adecuadamente. El diagrama de flujo de este proceso se muestra en la figura I.

FIG. I DIAGRAMA DE FLUJO



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La TABLA I describen las propiedades de la celulosa microcristalina producida y las especificaciones de calidad reportadas en las Normas Farmacopea.
Como se aprecia, las propiedades de la celulosa microcristalina obtenida a partir de pulpa de bagazo están entre los rangos establecidos por las normas especializadas para que este producto sea utilizado con diferentes fines, tales como:

- Excipiente en la industria farmacéutica para la producción de tabletas.
- Fabricación de cremas y suspensiones sólidas para cosméticos y otras formulaciones.
- En cápsulas, como portador de color y sabor.
- Fibra dietética. Como sustituto de harina, azúcar y grasas en alimentos de bajas calorías.
- Uso terapéutico para el tratamiento de diferentes patologías.

TABLA I. PROPIEDADES DE LA CELULOSA MICROCRISTALINA OBTENIDA Y LAS ESPECIFICACIONES DE CALIDAD REPORTADAS EN LAS NORMAS DE LA FARMACOPEA.

Propiedades	UIP CUBA-9	Normas Farmacopea
Distribución del tamaño de partículas (%)	+ 60 mesh < 1,0 + 200 mesh < 30,0	+ 60 mesh < 1,0 + 200 mesh < 30,0
PH	6,5	5,5-7
Pérdida por desecación (%)	4,0	< 5,0
Residuos de ignición (%)	0,05	< 0,05
Contenido de hierro (ppm)	< 10	< 10
Sustancias solubles en agua (mg/5g)	< 12	< 12 (0,24%)
Contenido de almidón (%)	negativo	negativo
Contenido de celulosa (%)	97	97-100

CONCLUSIONES

1. A partir de la pulpa de elevada pureza se obtuvo una tecnología adecuada para la producción de celulosa microcristalina.
2. La Celulosa microcristalina obtenida cumple con los requerimientos necesarios para ser utilizadas por diferentes industrias.

BIBLIOGRAFIA

1. Fernández Velacos, L; Fernández Velasco, R. (1992) “Celulosa Microcristalina” ATCP 32a, Reunión Aunal, México, DF.
2. García, L. et al. (1998) “Celulosa Microcristalina” V Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña DIVERSIFICACION`98, 29.
3. Normas Pharmacopea USP 23 1995 NF 18.
4. Pavlov, I.N. et al. (1999) “Disintegration and drying of microcrystalline cellulose” Chemistry of plant raw materials ·2, 159-162.
5. “Microcrystalline cellulose from groundnut shells” National Research Development Corporation Microcrystalline Cellulose FRO. India.

EFECTOS DEL EMPLEO DE FIJADORES EN AGUAS BLANCAS PROCEDENTES DE PAPELES ESTUCADOS

EFFECTS OF THE EMPLOYMENT OF FIXERS IN WHITE WATERS COMING FROM COATING PAPERS

Elsa González *, Ángeles Blanco **, Concepción Monte **, Helena de la Fuente **, Antonio Tijero **

* UIP de la Celulosa del Bagazo ***direcc9@enet.cu***
** Universidad Complutense de Madrid ablanco@quim.ucm.es

RESUMEN

Los contaminantes que se pueden encontrar en el papel de recuperación son materias incorporadas al papel durante su fabricación (almidón; agentes de resistencia en húmedo; agentes de resistencia en seco; adhesivos, latex proveniente de papeles estucados, etc.

Los contaminantes que se encuentran en forma de materia disuelta y coloidal (MDC) no se pueden eliminar mediante los procesos mecánicos convencionales. La materia disuelta y coloidal, que en su mayoría tiene carácter aniónico, puede desestabilizarse por un cambio brusco de las condiciones del sistema (temperatura, pH, fuerzas de cizalla, carga superficial, adiciones químicas, fuerza iónica del medio, etc.) y producir su aglomeración, dando lugar a la formación de depósitos adherentes en el proceso de fabricación de papel. Estos depósitos adherentes son conocidos como "stickies", término inglés que se ha impuesto en el lenguaje papelero a falta de un término equivalente que sea comprendido técnicamente, y que, por tanto, se utilizará a lo largo de este trabajo.

En el presente trabajo se estudian distintos agentes de fijación que conlleven a la disminución de la MDC o a su eliminación.

Palabras claves: fijadores, aglomeración, estucado.

SUMMARY

The contaminants that can be in the recovery paper are incorporate materials to the paper during their production (starch; wet-strength agents; resistance agents in dry; adhesives, latex from coated paper, etc

The contaminants that are in form of dissolved and colloidal material (DCM) they cannot be eliminated by means of the conventional mechanical processes. The dissolved and colloidal material that has character anionic in its majority, can be destabilized by an abrupt change of the conditions of the system (temperature, pH, shears forces, it charge superficial, add chemical, it forces ionic of the means, etc.) and to produce its flocculate suspension, giving place to the formation of adherent deposits in the process of paper production. These adherent deposits are known as " stickies ", English term that has been imposed in the language paper for lack of an equivalent term that is understood technically, and that, therefore, it will be used along this work.
Presently work different fixation agents are studied that bear to the decrease of the DCM or their elimination.

Key words: fixing, agglomeration, coating, stickies.

Introducción

La industria papelera está en pleno desarrollo tecnológico debido a las fuertes presiones medioambientales, sociales y económicas que sufre. El consumo de agua, energía y aditivos debe reducirse, la producción y la calidad del papel se deben aumentar para responder a la demanda existente, la utilización de papel recuperado en vez de fibra virgen es cada vez más importante. Estas presiones promueven la optimización de cada una de las etapas del proceso de fabricación. (Negro C. 1999; De Federico G., 1999).

Para evitar los problemas asociados, tanto al papel recuperado como al cierre de los circuitos de agua que provoca la acumulación de la Materia Disuelta y Coloidal (MDC) con efectos negativos, se han desarrollado un gran número de productos químicos. Sin embargo, estos aditivos son a su vez, contaminantes potenciales, cuando se reintroducen en el sistema, representando una desventaja a largo plazo debido a su interacción con la MDC.

Los contaminantes que se encuentran en forma de MDC, que en su mayoría tiene carácter aniónico, puede desestabilizarse por un cambio brusco de las condiciones del sistema (temperatura, pH, adiciones químicas, etc) y producir su aglomeración, como consecuencia de fenómenos de coagulación y precipitación, dando lugar a la formación de depósitos adherentes en el proceso de fabricación del papel. Estos depósitos son conocidos como “ stickies”. Cuando estas sustancias proceden del estucado, formado por látex además de otros constituyentes, los depósitos originados se conocen con el nombre de “ white pitch”.

En el presente trabajo se estudian distintos agentes de fijación que conlleven a la disminución de la MDC o a su eliminación.

Origen de la materia disuelta y coloidal y formación de depósitos debido a la desestabilización de la MDC

La MDC en el proceso de fabricación del papel procede de:

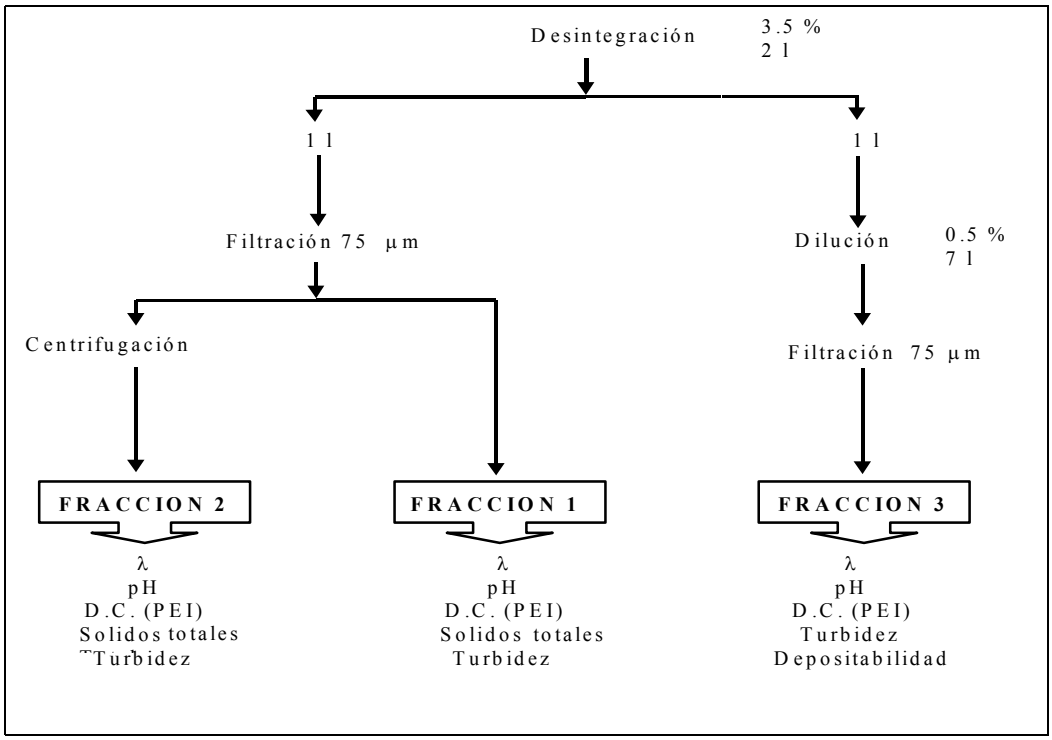
1. Las materias fibrosas (extractivos de la madera). (Springer A.M. et al., 1985; Wearing J.T. et al., 1985; Sjöström J. y Holmbom B., 1988; Wade D.E., 1989; Trout P.E., 1992; Didato D.T., 1994; Fredik A. et al., 1994).
2. Los aditivos incorporados durante el proceso de fabricación del papel los que se encuentran agentes de resistencia en húmedo, agentes de resistencia en seco, floculantes, jabones de destintado (May O.W., 1991; Crawford D.S., 1992; Allen L.H. et al., 1998; Blanco M.A. et al., 1998).
3. El agua de alimentación a la planta (Fogarty T.J., 1992; Negro C et al., 1995; Ouellette A.J., 1995).

Uno de los principales problemas de la MDC es la formación de depósitos adherentes cuando se produce su desestabilización debido a un cambio brusco en el sistema (Kunzi W. y Maurer K., 1998; Galland G. y Negro C., 1998; Blanco M.A. *et al.*, 1999). Estos depósitos adherentes se conocen, con el nombre de "stickies" que son las materias presentes en el papel de recuperación, que debido a su naturaleza adherente o a su tendencia a formar agregados, conducen a problemas de depósitos en el proceso de fabricación de papel y cartón (Blanco M.A. *et al.*, 1998).

Materiales y métodos

Para estudiar el comportamiento de la MDC procedente de un papel estucado por una cara y con 9g/m^2 de peso de estuco, se caracterizaron las aguas blancas obtenidas a partir de la pasta de papel estucado en estudio, obteniendo tres fracciones para medir en cada una de ellas distintos parámetros. El esquema de fraccionamiento utilizado se muestra en la figura 1, en el cual se indican los parámetros medidos en cada una de las fracciones.

Fig. 1. Esquema del procedimiento para caracterizar las aguas blancas.



Después de la desintegración de la materia prima a una consistencia del 3.5%, se separan las dos muestras. Un litro de pasta se filtra a través de un Vaso de Drenaje Dinámico (DDJ) para obtener la fracción 1. Esta fracción está formada por los finos, las cargas minerales y la MDC. La mitad de la fracción 1 se centrífuga durante 10 minutos a 3000 rpm en una centrífuga para obtener la fracción 2. Esta fracción está formada por MDC. Por último otra muestra de pasta al 3.5% se diluye hasta una consistencia del 0.5% y se filtra a través de un DDJ a 500 rpm hasta obtener la fracción 3. Esta fracción es un agua blanca más diluida que en el caso de la fracción 1 y también está formada por finos, las cargas minerales y la MDC. Previamente a la desintegración, la materia prima debe estar en remojo durante 10 minutos con el fin de que se humedezca y se facilite su posterior desintegración.

Para probar los fijadores se prosiguió de la siguiente forma: se desintegró la muestra a una consistencia de 3.5% y un volumen de 2L, luego se diluyó a 1.5% de consistencia con un volumen de 2.660L, seguidamente se añadió las dosis de 500, 1000 y 1500 ppm de los fijadores a la pasta durante 2 minutos y 900 rpm. Después a ese filtrado se le determinó demanda catiónica o aniónica (con PEI Polietilenimina o PVSK Polivinilsulfato de Potasio) dependiendo del fijador y de la dosis empleada y con lo cual se le realizó el ensayo de deposición

La determinación cuantitativa de los depósitos adherentes, debido a la desestabilización de la MDC, consiste en una primera etapa, en la preparación de las aguas blancas que contenga la MDC en estudio y una segunda etapa consiste en realizar un ensayo de deposición de las aguas blancas, en condiciones de desestabilización controladas, con el fin de determinar la tendencia a la formación de depósitos adherentes.

Antes de llevar a cabo el ensayo de depositabilidad es necesario conocer cuantitativamente la cantidad de MDC presente en las aguas blancas, a través de la demanda catiónica (DC) que se define como los microequivalentes de polímero catiónico necesarios para neutralizar las cargas aniónicas presentes en una suspensión. La DC se mide en el agua blanca por titulación coloidal con un polímero catiónico (en el caso que la muestra sea aniónica). Para este caso se utilizó PEI (Polietilenimina 0.001N). La titulación se realizó en un valorador automático CRISON, conectado a un Detector de Carga de Partícula, Mütek PCD 03 que determina el punto final de la valoración, midiendo en mV, el potencial eléctrico creado al separar los contraiones que rodean las partículas cargadas de éstas mediante fuerzas de cizalla. (Gussinger E. Et al., 1999).

Los ensayos de depositabilidad se llevan a cabo introduciendo el rotor de deposición en un vaso de 2 litros a 50°C que contiene 1800 ml de las aguas blancas.

Una vez determinada la DC del agua blanca se añade el volumen de polímero catiónico necesario para desestabilizar la MDC e inmediatamente se comienza el experimento de deposición. Cuando se concluye el experimento se detiene la agitación y se saca el rotor de deposición de la suspensión, se retiran las láminas de acero con los depósitos adherentes y se dejan secar en una estufa a 105°C durante unos minutos.

La determinación cuantitativa de los depósitos se realiza con un sistema basado en el análisis de la imagen de la lámina con los depósitos, obtenida con un escáner HP Scanjet 6100C, que tiene una resolución de 600 dpi o puntos por pulgada. A través del programa " Stickies Measurement System" (SMS) desarrollado por el Centro de Investigación Inglés PIRA International, en colaboración con el equipo de investigación de la Universidad Complutense de Madrid. Este toma la imagen de la lámina en blanco y negro, digitalizada por medio del escáner, con los depósitos sobre su superficie. Basándose en una escala de grises, en la que el blanco es 1 y el negro es 256, calcula la distribución de cada gris presente en la imagen de la lámina. Como esta clase de depósitos presenta coloración blanca y las láminas aparecen en el escáner como superficies oscuras, existe suficiente contraste para diferenciar los depósitos de la lámina.

Una vez calculada la distribución, y en función de esta, el programa sugiere el límite de gris, a partir del cual empieza a considerar como depósito (umbral de medida o " threshold"), aunque también permite al usuario ajustarlo en función de la imagen que aparece en la pantalla. Fijado este parámetro, este programa calcula el área cubierta por los depósitos (mm^2), el porcentaje de superficie cubierta (%) y las ppm (mm^2 de superficie cubierta/m^2 de superficie). Además permite analizar la imagen directamente obtenida desde el escáner o analizar la imagen archivada con anterioridad en un fichero.

Resultados y discusión

Tabla I. Resultados de la caracterización de aguas blancas para cada una de las fracciones :

	FRACCION 1	FRACCION 2	FRACCION 3
λ(mS/cm)	1.5	1.5	0.95
pH	8.6	8.6	8.6
Demanda Catiónica (μeq/L)	5.4	1.2	92
Sólidos Totales (g/L)	13	1.7	-
Turbidez(NTU)	4104	373	597

Como puede observarse en los resultados anteriores, el agua blanca sin centrifugar presenta una mayor DC, lo que significa un mayor número de equivalentes de cargas negativas. Esto se debe a que los finos, que pasan a través de la malla del DDJ, tienen una carga superficial negativa. Al centrifugar la muestra la mayor parte de los finos es eliminada, dando como resultado una disminución de la DC de la muestra. La turbidez es menor en la fracción 2 que en la fracción 1 ya que la fracción 2 solo está formada por la MDC mientras que la fracción 1 está formada por finos, cargas y MDC, e igualmente pasa con los sólidos totales.

Tabla II. Depositabilidad de la fracción 3

Superficie	Área total (mm^2)	Superficie cubierta (%)	PPM (mm^2/m^2)
Exterior	921	4.5	45158
Interior	499	4.5	45076

Puede observarse que para una dilución de 0.5% de consistencia, se obtuvo 4.5% de depósitos de "white pitch" para la superficie exterior e interior y como para el estudio de agentes de fijación necesito mayor sensibilidad se probó con 1.5% de consistencia para lograr una mayor depositabilidad aunque por lo general se trabaja a 0.5% de consistencia .

En este caso de desintegró la muestra a 3.5% de consistencia en un volumen de 2L, luego diluimos a 1.5% de consistencia con un volumen de 2.660L, seguidamente se filtró con una malla de 75 μm determinándole a ese filtrado la demanda catiónica, entre otras propiedades.

Tabla III. Resultados de la caracterización de las aguas blancas en la fracción 3 (1.5% de consistencia)

	FRACCION 3 CON 1.5% DE CONSISTENCIA
λ(mS/cm)	14
pH	8.4
Demanda Catiónica (μeq/L)	148
Turbidez(NTU)	1244

Tabla IV. Depositabilidad de la fracción 3 (1.5% de consistencia)

Superficie	Área total (mm^2)	Superficie cubierta (%)	PPM (mm^2/m^2)
Exterior	2063	10.4	104546
Interior	1033	9.9	98572

Se demuestra, como era de esperar que se obtuvo una mayor depositabilidad cuando se trabajó a una mayor consistencia por lo que todos los ensayos de deposición se realizaron a una consistencia de 1.5%.

Además se calculó el error experimental y se analizaron los resultados estadísticamente a partir de la desviación estándar y el intervalo de confianza para un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$) con la siguiente expresión (Spiegel M. R. , 1993).

$$IC = \pm t \frac{\Gamma}{\sqrt{n-1}}$$ donde:

t: t de student para un nivel del 95% y γ ($\gamma = n - 1$) grados de libertad
Γ: desviación estándar de la muestra
n: # de experimentos

Y con el intervalo de confianza se calculó el error:

$$E\,(\%) = \frac{(\bar{X} + IC) - \bar{X}}{\bar{X}} \cdot 100 = \frac{IC}{\bar{X}} \cdot 100$$

donde:
$\bar{X}$: valor medio
IC: intervalo de confianza

Los resultados estadísticos muestran que para la lámina exterior se obtuvo un error del 6.4% y que para la lámina interior 1.5% de error.

Se probaron diferentes agentes de fijación para evitar la formación de depósitos conocida como "white pitch" en las dosis 500, 1000 y 1500 ppm.

1. PCA 1
2. PCA 2
3. PCA 3
4. PCA 4

Fig. 2 Resultados obtenidos con el uso de fijadores para el control del "white pitch" para la lámina exterior

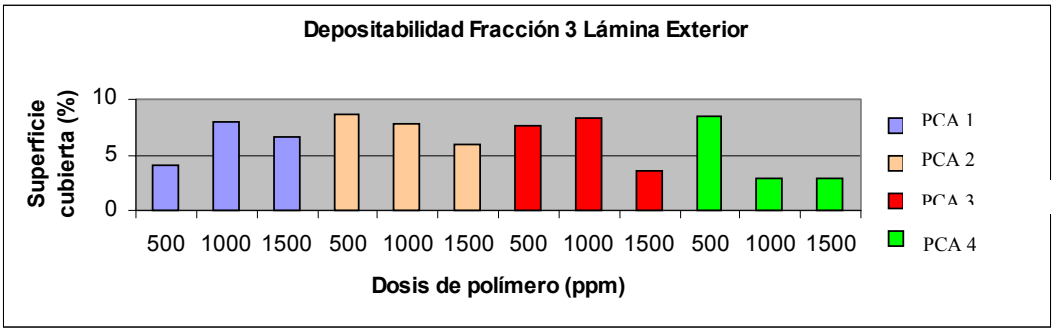
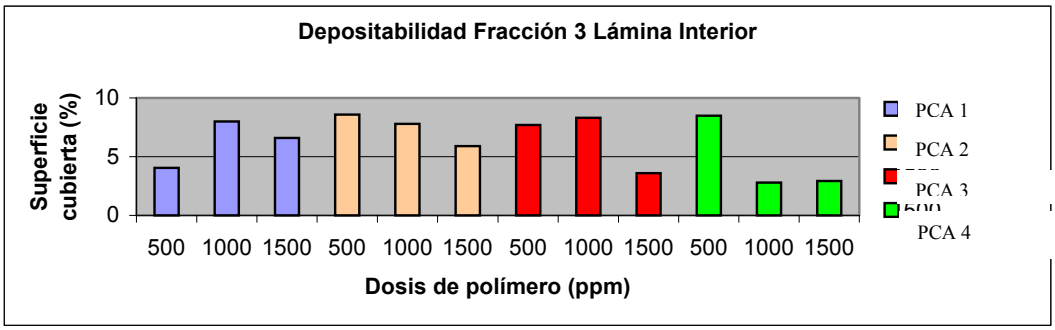


Fig. 3 Resultados obtenidos con el uso de fijadores para el control del "white pitch" para la lámina interior



En cuanto a la depositabilidad el PCA 4 es el que menos depósitos tuvo, siendo la dosis óptima 1000ppm, esto indica que además de las características físico-químicas del aditivo de desestabilización utilizado, también influyen las características de la MDC, para que se produzca su desestabilización y se formen depósitos adherentes.

Fig. 4 Resultados obtenidos con el uso de fijadores para el control del "white pitch" en cuanto a la turbidez

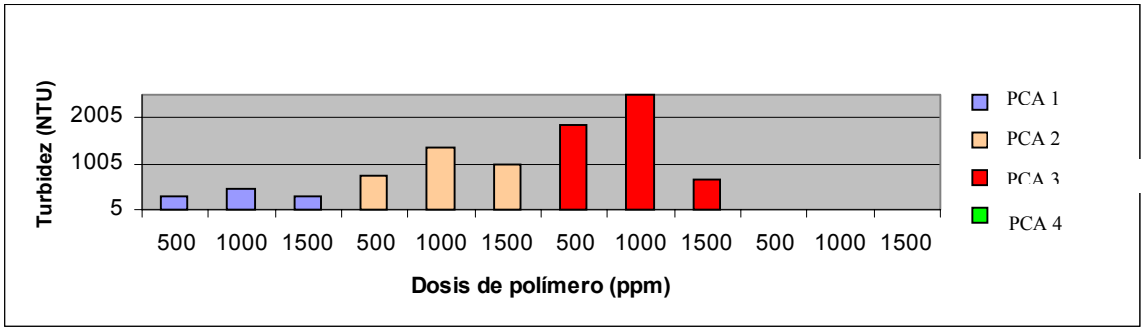
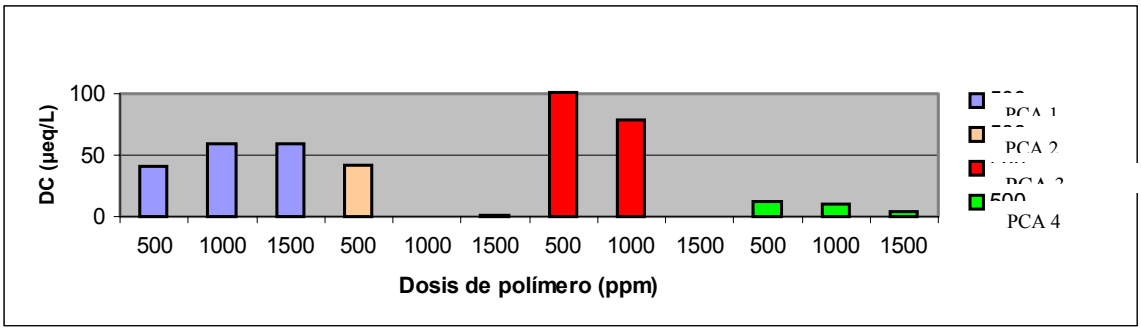


Fig. 5 Resultados obtenidos con el uso de fijadores para el control del "white pitch" en cuanto a la Demanda Catiónica



De los fijadores probados podemos decir que el PCA 2 es el más efectivo para reducir la demanda catiónica en la dosis de 1000 y 1500 ppm respectivamente y el PCA 4 es el polímero de los utilizados que disminuye apreciablemente la turbidez esto significa que la desestabilización de la MDC depende de polímero usado y de la dosis empleada.

Conclusiones

1. Para el estudio de los fijadores se trabajó a mayor consistencia con lo que se obtuvo mayor depositabilidad y con esto mayor sensibilidad para el análisis.

2. La cantidad de depósito obtenida depende del polímero que se utilice para desestabilizar la MDC y de la dosis empleada, en este caso el PCA 4 fue el agente desestabilizante más efectivo (1000 ppm); y el que más disminuye la turbidez.

3. El PCA 2 es el polímero más efectivo para reducir la demanda catiónica si lo comparamos con lo demás fijadores usados en este trabajo.

Referencias

1. A. BLANCO, C. NEGRO,J. GARCIA y J. TIJERO (1996). "Predicting the Impact of Closure the Water System in Paper Mills", 50th Appita Annual Conference. Auckland, Nueva Zelanda.
2. A. BLANCO, (1994). "Estudio de la floculación durante la fabricación del papel" Tesis doctoral, Departamento de Ingeniería Química Universidad Complutense de Madrid.
3. C. NEGRO, (1999). “Conceptos básicos de Química Coloidal”, I Curso Intensivo sobre Fabricación de Papel. Química de la parte húmeda. Curso del IPE en el Escorial. Noviembre
4. GERMAN DE FEDERICO, (1999). “Cierre de circuitos”, ”, I Curso Intensivo sobre Fabricación de Papel. Química de la parte húmeda. Curso del IPE en el Escorial.
5. C. NEGRO, A. BLANCO, I. GASPAR y J. TIJERO (1995). "El Agua en la Industria Papelera", Ingeniería Química, pp. 317.
6. E. GUSSINYER, A. BISHE, J. GUSSINYER, (1999). “Los Coloides, un Problema con Soluciones”, El papel.
7. L. BLEY, (1998). "Zeta Potential and Particle Charge Detection - a Concept for Wet-End Control", Paper Recyclability, Las Palmas de Gran Canaria, pp. 24-25.

INFLUENCIA DE LOS ACIDOS MINERALES EN LA HIDRÓLISIS DEL BAGAZO

INFLUENCES OF THE MINERAL ACIDS IN THE HYDROLYISIS OF SUGAR CANE BAGASSE

Lic. Hernández, Y.; Lic. Dopico, D.; Tec. Céspedes, M.

UIP de la Celulosa del Bagazo CUBA-9, Apartado Postal 8, Quivicán, CP 33500, Habana, Cuba
E- mail: direcc9@enet.cu

RESUMEN

En la obtención de un producto rico en lignina a partir del bagazo se realiza una hidrólisis catalizada por ácidos minerales. El catalizador mas utilizado en este proceso es el ácido sulfúrico, por la ventaja de encontrarse disponible en el mercado a bajos precios y por su elevado poder oxidante. El inconveniente de este producto es su alto poder corrosivo. Es por lo anterior que en el presente trabajo se ha estudiado la influencia de diferentes ácidos minerales, así como sus mezclas para realizar la hidrólisis, con el objetivo de obtener un producto con características similares al que se obtiene con ácido sulfúrico.
Palabras claves: bagazo, hidrólisis, lignina.

ABSTRACT

In the obtaining of a rich product in lignina from sugar cane bagasse is carried out hydrolysis catalysis by mineral acids. The most used catalizer in this process it is the sulfuric acid, due the advantage of being available in the market at low prices and its high abilitye to oxidate. The inconvenience of this product is its high corrosive power. Because of the mentioned above in the present work the influence of different mineral acids has been studied, as well as their mixtures to carry out the hyidrolysis, with the objective of obtaining a product with characteristic similar to the one that is obtained with sulfuric acid.
Key words: bagasse, hydrolysis, lignin.

INTRODUCCIÓN

La Investigación de los derivados de la caña de azúcar constituye un tema esencial para la ciencia cubana. El sector azucarero es uno de los pilares económicos fundamentales de la nación y además del azúcar, genera un gran número de residuales que aprovechándolos de forma óptima, podrían producir renglones de mayor valor que la propia azúcar. Gastón y otros (2000)

La obtención de lignina en el mundo es como residual en la industria de papel y cartón a partir de bagazo o mediante procesos hidrolíticos como son la obtención de xilitol y furfural. Ragauskas (2003)

La lignina es un material que tiene importantes aplicaciones, Cruz (2000) pues puede ser quemada para generar energía, como ocurre en la producción de pastas celulósicas; se puede convertir mediante pirólisis, hidrogenólisis, sulfonación, oxidación, entre otros, a productos de menor peso molecular tales como vainillina, dimetilsulfóxido, dimetilsulfuro, fenol y sus derivados, benceno y sus derivados y mediante carbonización en carbón activado o filtros de grafito. También puede ser usada en la producción de resinas termorrígidas, aditivos para cauchos, antioxidantes, como matriz para adsorción o intercambio iónico, adhesivos estabilizantes de emulsión, precipitantes, coagulantes, aplicaciones en suelos y fertilizantes. Venica (1997)

La situación económica generada en el país a finales del pasado siglo y que se mantiene en la actualidad tuvo un serio impacto en la industria de los derivados y en particular en la industria papelera.

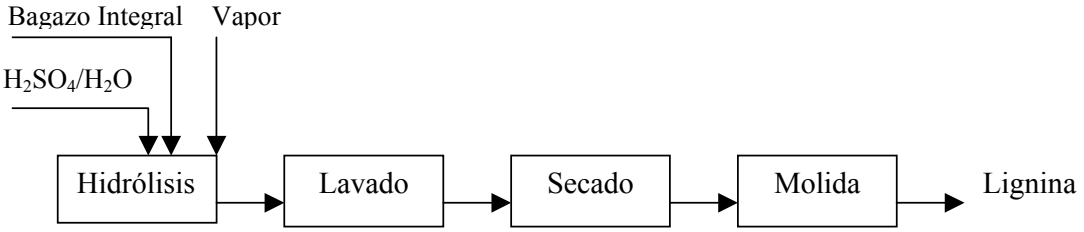
La lignina, residual de las producciones de pulpa y furfural, no se encuentra disponible libre de costo. Por tanto a mediados de la pasada década se comenzó a estudiar la posibilidad de desarrollar productos con actividad biológica, de alto valor agregado, destinados a la industria medico-farmacéutica, específicamente el tratamiento y la profilaxis de trastornos gastrointestinales en animales y estudios futuros en los humanos. Dopico (2003)

En el presente trabajo se estudió la obtención de un producto rico en lignina a partir de bagazo, realizando hidrólisis catalizada por diferentes ácidos minerales.

MATERIALES Y METODOS

El proceso por el cual se obtiene la lignina es mediante una reacción de hidrólisis ácida del bagazo con H_2SO_4/H_2O Dopico (1996) según el siguiente esquema:

FIGURA 1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DEL BAGAZO



El primer paso de la hidrólisis se llevó a cabo en un digestor rotatorio de 4 L con calentamiento indirecto. Se añadió bagazo integral, H_2SO_4 al 10% y agua, considerando un hidromódulo de 1:5. La temperatura de trabajo fue 165°C. Después de transcurrida una hora se lava el producto obtenido, se seca y se muele. Finalmente se obtuvo un producto con % de lignina entre 65-80%.

En el proceso descrito anteriormente el catalizador mas utilizado es el ácido sulfúrico por su elevado poder oxidante y la ventaja de encontrarse disponible en el mercado a bajos precios. El inconveniente de este producto es su alto poder corrosivo, es por eso que se estudió la influencia de diferentes ácidos minerales, así como sus mezclas para realizar la hidrólisis, con el objetivo de obtener un producto con características similares al que se obtiene con ácido sulfúrico.

La hidrólisis del bagazo se realizó siguiendo el esquema de la figura I primeramente con ácido acético. Se escogió este por ser un ácido débil, o sea, que comparado con el ácido sulfúrico es menos corrosivo. El proceso se realizó con ácido acético en diferentes proporciones (10 y 20%) y posteriormente con estas mismas proporciones utilizando ácido sulfúrico como catalizador.

El siguiente ácido que se utilizó fue el ácido fosfórico (10 y 20%) y se realizaron hidrólisis posteriores con ácido nítrico y ácido clorhídrico al 10%. Finalmente se continuó el estudio realizándose los experimentos con ácido sulfúrico en proporciones mas bajas que la descrita en el proceso original.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de hidrólisis ácido del bagazo se realizó primeramente con ácido sulfúrico al 10%, obteniéndose un producto con porciento de lignina entre 65-80%. Como se puede apreciar sería conveniente utilizar este ácido mineral con el objetivo de obtener un producto con altos contenidos de lignina, pero el inconveniente es su alto poder corrosivo, por lo tanto se realizaron experimentos utilizando otros catalizadores. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

TABLA I RESULTADOS OBTENIDOS UTILIZANDO DIFERENTES ÁCIDOS MINERALES

Ácidos minerales	Lignina (%)	Cenizas(%)	pH final
CH_3COOH 20%	38.8	3.8	4.6
CH_3COOH 10%	38.0	2.7	4.7
CH_3COOH 20% +cat	42.3	5.3	4.4
CH_3COOH 10%+cat	37.5	3.6	4.5
H_3PO_4 20%	44.5	3.9	3.5
H_3PO_4 10%	41.2	4.2	3.8
HNO_3 10%	36.5	3.7	4.1
HCl 10%	52.1	4.1	3.4
H_2SO_4 7%	49.3	3.8	3.5
H_2SO_4 5%	47.8	4.4	3.4
H_2SO_4 2%	42.4	4.1	3.7

Como se puede apreciar en la tabla I el porciento de lignina varía en dependencia de la fortaleza del ácido, mostrándose que los porcientos mayores de lignina se obtienen con ácido sulfúrico. Si se utiliza otro ácido (Acético), con ácido sulfúrico como catalizador, los resultados son similares a los obtenidos con ácido sulfúrico a menores concentraciones, ya que la mezcla de los mismos forma un buffer, donde se mantiene el pH entre 2-2.5 y a este valor de pH no se obtiene el producto con alto contenido de lignina. En nuestro estudio nos interesa obtener un producto con alto contenido de lignina, o sea, se debe llegar a un compromiso entre el porciento de lignina a obtener y los problemas de corrosión en los equipos producido por los ácidos que catalizan la hidrólisis del bagazo.

En esta tabla se muestra, además del contenido de lignina, el porciento de cenizas y el pH, este último se chequea con el objetivo de tener conocimiento sobre la acidez del licor para el tratamiento de los residuales del proceso. El porciento de ceniza da la medida del contenido de sales minerales presentes, una vez que ha sido eliminado el material orgánico por medio de la ignición, para de esa forma tener

seguridad de la pureza del producto, por lo tanto es objetivo de la presente investigación la obtención de un producto bajo en contenido de cenizas.

El reactor utilizado para realizar la hidrólisis ácida del bagazo es de acero inoxidable tipo 316 y a continuación se presenta una tabla donde aparecen los datos de corrosión en dicho acero, en dependencia del ácido utilizado y los porcientos. Los valores se expresan en pulgadas por año. Perry (1979)

TABLA II DATOS DE CORROSIÓN

Ácidos minerales	Corrosión a 165°C				
	10%	20%	2%	5%	7%
H_2SO_4	>0.05	>0.05	<0.02	<0.02	>0.05
CH_3COOH	<0.02	<0.02	-	-	-
H_3PO_4	<0.02	<0.02	-	-	-
HNO_3	<0.02	<0.02	-	-	-
HCl	<0.02	>0.05	-	-	-

Como se puede apreciar en la tabla II la corrosión es mayor cuando se usa ácido sulfúrico para realizar la hidrólisis, siendo en el reactor utilizado mayor de 0.05 pulgadas por año. Estos valores aparecen reportados en la literatura Perry (1979) dependiendo de la concentración del ácido y de la temperatura, pero no de la presión, y es necesario tenerla en cuenta. Para los restantes ácidos utilizados la corrosión es menor, manteniéndose el mismo valor.

Según los resultados obtenidos en la presente investigación el ácido mineral apropiado para realizar la hidrólisis del bagazo es el ácido sulfúrico al 10%, pues se obtiene un producto con las condiciones requeridas para su posterior aplicación, o sea con porciento de lignina entre 65-80%. Realizando la hidrólisis con los restantes ácidos minerales, a pesar de no ser tan corrosivos, no se obtiene un producto con las características requeridas. Además no sería económicamente factible aumentar las cantidades de otros ácidos minerales a añadir ya que el costo de producción del producto no sería competitivo.

Después del presente estudio se decide utilizar para realizar la hidrólisis el ácido sulfúrico, tomando las medidas preventivas y trabajando con extremo cuidado. Se puede tener en cuenta una alternativa que consiste en trabajar con otro equipos que estén diseñados con un material más resistente a la corrosión por ácido sulfúrico.

CONCLUSIONES

Solamente es posible obtener, por vía de la hidrólisis ácida del bagazo, un producto con elevado porciento de lignina (> 65%), usando como catalizador ácido sulfúrico; ya que con otros ácidos, a las concentraciones investigadas, no se alcanzan los parámetros de calidad preconcebidos.

El óptimo técnico-económico de catalizador (ácido sulfúrico) en esta hidrólisis es al 10 % respecto al bagazo seco.

REFERENCIAS

1. Venica, A., Cunningham, R. (1997), Transformación de Ligninas en Productos de Alto Valor Agregado, Programa CYTED. Análisis técnico económico comercial de la producción de Ligninas, pp 8-11.
2. Cruz, R. et al. (2000), VI Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña. DIVERSIFICACIÓN. Derivados de la Lignina de Bagazo. ¿Dónde Estamos? ¿Hacia Dónde Vamos?.
3. Dopico, D. et al. (1996), IV Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña. DIVERSIFICACIÓN. Obtención y Evaluación de un Enterosolbente a partir del Material Lignocelulósico.
4. Ragauskas, A. (2003), Proceeding of Sixth International FORUM of New Approaches to Lignin Promotion and Eurolignin Network. Rediscovering the Future of Lignin Chemistry. Holanda.
5. Gastón, C. Et al. (2000), Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. Bagazo, pp 29-40.
6. Perry, B., Chilton, C. (1979), Chemical Engineers Handbook tomo III, pp 23-24, 23-27.
7. Dopico, D. et al. (2003), Proceeding of Sixty International FORUM of New Approaches to Lignin Promotion and Eurolignin Network. Rediscovering the Future of Lignin Chemistry. Holanda.

OBTENCION Y CARACTERIZACION DE UN DERIVADO ANFOTERICO DE LA CELULOSA.

OBTENTION AND CHARACTERIZATION OF AMPHOTERIC CELLULOSE DERIVATIVE.

V. León*, J. Rieumont**, I. MenéndezCuesta*, P. Ortiz**, A. Abril*

*UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba 9, Pablo Noriega Apdo 8, C.P. 33500 Quivicán, La Habana
e-mail direcc9@enet.cu
**Facultad de Química, Universidad de la Habana, Zapata y G, C.P. 10400, C. Habana

Palabras claves: derivado anfotérico de celulosa, RMN, contenido de nitrógeno
Key words: amphoteric cellulose derivative, NMR, nitrogen content

RESUMEN

En el trabajo se presenta la obtención de un derivado de la celulosa, anfotérico y soluble en agua. El producto se obtuvo por modificación de la carboximetilcelulosa con clorhidrato de 2-cloroetildietilamina en medio básico.
Los grados de sustitución fueron obtenidos por estimación del contenido de nitrógeno en el producto. Las características estructurales del compuesto fueron confirmadas por RMN^{1}H y RMN^{13}C. Se estudió además, el comportamiento como polielectrolito anfótero a partir de los resultados obtenidos por viscosimetría.

ABSTRACT

In the work the obtaining of amphoteric and water soluble cellulose derivative is presented. The product was obtained by modification of carboxymethylcellulose with 2-chloroethyldiethylamine hydrochloride in basic medium.
Degrees of substitution were obtained by estimating the nitrogen content of the product. The structural characteristics of the compound were confirmed by ^{1}H-NMR and ^{13}C-NMR. The behaviour as amphoteric polyelectrolite was studied by viscosity.

INTRODUCCIÓN

Los polímeros anfotéricos poseen propiedades físico-químicas únicas, dadas por la presencia de sustituyentes aniónicos y catiónicos en la misma molécula del polímero. Estos compuestos tienen como característica común la presencia de una región isoeléctrica en la cual el compuesto es no iónico. Sin embargo, puede presentar propiedades básicas o ácidas en dependencia de las condiciones de pH del medio.
Estos materiales tienen múltiples aplicaciones, entre ellas: como resinas intercambiadoras de iones, aditivos para la industria del papel, Yoshigawa (1998) y Chen (1991), resinas de adsorción de metales pesados, componentes de cosméticos, fungicidas, tratamiento de agua, membranas, Yamauchi (1987) y como cargadores en la liberación controlada de medicamentos.
La celulosa es un polímero natural no iónico y muy abundante en la naturaleza, por lo que muchos investigadores se han dedicado al estudio de este polímero y a sus derivados Hashem (2001) y Tan (1998).
El objetivo de este trabajo es la obtención de un derivado de la celulosa anfotérico y soluble en agua, a partir de la introducción de grupos amino terciario en la carboximetilcelulosa y su caracterización físico-química mediante espectroscopia RMN^{1}H y RMN^{13}C, contenido de nitrógeno y viscosimetría.

MATERIALES Y METODOS

Obtención de Carboximetil-dietilaminoetil celulosa *(CM-DEAE celulosa).*
Para la obtención del derivado se utilizó Carboximetilcelulosa, con un grado de sustitución (G.S) de 0.6, este producto es comercializado por la firma Amtex como PE23S.
El procedimiento experimental seguido fue el siguiente:
En un reactor de acero inoxidable de 1L de capacidad se añadieron 40 g de Carboximetilcelulosa y una solución de hidróxido de sodio. La mezcla se agitó durante 30 minutos a temperatura ambiente, a continuación se añadió la cantidad de DEAE correspondiente, se elevó la temperatura a 80°C y el sistema se mantuvo bajo estas condiciones durante 1 h. Posteriormente se enfrió y se neutralizó. El producto entonces se precipitó en etanol, se filtró y se secó a 50°C durante 8 horas.
Para su caracterización, las muestras se purificaron en etanol 80%, hasta que al ensayar con nitrato de plata resultaron libres de iones cloruros.

Caracterización de CM-DEAE celulosa.

Contenido de Nitrógeno.
Se determinó el nitrógeno inorgánico por el método Kjeldahl en un equipo automático (Unidad Tecator).

Espectroscopía RMN^{1}H y RMN ^{13}C.
Las determinaciones espectroscópicas se realizaron con la muestra de menor grado de sustitución.
Para el RMN^{1}H, se tomaron 10 mg de la muestra y se trataron con una mezcla (3:1v/v) de D_2O-D_2SO_4 durante 30 minutos a 90°C. El hidrolizado fue transferido al tubo de RMN para obtener el espectro en un equipo Bruker AC-250 F a 250 MHz y 300K.
El RMN ^{13}C se realizó en el mismo equipo, pero a 62.9 MHz. En este caso se disolvieron 10 mg de muestra en 1 mL de D_2O.

Determinación de las viscosidad de las disoluciones.
En volumétricos de 100 mL, se prepararon soluciones al 0.2% de CMC y CM-DEAE celulosa respectivamente, disolviendo en cada caso 0.2 g de muestra en agua destilada y filtrando posteriormente.
Para las determinaciones se prepararon soluciones a diferentes pH. El procedimiento seguido es el reportado por Zheng (1993).
Se tomaron alícuotas de 5 mL de las soluciones anteriores y se añadieron en volumétricos de 25 mL, la fuerza iónica se mantuvo constante por adición de NaCl. Las soluciones se ajustaron a diferentes valores

de pH con NaOH ó HCl 0.1N según el caso, entonces se diluyó con agua destilada para dar una concentración final de 0.04 g/dL.
Se empleó un viscosímetro tipo Ubbelohde situado en un baño termostático a 25.00 ± 0.01°C, para determinar los tiempos de caída t_s del disolvente (agua destilada) y de las disoluciones preparadas t_c.
Con los tiempos de caída se calcularon en cada caso los valores de la viscosidad relativa, (η_r); viscosidad específica, (η_{esp}) y viscosidad reducida, (η_{red}), según las expresiones siguientes:

$$n_r = t_c / t_s$$

$$n_{esp} = n_{r-1}$$

$$n_{red} = n_{esp} / c$$

RESULTADOS

Caracterización del CM-DEAE celulosa.

Contenido de Nitrógeno: En la tabla I aparecen los resultados de las determinaciones del contenido de nitrógeno para el producto obtenido, así como los correspondientes grados de sustitución, calculados a partir de ellos.

***Tabla I** - Contenido de Nitrógeno.*

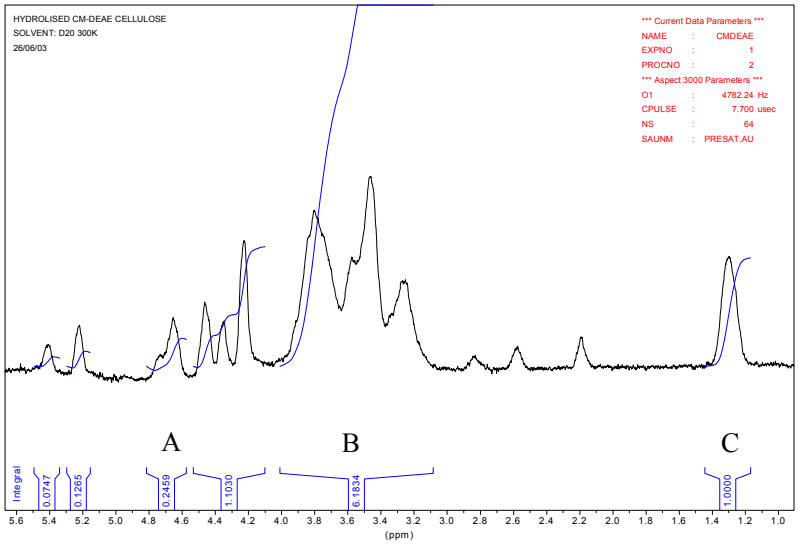
EXPERIMENTO	NITRÓGENO (%)	GRADO DE SUSTITUCIÓN
I	0.7	0.08
II	1.9	0.22

Espectroscopía RMN^{1}H: En la figura 1 se muestra el espectro RMN ^{1}H del producto con menor grado de sustitución. Asimismo en la tabla II aparecen los valores de los corrimientos químicos y la integración de las señales en dicho espectro, las que fueron asignadas atendiendo a los resultados previamente encontrados en la literatura Zheng (1993).
Como la reacción se realizó en medio básico, los grupos hidroxilos en estas condiciones se encuentran en forma de alcóxidos, reaccionando con el haluro de alquilo, según la síntesis de Williamson, para dar lugar al éter correspondiente.
El sustituyente DEAE puede anclarse a la unidad de anhidro glucosa por la posición 6 en la que hay un grupo hidroxilo primario que resulta ser un buen nucléofilo o por la posición 2 donde hay un hidroxilo que a pesar de ser secundario es más ácido, por encontrarse próximo al carbono anomérico, lo que facilita su desprotonación, favoreciéndose la sustitución en esta posición.

***Tabla II** - Corrimientos químicos e integración de las señales del espectro RMN-^{1}H del producto.*

Señal	Asignación	δ (ppm)	Integración
A	2 protones metilenos del CM	4.2-4.6	1.1
B	8 protones metilenos del DEAE y los 6 protones de la U.A.G.	3.2-4.0	6.2
C	6 protones de los metilos en el sustituyente DEAE.	1.3	1.0

Figura 1- *Espectro RMN^{1}H del CM-DEAE celulosa*

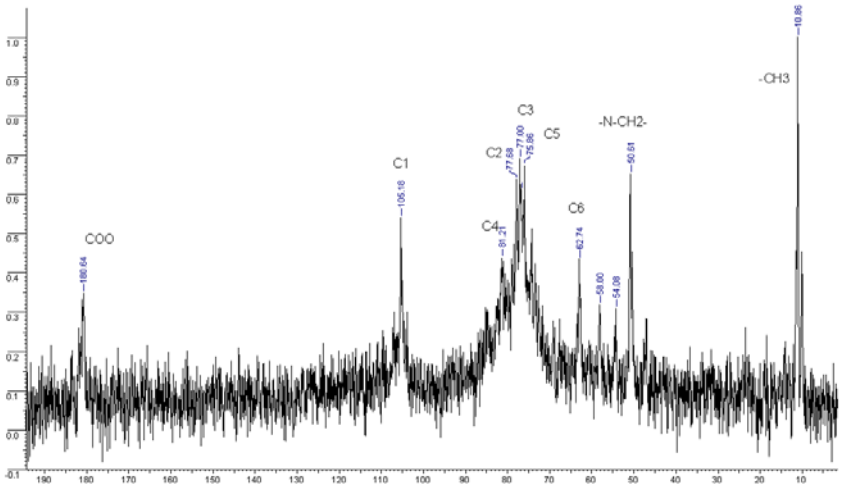


El espectro obtenido por RMN^{13}C (figura 2) no posee buena resolución, como es característico en los polímeros de alto peso molecular; sin embargo, las señales correspondientes aparecen definidas, por tanto fue posible realizar las asignaciones mostradas en la tabla III.

Tabla III *- Asignaciones en el espectro RMN^{13}C del CM-DEAE celulosa.*

ASIGNACIÓN	δ (ppm)
-COO-	180
C_1	105
C_2, C_3, C_5	75-77
C_4	82
C_6	62
-N-CH_2-	50
-CH_3	11

Figura 2- *Espectro RMN^{13}C del CM-DEAE celulosa.*



Comportamiento como polielectrolito anfótero.

En las tablas IV y V aparecen las viscosidades relativas, (η_r); específicas, (η_{esp}) y reducidas, (η_{red}), de las disoluciones de CMC y CM-DEAE celulosa en medio acuoso y en presencia de NaCl 0.1 N a diferentes valores de pH.

Dichas viscosidades fueron calculadas a través de los tiempos de caída t_c, determinados con un viscosímetro Ubbelohde, los cuales son el promedio de tres mediciones.

Con los valores de t_c y conociendo que el tiempo de caída para el disolvente fue 88 segundos, se calcularon los valores de las viscosidades que se muestran y se construyeron los gráficos de η_{red} vs pH para ambos productos, figura 3.

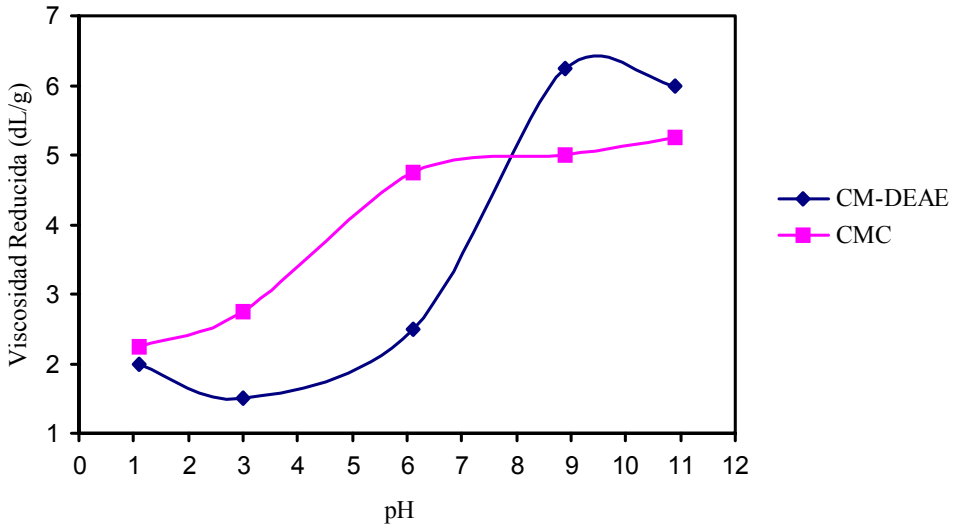
***Tabla IV** – Resultados de las determinaciones viscosimétricas en el CMC*

pH	Tiempo de caída (seg)	$\eta_{relativa}$	$\eta_{específica}$	$\eta_{reducida}$
1.1	96	1.09	0.09	2.25
3.0	98	1.11	0.11	2.75
6.1	105	1.19	0.19	4.75
8.9	106	1.20	0.20	5.00
10.9	107	1.21	0.21	5.25

***Tabla V** – Determinaciones viscosimétricas en el CM-DEAE celulosa.*

pH	Tiempo de caída (seg)	$\eta_{relativa}$	$\eta_{específica}$	$\eta_{reducida}$
1.1	95	1.08	0.08	2.00
3.0	93	1.06	0.06	1.50
6.1	97	1.10	0.10	2.50
8.9	110	1.25	0.25	6.25
10.9	109	1.24	0.24	6.00

Figura 3- Curvas de viscosidad reducida vs pH



En la figura anterior se puede apreciar que la diferencia fundamental en el comportamiento de la viscosidad reducida con el pH para el producto obtenido con relación al CMC de partida está dada por la zona de mínima viscosidad a pH 3. Este comportamiento en solución es único de polímeros anfóteros, debido a la presencia de grupos ácidos y básicos a lo largo del esqueleto macromolecular, así sus propiedades en solución están directamente relacionadas con las conformaciones que adopta la macromolécula , según su carga eléctrica neta y la fuerza iónica del medio.
En este caso el mínimo es un indicativo de que la repulsión intramolecular en este punto se hace mínima, dicho comportamiento puede ser explicado si asumimos que el derivado se encuentra en su punto isoeléctrico, en dicho caso las cargas positivas y negativas se igualan, debido a la protonación del sustituyente DEAE y a la disociación del ácido carboxílico.
Por otra parte, al aumentar el pH de 5 a 11, la viscosidad reducida se va incrementando gradualmente, esto puede atribuirse a la conversión de los sustituyentes DEAE del estado protonado al no protonado, causando un incremento en la densidad de carga negativa en la cadena del polímero, como resultado la misma se expande y su viscosidad aumenta.
A valores de pH inferiores a 3, la viscosidad reducida se incrementa, como producto de la repulsión intramolecular entre cargas positivas a lo largo de la cadena.
En el producto de partida, el CMC, la viscosidad de sus disoluciones decrece en medio ácido. Este comportamiento se explica por la asociación del anión carboxilo con el protón, reduciéndose la densidad de carga negativa a lo largo de la cadena del polímero, lo cual hace que la conformación de las macromoléculas se contraiga y por tanto la viscosidad disminuya.
Al incrementarse el pH, la viscosidad aumenta hasta un máximo alrededor de 6, lo cual se corresponde con la disociación del ácido carboxílico en aniones carboxilatos.

CONCLUSIONES

1. Se obtuvo un producto anfotérico y soluble en agua, por modificación química del CMC con grupos amino terciario.
2. Las características estructurales del CM-DEAE celulosa fueron confirmadas por RMN^{1}H y RMN^{13}C.
3. Se obtuvieron productos con grados de sustitución GS= 0.08 y GS= 0.22, calculados a partir de las determinaciones del contenido de nitrógeno.

REFERENCIAS

Ashem, A. (2001) Adsorption Science and Techn. 19,197-210.
Chen, J. (1991) China Pulp. and Paper 10, 51-54.
Tan, SB. (1998) J.Applied Polymer Sci. 69, 879-885.
Yamauchi, A. (1987) J. Membr. Sci. 32, 281.
Yoshizawa, J. (1998) J. Pulp. Pap. Sci. 24, 213-218.
Zheng, G. (1993) Seventh International Symposium on Wood and Pulping Chemistry 3, 351-356.

BASES ESTRATÉGICAS PARA LA REANIMACIÓN DE LA INDUSTRIA NACIONAL DE PANELES AGLOMERADOS

Rafael S. Molina Mancebo (*)
Narciso Peart Hechavarría (**)

(*) Unión de Investigación-Producción de la Celulosa del Bagazo "Cuba-9", Apartado 8, Quivicán, Provincia Habana, Cuba. Correo electrónico: investc9@enet.cu, direcc9@enet.cu
(**) División de Fibras, Tecnoazúcar. Calle 12 entre 3ª. y 5ª. Avenidas, Miramar, Ciudad Habana, Cuba. Correo electrónico: narciso@tecnoazucar.cu.

RESUMEN

Se da una descripción de la industria nacional productora de paneles aglomerados. Se mencionan las capacidades instaladas. Las mayores unidades son para la fabricación de tableros de partículas (*Waferboard*), y además existen dos plantas pequeñas para la producción de tableros de fibras duros (*Hardboard*). La materia prima utilizada en todos los casos es el bagazo de la caña de azúcar.

Se analiza la situación general del sector. La industria está incrementando paulatinamente el índice de aprovechamiento de la capacidad instalada. El problema principal estriba en la insuficiente disponibilidad de bagazo sobrante.

Se dan informaciones acerca del mercado doméstico y mundial, y se mencionan los principales países importadores, sobre todo en la región de América Central y del Caribe. Existe gran cantidad de aplicaciones actuales y potenciales para estos productos, que se manifiesta en el crecimiento de la demanda interna.

Se ha confeccionado un programa coherente encaminado a la reanimación de la industria. Se llevó a cabo un análisis para cada fábrica, y se ha elaborado una estrategia de incremento de la producción encaminada a la satisfacción de la demanda interna y al incremento de las exportaciones. La eficiencia económica del programa es altamente satisfactoria.

Se mencionan las soluciones para el abastecimiento de bagazo, así como los factores que pueden contribuir a la concreción de las mismas.

PALABRAS CLAVES: Tableros de fibras, tableros de partículas, bagazo, estrategia de desarrollo.

STRATEGIC APPROACH FOR THE REANIMATION OF THE DOMESTIC AGGLOMERATED PANELS INDUSTRY

Rafael S. Molina Mancebo (*)
Narciso Peart Hechavarría (**)

(*) Union of Research and Production of Bagasse Cellulose "Cuba-9", P. O. Box 8, Quivicán, Province Habana, Cuba. E mail: investc9@enet.cu, direcc9@enet.cu
(**) Fiber Division, Tecnoazúcar. 12th. Street between 5th and 3d. Avenues, Miramar, Ciudad Habana, Cuba. E mail: narciso@tecnoazucar.cu.

ABSTRACT

A description of the Cuban Panel Industry is given. Existing units are mentioned. Most of the installed capacity is for the manufacture of Particleboard (*Waferboard*). Besides, there are two small units for the production of Fiberboard (*Hardboard*). In all cases, fibrous raw material is Sugarcane Bagasse.

The status of the sector is analyzed. The industry is gradually increasing its capacity utilization rate. Main problem lies in the shortage of surplus Bagasse.

Information is given on the domestic and world market, and main importers are mentioned, emphasizing the Central America and the Caribbean Region. These panels display a wide range of present and potential uses, which is reflected by the growth of the demand.

A coherent program has been worked out aiming at the reanimation of the Industry. A mill-by-mill analysis was carried out, and a strategic approach has been outlined towards an increase in the production in order to meet the growing domestic demand and raise exports. Economic efficiency of the program is extremely satisfactory.

Solutions for the supply of Bagasse are mentioned, as well as the factors that may contribute to make them valid.

KEYWORDS: Fiberboard, Particleboard, Bagasse, Development Strategy.

BASES ESTRATÉGICAS PARA LA REANIMACIÓN DE LA INDUSTRIA NACIONAL DE PANELES AGLOMERADOS

Rafael S. Molina Mancebo (*)
Narciso Peart Hechavarría (**)

(*) Unión de Investigación-Producción de la Celulosa del Bagazo "Cuba-9", Apartado 8, Quivicán, Provincia Habana, Cuba. Correo electrónico: investc9@enet.cu, direcc9@enet.cu
(**) División de Fibras, Tecnoazúcar. Calle 12 entre 3ª. y 5ª. Avenidas, Miramar, Ciudad Habana, Cuba. Correo electrónico: narciso@tecnoazucar.cu**.**

1. INTRODUCCIÓN

La industria nacional de paneles aglomerados se basa enteramente en el bagazo de la caña de azúcar, y es administrada por el MINAZ. En total, existen 7 plantas. La capacidad instalada es del orden de 213 000 m^3/año, de la cual, 10 000 m^3 corresponden a tableros de fibras y 203 000 m^3 son de partículas. La relación de las instalaciones y su capacidad de acuerdo a los índices de diseño se listan en la **Tabla I.**

TABLA I
RELACIÓN DE LAS INSTALACIONES PRODUCTORAS DE TABLEROS DE BAGAZO

INSTALACIONES POR SURTIDO	RANGO DE ESPESOR DEL TABLERO, mm	CAPACIDAD ANUAL, MILES DE M^3
TABLEROS DE PARTÍCULAS:		
Camilo Cienfuegos	12 a 25	45
Omar Rosado	12 a 25	45
Máximo Gómez	3 a 25	72
Procuba	10 a 50	24
Maderas Técnicas (Madetec)	16 a 25	17
Sub-total tableros de partículas:		**203**
TABLEROS DE FIBRAS:		
José Oviedo (Primadera)	2,4 a 4,0	7
Jesús Menéndez (Henetec)	2,8 a 4,0	3
Sub-total tableros de fibras:		**10**
TOTAL PRODUCTOS AGLOMERADOS		**213**

Las primeras tres plantas relacionadas, que fueron montadas durante la década de los años 80 del pasado siglo, poseen una capacidad nominal de 162 000 m^3/año de tableros de partículas de un amplio rango de espesores. En general, el estado técnico de las mismas es aceptable. La instalación de mayor capacidad y flexibilidad tecnológica es la "*Máximo Gómez*". Las plantas "*Camilo Cienfuegos*" y "*Omar Rosado*" están equipadas con prensas calientes de tipo multi-platos. La unidad de tableros gruesos de la fábrica "*Máximo Gómez*" posee un sistema mono-plato.
Las cuatro plantas restantes fueron construidas antes de 1959. No obstante, entre ellas están las dos unidades productoras de tableros de fibra, de alta demanda nacional y mercado externo: "*Jesús Menéndez*" (Henetec), en Cárdenas y "*José Oviedo*" (Primadera). Solo la primera de las mismas se encuentra en operación.
Por su estado técnico y obsolescencia tecnológica, las dos instalaciones restantes para la producción de tableros de partículas (*Procuba* y *Madetec*), se encuentran paralizadas.

Durante los últimos 12 años la industria sufrió el impacto del periodo especial, la pérdida de su mercado de exportaciones hacia los países del CAME de Europa Oriental, y la depresión del mercado interno.
Por las razones anteriormente mencionadas, y fundamentalmente a causa de la insuficiente disponibilidad de bagazo, la industria de tableros se encuentra operando actualmente por debajo de su capacidad instalada.
En mayor o menor medida, todas las fábricas requieren inversiones y reparaciones capitalizables, así como estudios para el abastecimiento de bagazo, que han surgido como consecuencia de la reestructuración de que está siendo objeto la industria azucarera.

Objetivos del Programa Estratégico para la reanimación de la industria

El Programa Estratégico de Desarrollo de la industria de paneles, se propuso como metas fundamentales:

- *Identificar y proyectar el mercado interno.*
- *Descubrir las oportunidades para la exportación, mediante un Estudio de Mercado ejecutado durante el año 2002.*
- *Estimar las necesidades de capital para las inversiones y reparaciones capitalizables necesarias para poner a plena capacidad las unidades más importantes.*
- *Determinar las demandas de fibra para los objetivos propuestos, su procedencia, así como los gastos e inversiones requeridos para lograr su disponibilidad, en todos los casos, como bagazo sobrante.*
- *Proponer las prioridades y la secuencia cronológica más eficiente para la ejecución de las inversiones y reparaciones capitalizables que responden a los objetivos generales previstos, de acuerdo a las posibilidades de mercado, y en correspondencia con el impacto y eficiencia económico de los mismos, a las necesidades de capital financiero, y a la disponibilidad de materia prima fibrosa.*

2. DESARROLLO

Mercado y Demanda

A partir de un análisis del mercado interno, se proyectó la demanda doméstica a largo plazo de ambos tipos de paneles. En el caso de los tableros de partículas, la proporción de tableros desnudos se aproxima a 70 %. La proyección elaborada se muestra en la **Figura 1**. Las potencialidades de exportación se evaluaron a partir de las exportaciones que se están llevando a cabo de manera creciente, en coincidencia con la reanimación gradual de la industria, y con la información obtenida de un Estudio de Mercado.

Necesidades de capital para inversiones y reparaciones capitalizables

Mediante inspecciones y diagnósticos preparados por los técnicos y dirigentes de cada fábrica, visitas de expertos internacionales, detección de "cuellos de botella", estimados de suministradores de maquinaria, y otras fuentes confiables, se calcularon los costos estimados en inversiones fijas propias e inversiones inducidas directas (para el aseguramiento de la fibra), de las tres instalaciones productoras de tableros de partículas más modernas y de las plantas de tableros de fibras "Jesús Menéndez" (*Henetec*), "José Oviedo" (*Primadera*), y "Emilio Baltazar" (*Madetec*). En el caso de esta última, se propuso convertirla en productora de tableros de fibras. Los resultados se resumen en la **Tabla II**.
Esta información fue empleada en el análisis de comparativo de eficiencia de inversión de las plantas, y para los programas de rehabilitación de la industria en su conjunto, cuyos resultados se presentan más adelante.

Fueron incluidas inversiones inducidas en los centrales suministradores para entregar la cantidad necesaria de fibra sobrante, así como, en los casos pertinentes, para el montaje de desmeduladores, conductores, y reparación y montaje de empacadoras.

FIGURA 1

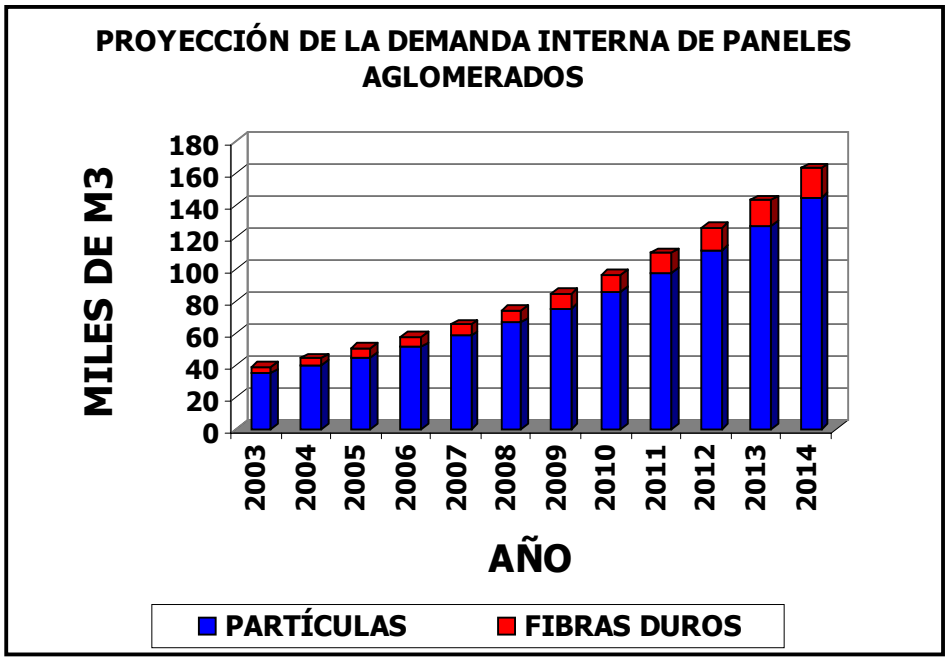


TABLA II
COSTO ESTIMADO DE LAS INVERSIONES, REPUESTOS Y REPARACIONES CAPITALIZABLES EN LAS FÁBRICAS DE TABLEROS (en miles)

PLANTA	INVERSIONES FIJAS (EN MILES)	
	TOTAL	MLC (USD)
Omar Rosado	1 842,1	1 161,1
Camilo Cienfuegos	2 631,8	1 667,3
Máximo Gómez línea monoplato	2 560,7	1 850,3
Máximo Gómez línea "Mende"	1 350,7	882,3
SUBTOTAL PARTÍCULAS	**8 385,3**	**5 561,0**
Henetec	932,5	416,8
Primadera	82,0	20,0
Maderas Técnicas	1 125,2	312,7
SUBTOTAL FIBRAS	**2 139,7**	**749,5**
TOTAL	**10 525,0**	**6 310,5**

Secuencia proyectada de los gastos de las inversiones

En una evaluación preliminar, se analizó la rentabilidad económica comparativa de la rehabilitación plena de las instalaciones, consideradas aisladamente, con la misma estructura y precios de venta y de ingresos. Esto permitió, unido a otras consideraciones, determinar la secuencia más eficiente de las inversiones, y calcular el punto de equilibrio bajo esas condiciones.
Los resultados fueron excelentes en todos los casos, lo cual confirmó, que, en caso de disponer de la cantidad necesaria de bagazo sobrante, los proyectos de rehabilitación individuales son viables.

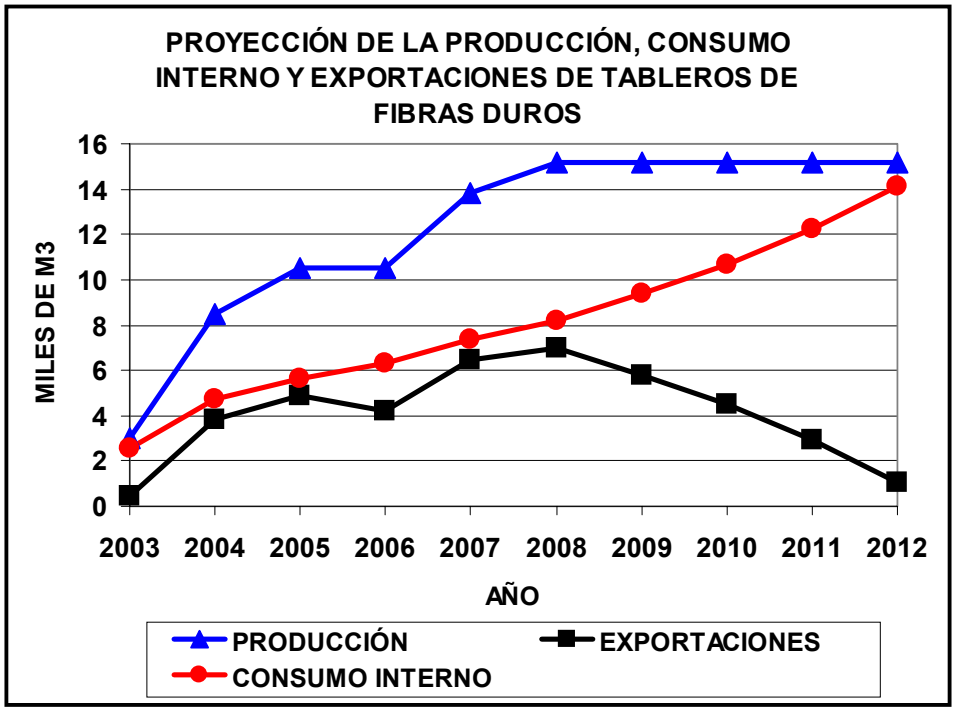
Elaboración del programa conjunto

A partir del análisis del mercado y de los resultados anteriores, se preparó una propuesta de programa de reanimación, basado en la hipótesis de ejecución secuencial de los gastos de los proyectos para cada una de las unidades que componen la industria, iniciado por las unidades más eficientes en cuanto a rentabilidad, y con la premisa de incremento paulatino de la producción hasta alcanzar operación a plena capacidad. Solamente créditos o préstamos de capital iniciales serían necesarios si se implementara el programa de esta forma.

PLANTAS DE TABLEROS DE FIBRAS DUROS

La confección del programa conjunto incluyó tres plantas. En el mismo se dio prioridad a la satisfacción de la demanda interna proyectada, como se puede apreciar en la **Figura 2**.

FIGURA 2



En su conjunto, se consideró que alrededor del 27 % de las ventas estarían destinadas a la exportación directa. La mayor proporción para este mercado se asumió durante los primeros años.
La secuencia de los gastos y la incorporación de las plantas se organizó como aparece en la **Figura 3**.

Los resultados esperados del programa se resumen en la **Figura 4**, en la cual se muestra gráficamente el flujo de fondos acumulado de la planificación financiera en moneda total y en divisas libremente convertibles, a lo largo del periodo evaluado.
Bajo las condiciones utilizadas en el análisis de rentabilidad del proyecto con financiamiento externo, el plazo de recuperación del capital y la tasa interna de retorno (TIR), fueron de 1,16 años y 496 % en moneda total, y 1,26 años y 307 % en divisas libremente convertibles, respectivamente.

FIGURA 3

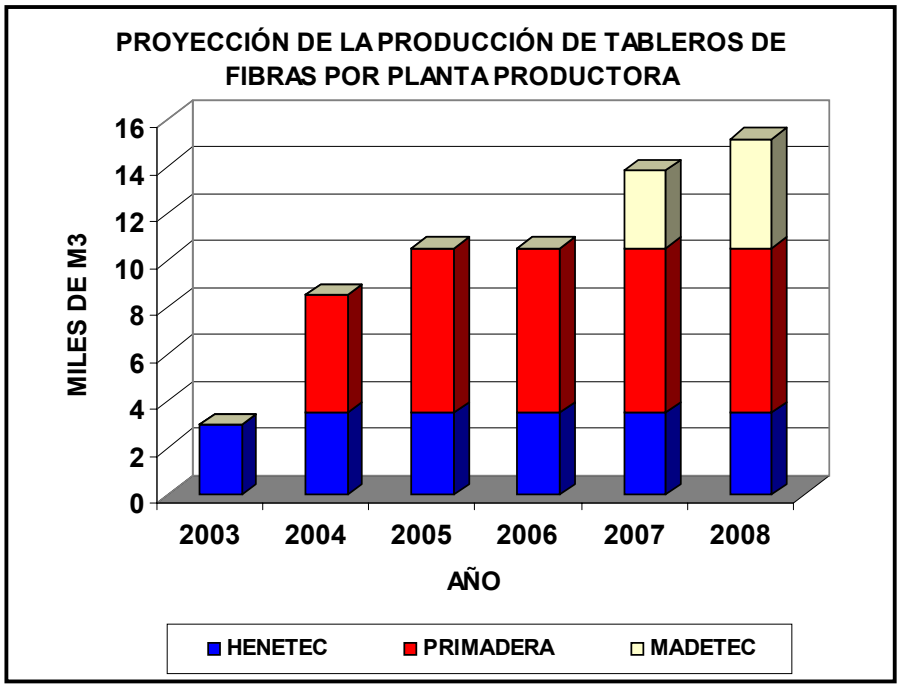
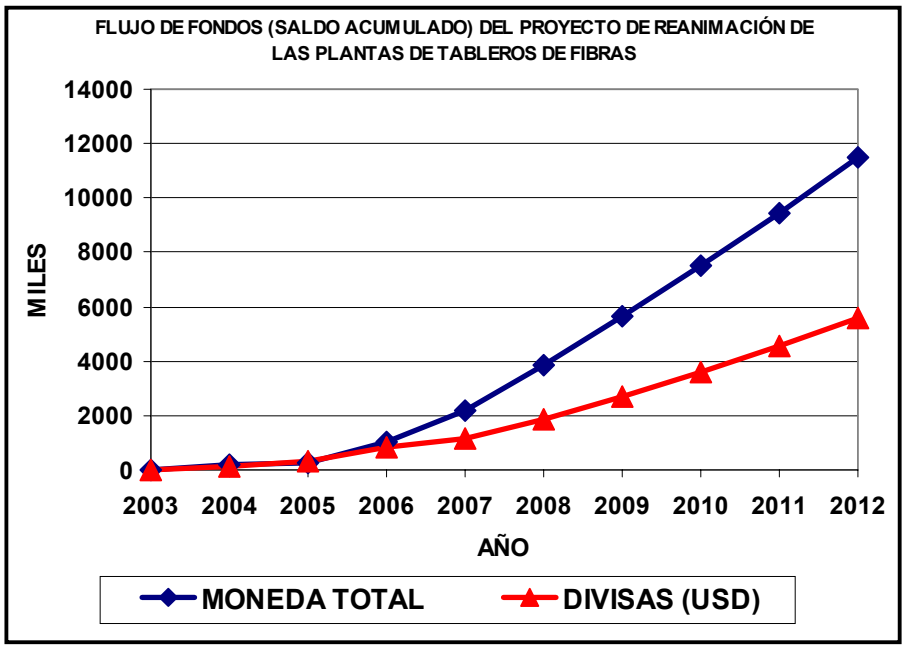


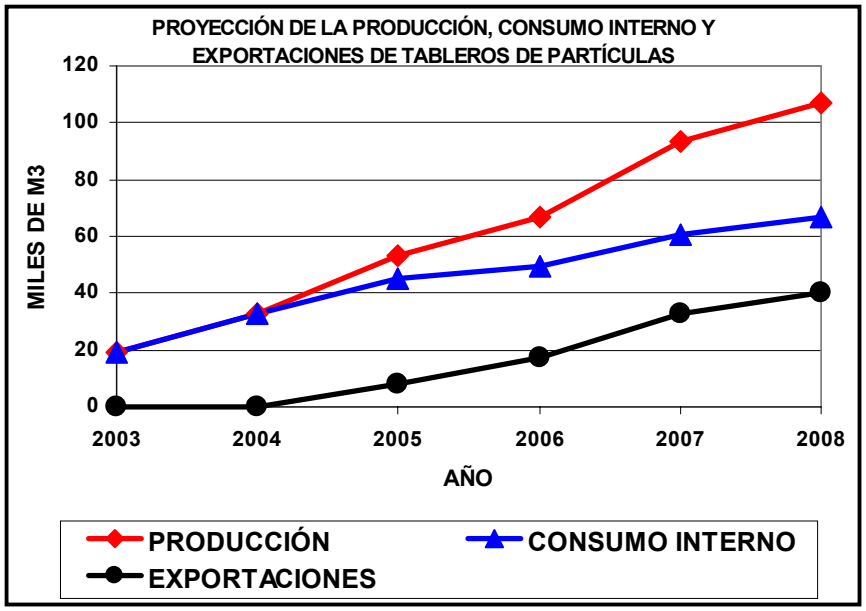
FIGURA 4



PLANTAS DE TABLEROS DE PARTÍCULAS

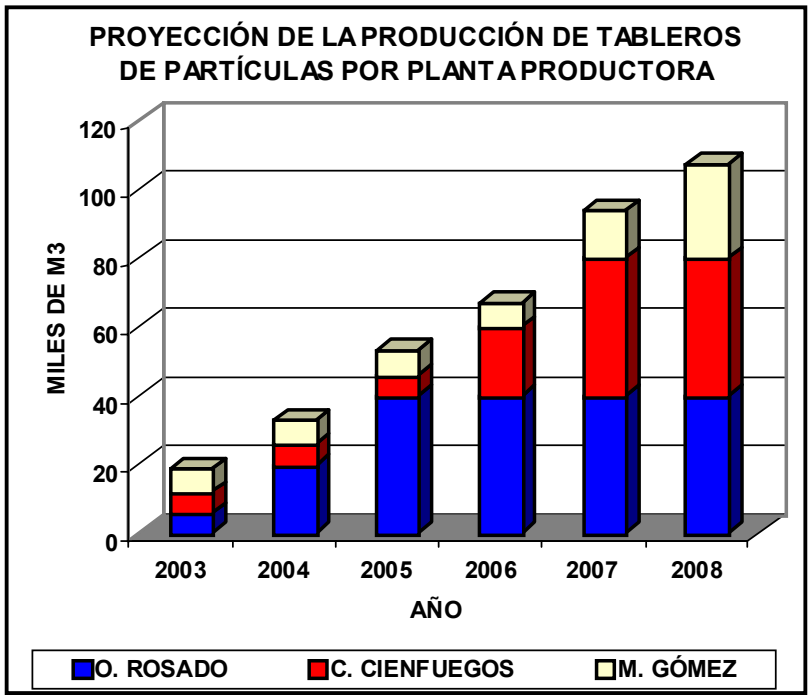
Al igual que en el caso anterior, el programa conjunto tomó en cuenta tres plantas. En la **Figura 5** se resume el resultado en términos de producción, consumo interno y exportaciones.

FIGURA 5



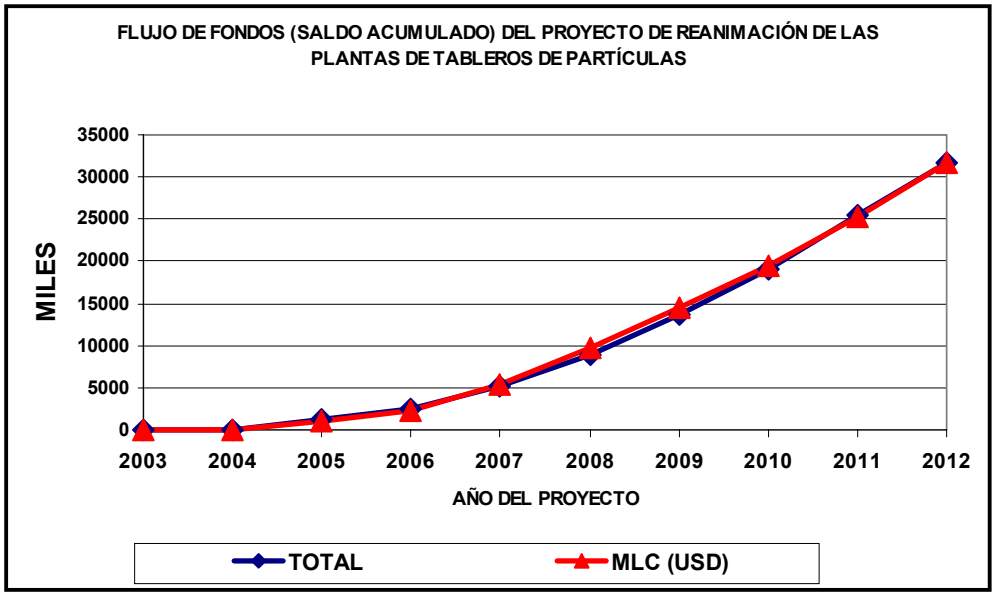
La secuencia de los gastos y la incorporación de las plantas al programa de incremento de la producción se muestra en la **Figura 6**.

FIGURA 6



En total, se previó un volumen de 16 % para la exportación directa, como tableros no convertidos. El 75 % de la producción sería recubierto.
Los resultados esperados del programa se resumen en la **Figura 7**, en la cual se muestra gráficamente el flujo de fondos acumulado de la planificación financiera en moneda total y en divisas libremente convertibles, a lo largo del periodo evaluado.
Bajo las condiciones utilizadas en el análisis de rentabilidad del proyecto con financiamiento externo, el plazo de recuperación del capital y la tasa interna de retorno (TIR), fueron de 1,07 años y 1 500 % en moneda total, y 1,06 años y 1 746 % en divisas libremente convertibles, respectivamente.

FIGURA 7



Punto de equilibrio

Tanto para las inversiones aisladas, como para los programas de rehabilitación propuestos, el umbral de rentabilidad se encuentra en todos los casos muy por debajo de la capacidad productiva de las instalaciones. El caso más favorable es en divisas directas.

Aseguramiento del bagazo

En todos los análisis efectuados, se ha partido de la premisa de empleo de bagazo sobrante. Se asumió además que los proyectos de cada planta financiarían como inversiones inducidas los gastos necesarios para incrementar la disponibilidad de esta materia prima, mejorar la eficiencia energética, implementar el aprovechamiento energético de los residuos de la cosecha, e instalar desmeduladores y empacadoras en los casos necesarios.

3. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

El Programa elaborado ha permitido demostrar que la industria nacional de paneles aglomerados puede restablecer su producción mediante reparaciones capitalizables y aseguramiento de piezas de repuesto que representan una fracción de los gastos que serían necesarios para crear nuevas capacidades de igual volumen, y que, vistos como inversiones, arrojan resultados extraordinariamente positivos.

El incremento del consumo interno de tableros de partículas permitirá abastecer la industria del mueble y otros sectores con tableros nacionales recubiertos, lo cual estimulará la reanimación de esta industria y contribuirá a satisfacer las necesidades de muebles de la población, así como sustituir importaciones de paneles que se efectúan actualmente. En el sector de la construcción, los tableros desnudos aglutinados con resinas fenólicas podrán emplearse en aplicaciones exteriores, para encofrados, revestimientos de puertas, etc. Todo esto contribuirá a reemplazar materiales como la madera, que son más costosos o pueden utilizarse en otras aplicaciones.

La ampliación de la producción de tableros de fibras duros permitiría sustituir importaciones que se efectúan actualmente en diversos sectores de la economía. Estos paneles han adquirido importancia como envases y embalajes para bebidas, licores y otros productos. De ahí la importancia que reviste incorporar más unidades a la producción de dichos paneles. El incremento en las exportaciones durante el período evaluado, contribuirá a ampliar y diversificar los mercados y a promover las posibilidades de inversiones y producciones cooperadas con socios extranjeros.

El cumplimiento de este programa depende fundamentalmente de la disponibilidad de bagazo sobrante.

4. LITERATURA

1. Molina, R. (2002). Programa Estratégico de Desarrollo de los Derivados del Bagazo.
2. Molina, R. (2002). Estudio del Mercado de Tableros de Madera y de otras materias primas vegetales.
3. Molina, R., Peart, N. (2003). Antecedentes, fundamentación, bases técnico-económicas y resultados esperados del Programa de Desarrollo de Tableros.
4. Molina, R., Peart, N. (2003). Proyectos de reanimación de las plantas de tableros de fibras y de partículas.
5. Molina, R. (2003). “Demandas de fibra de las plantas productoras de derivados y alternativas para su aseguramiento”. Primer Taller para la utilización de bagazo y residuos de la cosecha cañera. La Habana, diciembre de 2003.

USO DEL BAGAZO COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA Y ALIMENTO ANIMAL.
SUGAR CANE BAGASSE AS ANIMAL FOOD AND ENERGY ALTERNATIVE

Moreda C; Agüero C

UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba-9, apartado postal 8, Quivicán, CP 33500
Habana, Cuba, E-mail: direcc9@enet.cu

RESUMEN

La industria azucarera, en el ámbito internacional, enfrenta hoy en día una gran crisis la cual podrá superar en gran medida con la diversificación de nuevos productos de valor agregado. Esto requiere de un gran esfuerzo de asimilación y de desarrollo tecnológico
El objetivo fundamental de este trabajo, es determinar las tendencias actuales de investigación y desarrollo del bagazo de la caña de azúcar como alternativa energética y alimento animal, mediante la planificación de las actividades de: recogida, procesamiento y análisis de información.

PALABRAS CLAVES: bagazo; alimento animal; energía

SUMMARY

The sugar industry, in the international environment, faces today in day a great crisis which will be able to overcome in great measure with the diversification of new products of added value. This requires of a great effort of assimilation and of technological development
The main objective of this work, is to determine the current research tendencies and development of the sugar cane bagasse as energy alternative and animal food, by means of the planning the activities of: collection, prosecution and analysis information.

KEY WORDS: bagasse; animal feeding; energy

I. INTRODUCCIÓN.

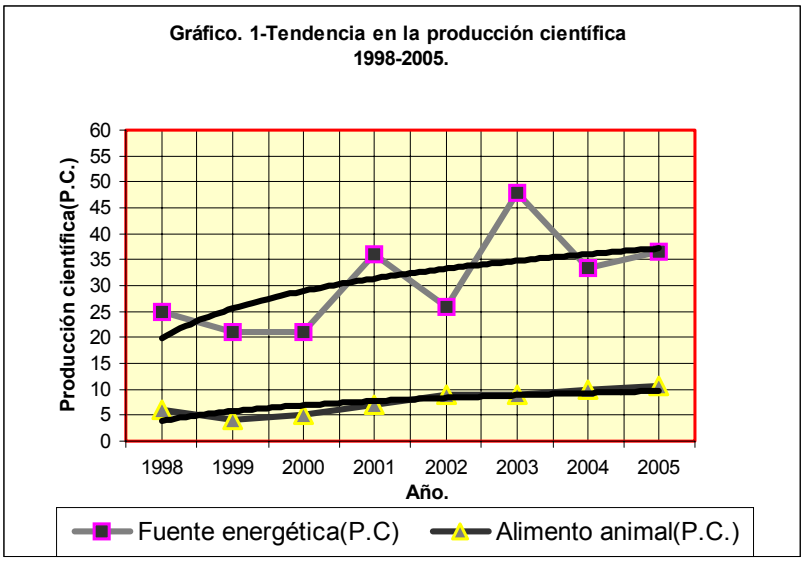
La industria azucarera, en el ámbito internacional, enfrenta hoy en día una gran crisis la cual podrá superar en gran medida con la diversificación de nuevos productos de valor agregado. Esto requiere de un gran esfuerzo de asimilación y de desarrollo tecnológico
Cuba no ajena a estos problemas mantiene como estrategia la diversificación de la agroindustria azucarera, donde el bagazo juegan un rol muy importante, debido a la gran disponibilidad de estos y amplias posibilidades de usos en esferas tan diversas de la vida moderna como: alimentación, medicina, industria química, biotecnológica, educación y energía; las cuales actualmente son satisfechas en mayor grado a partir de recursos maderables o por la vía de la petroquímica, hecho tal que conlleva a que se reduzca la disponibilidad de recursos que poseen ciclos largos de renovación y a su vez se incrementa la contaminación ambiental.
Crear productos informativos que permitan conocer las realidades y tendencias regionales y mundial de los derivados del bagazo de la caña de azúcar, mediante la planificación de las actividades de: recogida, procesamiento y análisis de información, es el objetivo general de este trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El material de partida utilizado para éste estudio ha sido el conjunto de referencias bibliográficas que tratan sobre la aplicación y/o métodos de transformación del bagazo de la caña de azúca como fuente de alimento y energía. El universo informativo correspondiente al tema, abarca el período 1998-2002 y procede de las revistas referativas Abstrac Sugar Journal (1998-2002) especializadas en los temas de interés y las bases de datos de patentes online que se encuentran en la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial tales como: EPO –Base de datos de patentes europeas(1998-2002), Espacenet—Base de datos de la Oficina Española (1998-2002), Oficina de Patentes de los Estados Unidos de América (USPTO) y CD-CIBEPAT—también patentes de europeas(1998-2002).
Después de captada la información, se procedió a la creación de una base de datos específica de las temáticas, empleando como herramientas Microsoft Excel. La base de datos fue utilizada para el tratamiento estadístico del flujo informacional y análisis cualitativo y cuantitativo
Los indicadores evaluados en el análisis del flujo fueron: Estructura del universo informativo, países, firmas u organizaciones más vinculados con las temáticas, tipos de documentos en los cuales existe mayor divulgación de las materias en cuestión y proyecciones de los temas.

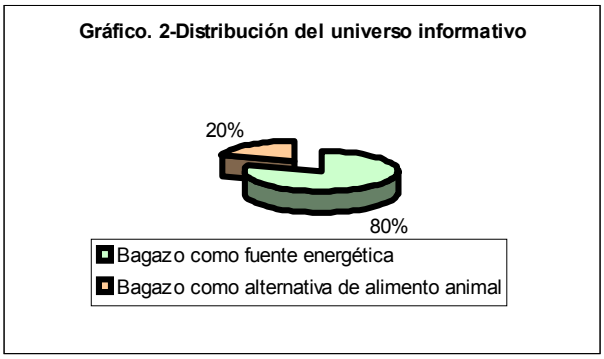
ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL UNIVERSO INFORMATIVO.

Tomando la producción científica (medida en función de la cantidad de publicaciones que aparecen en la base de datos creada) como indicador para valorar la dinámica de la actividad de investigación y de innovación tecnológica del bagazo como fuente energética y alimento animal, se puede constatar en la figura 1 que el flujo informativo correspondiente a la alternativa energética manifiesta una relativa estabilidad, desde 1998-2002. No obstante, se distingue un incremento brusco en el año 2001. Por otro lado, la expectativa futura, teniendo en cuenta la forma de la curva de tendencia que se proyecta hasta el 2005, es de un incremento módico del número de documentos publicados referido al tema energético. Con relación a la producción científica correspondiente a la alternativa del bagazo como alimento animal se percibe una mayor estabilidad, poniéndose de manifiesto en la curva de tendencia muy poca variación de la misma.

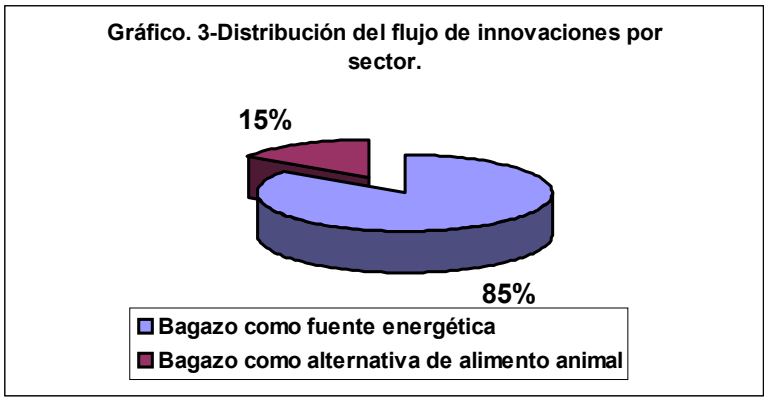


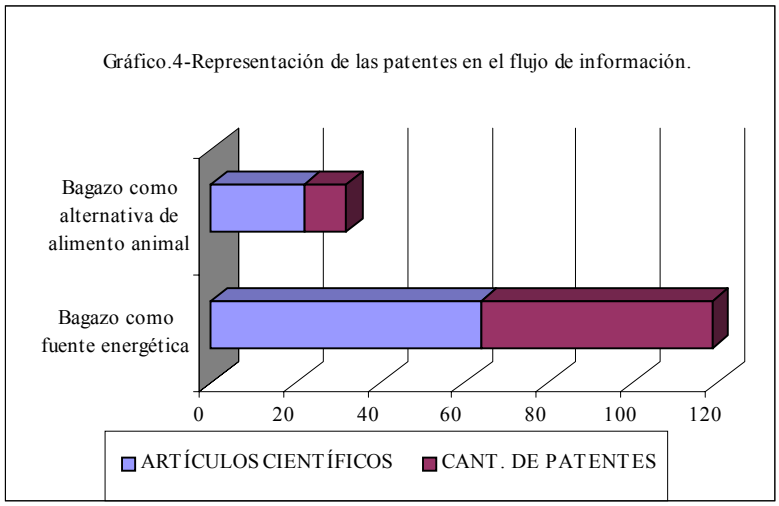
Con respecto a la distribución del universo informativo se puede comprobar en el gráfico 2 que existe un mayor flujo de información concerniente al tema energético (129 registros) con una productividad aproximada de 25.8 documentos científicos / año. En la alternativa de obtención de alimento animal a partir de bagazo sólo se recupero 32 de registros que representa una productividad aproximada de 6.4

documentos /año. La mayor producción científica y productividad en el sector energético denota su mayor interés por parte de la comunidad científica.



Como resultado de la búsqueda de información se obtuvo un total de 65 patentes de las cuales 55 pertenecen a la alternativa energética y 10 a alimento animal, en el gráfico 3 se puede constatar que el sector energético es el de mayor actividad innovadora, mientras que el alimentario sólo alcanza un 15%. De igual forma se observa (gráfico 4) que dentro del flujo informacional la actividad innovadora en el sector energético alcanza el 43%.





ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA POR PAÍSES.

En el período de estudio (1998-2002) se identificaron 25 países que trabajan en la conversión térmica de esta biomasa y sólo 10 en lo referente como fuente de alimento animal. Esto corrobora, una vez más, el mayor interés en el empleo de este recurso como fuente energética. En este sentido, se presentan en las figuras 5 y 6, los países con mayor número de publicaciones en el sector energético y alimentario para un total de 7 y 4 respectivamente.

Gráfico.5-Distribución por países de las publicaciones en el sector energético.

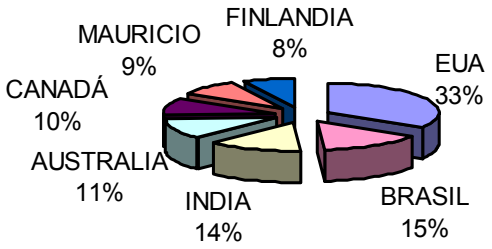
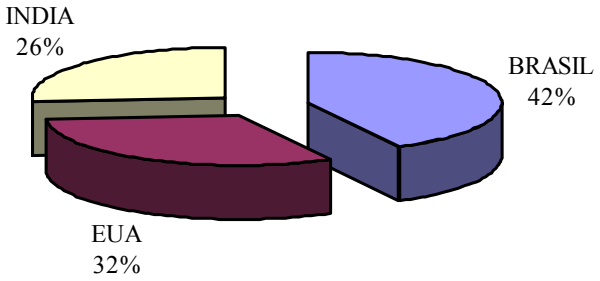
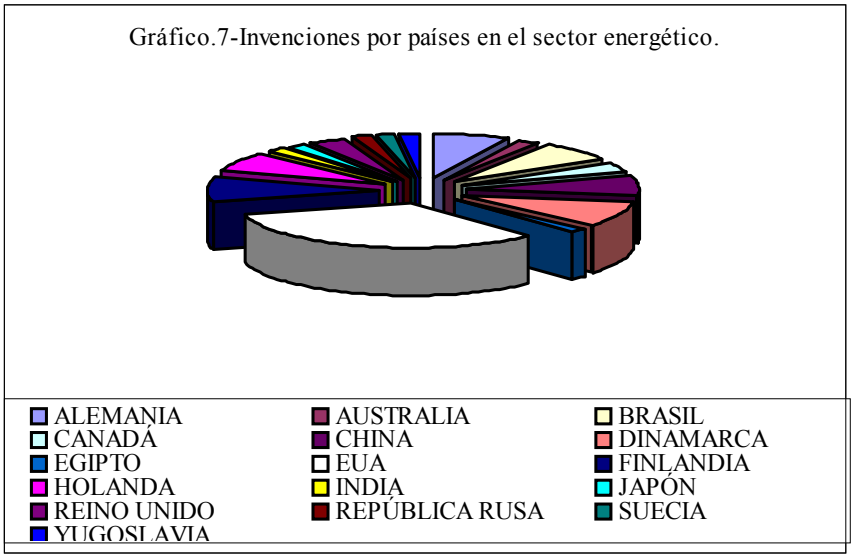


Gráfico.6-Distribución por países de las publicaciones en el sector alimentario.

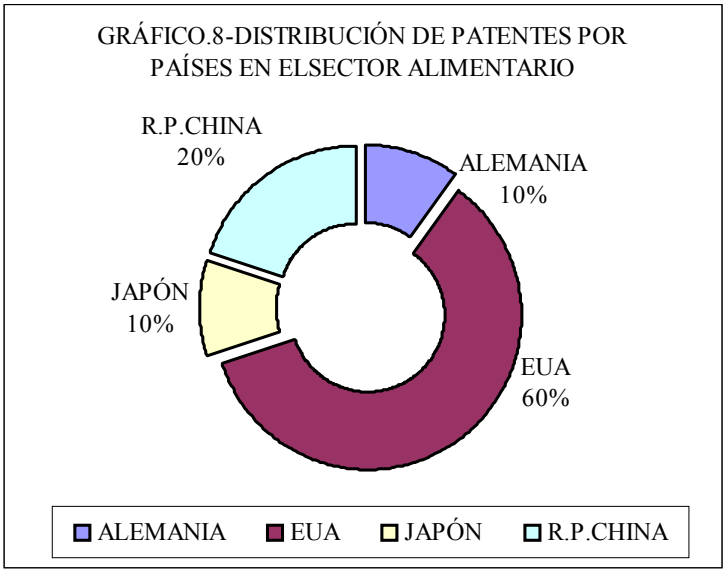


A partir de ambos gráficos se distingue como Estados Unidos de América, Brasil e India juegan un papel preponderante en el uso de esta biomasa.

Dentro del total de países que trabajan en la conversión térmica del bagazo el 64% poseen patentes registradas, destacándose las instituciones de Estados Unidos de América con un 33% del total de patentes. En este sentido, la contribución del resto de los países fluctúa entre 1y 5. En el área de América Latina el único país que reporta patente es Brasil, con 4 registros. Gráfico 7



En el universo informativo correspondiente al uso del bagazo como alimento animal, en el período de estudio, únicamente cuatro países poseen patentes registradas en el sector. Estados Unidos de América es el que mayor número posee. Gráfico 8.



PRODUCTIVIDAD DE LOS AUTORES.

EL conocimiento de este indicador es de gran importancia, pues nos permite proyectar la colaboración científica internacional y organizar nuestros eventos, bajo una base científica fundamentada, a partir de la selección de las personalidades que más se destacan en los temas seleccionados

En los universos informativos de estudio se obtuvo que el 97% de los autores son ocasionales (publicaron entre 1 y 2 trabajos en el período), el 2.3% con mediana regularidad (publicaron 3 trabajos en el período) y el 0.86 % son asiduos (con 4 o más publicaciones). A continuación se muestra la relación de los autores asiduos y medios de ambas temáticas:

PERSONALIDAD: GARCIA PINATTI DALTRO
TEMA: ENERGÉTICO
ORGANIZACIÓN: RM MATERIAIS REFRAT RIOS LTDA
PAÍS: BRASIL.

PERSONALIDAD: GUEDES SOARES, ALVARO
TEMA: ENERGÉTICO
ORGANIZACIÓN: RM MATERIAIS REFRAT RIOS LTDA
PAÍS: BRASIL.

PERSONALIDAD: SCOTT Q. TURN
TEMA: ENERGÉTICO
ORGANIZACIÓN: HAWAII NATURAL ENERGY INSTITUTE, UNIVERSITY OF HAWAII AT MANOA
PAÍS: EUA

PERSONALIDAD: DAVISON; RICHARD R.
TEMA: ENERGÉTICO
ORGANIZACIÓN:TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM (COLLEGE STATION, TX)
PAÍS: EUA

PERSONALIDAD: HOLTZAPPLE MARK T
TEMA: ENERGÉTICO
ORGANIZACIÓN:TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM (COLLEGE STATION, TX)
PAÍS: EUA

PERSONALIDAD: GRABA M, M.
TEMA: ENERGÉTICO
ORGANIZACIÓN: CENTRE FOR NEW AND RENEWABLE SOURCES OF ENERGY, DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING, ANNA UNIVERSITY,MADRAS 600 025, INDIA
PAÍS: INDIA

PERSONALIDAD: DIXON, T. F.
TEMA: ENERGÉTICO
ORGANIZACIÓN: SUGAR RESEARCH INSTITUTE AUSTRALIA
PAÍS: AUSTRALIA

PERSONALIDAD: KINOSHITA CM
TEMA: ENERGÉTICO
ORGANIZACIÓN: HAWAII NATURAL ENERGY INSTITUTE, UNIVERSITY OF HAWAII AT MANOA
PAÍS: EUA

PERSONALIDAD: LORA, EILECTO EDUARDO SILVA
TEMA: ENERGÉTICO
ORGANIZACIÓN: FACULDADE DE ENGENHARIA AGRICOLA, UNIVERSIDADE DE CAMPINAS, CAMPINAS, BRAZIL
PAÍS: BRASIL

PERSONALIDAD: HENRIKSEN, ULRIK
TEMA: ENERGÉTICO
ORGANIZACIÓN: DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET
PAÍS: DINAMARCA

PERSONALIDAD: VALINO-E
TEMA: ALIMENTO
ORGANIZACIÓN: NSTITUTO DE CIENCIA ANIMAL, APARTADO 24, SAN JOSE DE LAS LAJAS, LAHABANA.
PAÍS: CUBA.

ANÁLISIS DE LAS INSTITUCIONES MÁS PRODUCTIVAS.

El conocimiento de las organizaciones con mayor contribución de artículos científicos, resulta de gran importancia, ya que nos permite discernir cuales de ellas son las más convenientes para gestionar financiamientos, proyectos de investigación en conjuntos o asesoría técnica. En los universos informativos de estudios se destacan 7 organizaciones. A continuación se relacionan:

ORGANIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE HAWAI. HAWAII NATURAL ENERGY.
TEMA: ENERGÉTICO
PAÍS: EUA

ORGANIZACIÓN: TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM (COLLEGE STATION, TX)
TEMA: ENERGÉTICO
PAÍS: EUA

ORGANIZACIÓN: UNIVERSIDADE DE CAMPINAS, CAMPINAS
TEMA: ENERGÉTICO
PAÍS: BRASIL

ORGANIZACIÓN: UNIVERSIDADE DE SAO PAULO ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURE "LUIZ DE QUEIROZ"
TEMA: ALIMENTO ANIMAL
PAÍS: BRASIL

ORGANIZACIÓN: UNIVERSIDAD CENTRAL DE LAS VILLAS
TEMA: ENERGÉTICO
PAÍS: CUBA

ORGANIZACIÓN: MAURITIUS SUGAR INDUSTRY RESEARCH INSTITUTE, REDUIT (MAURITIUS)
TEMA: ENERGÉTICO
PAÍS: MAURICIO

ORGANIZACIÓN: SUGAR RESEARCH INSTITUTE AUSTRALIA
TEMA: ENERGÉTICO
PAÍS: AUSTRALIA

***Criterio adoptado para la selección de organizaciones destacadas es producción científica superior o igual a 4.**

PUBLICACIONES SERIADAS MÁS PRODUCTIVAS.

La evaluación de este índice tiene como objetivos aumentar la eficiencia en la selección de los fondos informativos, racionalizar los recursos económicos disponibles para la adquisición de la literatura científico-técnica y ayudar a trazar la política editorial para darnos a conocer internacionalmente en la comunidad científica.
En los universos informativos correspondientes a los sectores energético y alimento animal, se identificaron 21 y 12 títulos de revistas respectivamente. A continuación se relacionan en la tabla 1 los títulos de revistas más especializadas en los temas, teniendo en cuenta su productividad:

TABLA I – TÍTULOS DE REVISTAS QUE HAN PUBLICADO MÁS ARTÍCULOS CIENTÍFICOS SOBRE ENERGÍA Y ALIMENTO ANIMAL A PARTIR DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR.

TITULO	TÉMÁTICA
INTERNATIONAL SUGAR JOURNAL. (20 art.)	Energética
BIOMASS & BIOENERGY (8 art.)	Energética
REVISTA BRASILEIRA DE ZOOTECNIA (8 art.)	Alimento animal
CUBA JOURNAL AGRICULTURAL SCIENCE (8 art.)	Alimento animal

***Criterio adoptado para la selección de revista más productiva fue la Ley de Bradof [3]**

ANÁLISIS CUALITATIVOS DE LOS UNIVERSOS INFORMATIVOS.

SECTOR ENERGÉTICO.

La opción de cogeneración de energía eléctrica es la alternativa que más se difunde (57% del flujo informativo), haciendo énfasis en los estudios sobre la concepción integral del proceso de gasificación y pirólisis del bagazo. Particularmente, los modelos de gasificadores y la operación de estos también son incluidos en estos estudios.

En este contexto, la constitución fibrosa, amplio rango de tamaño de partícula y la gran cantidad de meollo presente en este material son sus principales características que hacen que no puedan ser utilizadas las tecnologías convencionales de gasificación y pirólisis de esta biomasa., las cuales han sido desarrolladas para madera y carbón, que emplean lecho fijo de flujo contracorriente y paralelo. La tecnología con lecho fluidizado es la sugerida como la más apropiada para el bagazo, con las alternativas de gasificadores de alta presión o atmosférico.

En este sentido, también se argumentan las reacciones más importantes que tiene lugar durante la gasificación del bagazo, así como los factores principales que definen el proceso: aire temperatura y altura del lecho. También se estudian las dificultades relacionadas con la gasificación del bagazo, tales como el flujo irregular del combustible en el lecho, el tamaño de partícula y el alto contenido de alquitrán en el gas. Sugiriendo como solución de esta última problemática el craqueo catalítico del alquitrán para un mejor funcionamiento de la turbina de gas.

Otro aspecto que acapara gran atención en la comunidad científica en lo referente al aumento de la eficiencia térmica (con vista a obtener bagazo sobrante que esté disponible para creación de vapor adicional para la producción de energía eléctrica suplementaria) es la mejora de la eficacia térmica en las calderas de bagazo mediante el incremento de la temperatura y presión de operación, utilización de precalentadores de aire, economizadores, supercalentadores y el secado del bagazo.

Aunque la obtención de etanol a partir del bagazo no es nueva, en términos de producción científica le correspondió el 26% del universo informativo. Esta temática la líderan países como Estados Unidos y Brasil. En sentido general, el alcohol es producido por un de pretratamiento de la materia prima que busca romper la estructura de la celulosa y retirar la lignina, polímero que los microorganismos degradan con dificultad. Posteriormente, a través de la hidrólisis (rompimiento molecular) son retirados los azucares simples o monosacáridos de la celulosa y hemicelulosa. Finalmente, la fermentación, la cual consiste en utilizar el líquido resultante de la hidrólisis como medio de cultivo para ser consumido por los microorganismos.

Los temas de obtención de biogas, medio ambiente, métodos de almacenamiento, software para la definición de alternativas de uso de la biomasa y celulignina catalítica como combustible en conjunto cubrió el 17% del flujo de información.

SECTOR ALIMENTARIO.

En el período de estudio el universo informativo correspondiente al uso del bagazo como alternativa para alimento animal fue poco significativo. No obstante, la tendencia de investigación en los temas tratados se circundan en la mejora de la capacidad alimenticia forrajera de esta biomasa mediante diferentes tratamientos que tienen como finalidad provocar modificaciones físico-química en la estructura del bagazo y aumento del nivel de proteína de estos. Se reportan combinaciones de diversos métodos químicos, físicos y/o biológicos, tales como: la aplicación de diferentes reactivos como hidróxido de sodio y otros álcalis en el tratamiento químico, tratamientos físicos como la molida, vapor a alta presión y radiaciones. Estos tratamientos van dirigidos, en lo fundamental, a debilitar la resistente estructura cristalina de la celulosa y a suprimir la barrera lignínica que protege a los polisacáridos del ataque enzimático de los microorganismo.

Dentro los tratamientos microbiológicos se reportan el enriquecimiento del bagazo o bagacillo con un microorganismo o mezcla de estos a través de la fermentación en estado sólido o semi-sólida, enriquecimiento del bagazo o bagacillo con nitrógeno inorgánico e hidrolizado parcialmente por el desarrollo de hongos sobre este sustrato.

Se reportan mayor cantidad de investigaciones referentes a la combinación del tratamiento químico con microbiológico. Esto pone manifiesto sus mayores perspectivas en relación a la aplicación de los físicos para el tratamiento de este residuo lignocelulósico.

CONCLUSIONES.

A partir de este estudio se destaca que los intereses comerciales y productividad tecnológica esta en el uso del bagazo con fines energético.

El uso de esta biomasa como fuente alternativa de energía térmica y en especial en la cogeneración de energía eléctrica a través de la gasificación del bagazo es la tendencia más fuerte en este sector.

REFERENCIAS.

1. Revista Referativa Abstrac Sugar Journal (1998-2002)
2. Base de datos de patente de la Oficina Europea -EPO (1998-2002)
3. Base de datos de patente de la Oficina Europea- CIBEPAT (1998-2002)
4. Base de datos de la Oficina Española- Espacenet (1998-2002)
5. Base de datos de la Oficina de los E. U .A.-USPTO (1998-2002)

VIABILIDAD ECONOMICA DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE EXCIPIENTES PARA LA INDUSTRIA FARMACEUTICA CUBANA.

ECONOMIC VIABILITY OF A PLANT OF EXICIPIENTS PRODUCTION TO THE CUBAN PHARMACEUTICAL INDUSTRY.

Pérez Díaz, D.; Medina, M.; Barrueta, T*.; García, L.; Pérez, M.

UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba-9. Apartado 8, CAI Pablo Noriega, Quivicán, La Habana, Cuba. **E-mail: directc9@enet.cu**
***Instituto de Proyectos Azucareros.** Carretera ISPJAE, Marianao, C. Habana, Cuba
E-mail: silvia@iproyaz.co.cu

RESUMEN
A través de los años se han desarrollado diversas tecnologías de obtención de productos celulósicos a partir de pulpas de madera o bagazo, obteniéndose una gama de derivados de celulosa de amplios usos y de muy alta calidad. En este trabajo se realiza el Estudio de Factibilidad Económica para la instalación en Cuba de una Planta de Excipientes para la industria farmacéutica, la cual reporta una producción anual de 300 toneladas de Celulosa Microcristalina y 48 toneladas de Acdisol, a partir de pulpa química de alta pureza. Ambos productos resultan indispensables en la obtención de tabletas medicinales, lo cual significa la sustitución de importaciones de los mencionados productos, contribuyendo con un ahorro de 600 Mil USD anuales a la economía del país.
Este trabajo ha sido realizado a partir de los resultados obtenidos a escala de laboratorio en la UIP Cuba 9 y de las pruebas de escalado realizadas en los laboratorios "Mario Muñoz" y "Reinaldo Gutiérrez". Todo lo anterior apoyado en el estudio de literaturas que tratan sobre esta temática.
Con las tecnologías desarrolladas en la UIP Cuba 9 se pueden obtener productos semejantes, en propiedades, a los de importación. El presupuesto para la inversión es de 1098 mil USD con un período de recuperación de 3,5 años, el Valor Actualizado Neto (VAN) es de 769,2 mil USD y la Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 34,5 %.
Palabras Claves: Excipientes, Factibilidad Económica, Pulpa Química.

ABSTRACT
Several technologies for obtaining cellulosic products from wooden pulps or bagasse have been developed through the years , a range of cellulose derivatives of wide uses and very high quality have been obtained. In this work the Study of Economic Feasibility for the installation in Cuba of a Plant of Exicipients for the pharmaceutical industry is carried out, which reports an annual production of 300 tons of Microcrystalline Cellulose and 48 tons of Acdisol, starting from chemical pulp of high purity. Both products are indispensable in the obtaining of medicinal pills, which means the substitution of imports of mentioned products, contributing to the economy of our country with a saving from 600 Thousand annual USD.
This work has been carried out starting from the results obtained in laboratory scale in the UIP Cuba 9 and the scale up tests that had been carried out in " Mario Muñoz" and "Reinaldo Gutiérrez" laboratories. All the above-mentioned is supported by the study of literatures refering to this thematic.
With the technologies developed in the UIP Cuba 9 similar products to those of import, according to their properties, may be obtained . The budget of the investment is 1098 thousand USD with a recovery period of 3,5 year, , the Net Present Value is 769,2 thousand USD and the Internal Rate of Return is 34,5 %.
Key Words: Excipients, Economic Feasibility, Chemical Pulp.

INTRODUCCIÓN

Durante el procesamiento de los medicamentos, la industria médico - farmacéutica nacional emplea diversos derivados de la celulosa entre los que se encuentran la celulosa microcristalina (Aglucel), con excelentes propiedades para la fabricación de tabletas medicinales, pues se emplea como aglutinante, y la celulosa entrecruzada y carboximetilada (Descel), que se utiliza como agente desintegrante de las tabletas en húmedo.

La Unión de Investigación - Producción de la Celulosa del Bagazo "UIP Cuba-9" ha logrado desarrollar la tecnología de obtención de Aglucel y Descel, excipientes indispensables en la fabricación de tabletas medicinales, con resultados satisfactorios. El escalado de la tecnología permitió la realización de las pruebas de validación requeridas donde se pudo comprobar que todas las propiedades y características de los productos sintetizados eran similares a las de los productos comerciales. Se realizaron además pruebas toxicológicas con resultados favorables.

La planta que se propone será capaz de ofertar las cantidades necesarias que satisfagan la producción nacional de medicamentos a precios inferiores a los que se brindan por los suministradores actuales, con una productividad promedio de 1,16 t/d y capacidad anual de 348 toneladas.

Cuba importa toda la Celulosa Microcristalina y el Acdisol que se utiliza en sus producciones farmacéuticas. Los principales países suministradores han sido Suiza, Brasil y China. Las firmas matrices que los producen son altamente especializadas, comercializando los mismos a muy altos precios, lo cual ha hecho difícil su adquisición por parte de Cuba en las condiciones actuales de período especial y escasez de recursos financieros.

En el estudio realizado se han considerado dos variantes productivas, a partir del mismo arreglo tecnológico. La tecnología desarrollada es simple, sostenible y no contaminante

Los objetivos que se persiguen son:

- Ampliar la gama de producciones, contribuyendo a la diversificación de la industria.
- Disminución de las importaciones.
- Ofertar las cantidades necesarias que satisfagan la producción nacional de medicamentos a precios inferiores a los que se brindan por los suministradores actuales.
- Evaluar la factibilidad económica de la inversión de una Planta para la producción de estos excipientes

MATERIALES Y METODOS

Para realizar la evaluación financiera se utilizó la Metodología vigente por el Ministerio de Economía y Planificación, con el auxilio de los programas en Excel, disponibles a tal efecto en el Dpto. de Evaluación de Inversiones del MINAZ.

Para valorar la construcción y el montaje se utilizó el sistema PRECONS**.**

Se consideró el 5% de reserva para contingencias, según lo establecido por el Ministerio de Finanzas y Precio ,el 25 % de Impuesto sobre salario y el 35% de impuestos sobre las utilidades imponibles, para la moneda total y la divisa.

Para la evaluación económica se tomó como fuente de financiamiento para la divisa y la moneda nacional las condiciones financieras que otorga el Crédito Bancario nacional, las cuales se detallan a continuación.

La divisa para el valor de la inversión, incluyendo el capital de trabajo se adquirirá con las siguientes condiciones:

Tabla I. Condiciones de otorgamiento de la Divisa

Tasa de interés Anual (%)	10.0
Plazo Máximo de devolución del Capital (Años)	3
Plazo Máximo de devolución del Capital de Trabajo (Años)	2
Período de Gracia (Años)	1

La moneda nacional será aportada por la misma vía con las siguientes condiciones:

- Un 6 % de interés anual.
- Se reembolsará en 2 años.
- 1 año período de gracia.

Las premisas fundamentales bajo las cuales se realizó la evaluación económica fueron las siguientes:

- Capacidad anual de la Planta: 300 t/año de Aglucel y 48 t/año de Descel, para una capacidad anual de 348 toneladas.
- De la producción anual de Aglucel se emplearán 42 toneladas como materia prima para obtener Descel y las 258 toneladas restantes serán comercializadas a QUIMEFA.
- La operación de la Planta se prevé para 300 días anuales, a razón de 1.16 t/día.
- El período de análisis de la Inversión es de 10 años y la evaluación se realizó en Moneda Total y Divisa.
- La Planta podrá comenzar su producción en el segundo año a plena capacidad, ya que su período de construcción es corto y su tecnología es sencilla.
- Los gastos y las ventas son constantes durante todas las anualidades.
- La operación de esta Planta estará vinculada a los servicios de la Planta de Pulpa y Papel de Cuba-9, fundamentalmente, vapor y aire comprimido.
- Se consideró como Ingreso, para el análisis financiero, el valor de la comercialización de los productos en estudio, además del valor del costo para el volumen de Aglucel que será utilizado como materia prima en la obtención de Descel.
- El valor de los equipos principales se consideró a partir de una oferta China.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Planta Multipropósito se encuentra micro localizada en Quivicán, Provincia La Habana, dentro del perímetro que limita las instalaciones de UIP Cuba 9.

La microlocalización de la planta se realizó teniendo en consideración la posibilidad de aprovechar cimentaciones existentes.

Se ha considerado un vial que da acceso a la entrada de materia prima y a la salida de producto terminado. De la misma forma existirá un camino peatonal que da acceso a la planta.

El balance de área se resume a continuación:

Tabla II. Balance de área

PARAMETRO		
Área Total	***3 876***	***m^2***
Edificaciones	673	m^2
Instalaciones descubiertas	16	m^2
Redes	359	m^2
Total Área Ocupada	***1 048***	***m^2***
Coeficiente de utilización	***27***	***%***

El desglose del presupuesto de la inversión se muestra a continuación tanto en Moneda Total como en Divisas.

Dentro del Monto Total de la Inversión se consideró como Capital Social un valor de 59.3 MUSD y 22.3 MP, que corresponde fundamentalmente a gastos de estudios, investigaciones y proyectos**.**

Tabla III. Presupuesto

Componentes	Distribución por años en Miles de Pesos					
	Totales		Año 1		Año 2	
	Total	Divisa	Total	Divisa	Total	Divisa
Inversiones Fijas	**981,0**	**815,1**	**981,0**	**815,1**	**0,0**	**0,0**
-Construcción y Montaje	422,8	291,9	422,8	291,9		
-Equipos y Maquinarias	558,1	523,2	558,1	523,2		
- Inversiones Inducidas	0,0	0,0	0,0	0,0		
-Otros						
Gastos previos a la Explotación	**325,6**	**195,1**	**313,8**	**185,3**	**11,8**	**9,8**
- Estudios e Investigaciones	91,1	55,4	91,1	55,4		
- Proyectos	76,8	4,4	76,8	4,4		
- Asesoramiento Técnico	0,0	0,0				
- Capacitación y adiestramiento	0,0	0,0				
- Puesta en Marcha	35,5	31,5	35,5	31,5		
Capital de Trabajo	119,6	88,2			119,6	88,2
Inversiones Inducidas Indirectas						
Interés	122,2	103,9	.110,4	94,1	**11,8**	**9,8**
Costo de Inversión Total	**1 426,1**	**1 098,4**	**1 294.7**	**1 000,4**	**131,4**	**98,0**

Costos de Producción.

Los costos directos se obtuvieron teniendo en cuenta los insumos necesarios para la producción de 1 tonelada de cada uno de los productos. Los costos indirectos de salario fueron calculados a partir de la propuesta de plantilla, que responde a la operación automatizada de la planta. La depreciación y el mantenimiento fueron calculados teniendo en cuenta el valor de inversión, considerándose para la depreciación una vida útil de 15 años y para el mantenimiento el 1% de su valor.

Tabla IV. Costo Total de Producción

Producto**: Producción de Excipientes**			**Cap.: 348 t**
Concepto	**Total**	**En Divisa**	**Divisa Directa**
Materias primas y Materiales	691.66	578.43	547.40
Servicios Públicos	17.12	17.12	17.12
Salario	35.23	0.00	0.00
Seguridad Social	4.93	0.00	0.00
Gastos generales de dirección	21.80	8.85	0.00
Mantenimiento y Reparación	19.62	8.20	4.51
Otros Gastos	1.24	0.51	0.14
Gastos de Distribución y Ventas	0.00	0.00	0.00
COSTOS DE OPERACIÓN	791.61	613.11	569.17
Depreciación	156.18	60.60	60.60
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN	**947.79**	**673.71**	**629.77**

Balance Anual de Utilidades.

Los precios de venta utilizados fueron estimados, de acuerdo a las fluctuaciones del Mercado, proponiéndose un precio atractivo para el cliente, tomando como referencia los precios de los productos similares. En el caso de la Celulosa Microcristalina utilizada como materia prima se considerará un valor igual al costo de producción de cada año de análisis. Teniendo en cuenta que el precio actual al cual se comercializa la Celulosa Microcristalina es de 3000 USD/t y la Carboximetilcelulosa Entrecruzada es de 8500 USD/t, proponemos los siguientes precios:

Tabla V. Costo por tonelada de producto

	Costo / tonelada	
	Moneda Total	USD
Celulosa Microcristalina	1 833.30	1 258.67
Acdisol	8 287.40	5 253.47

De aquí se deriva que el valor anual a obtener por concepto de sustitución de importaciones referido al costo /t en divisa es de 605 MUSD, de los cuales 450 MUSD, corresponden a la comercialización de la Celulosa Microcristalina. Los precios que se proponen para la venta en frontera de estos surtidos son:

Tabla VI. Precio de los productos

Conceptos	***(Pesos/t)***	
	MT	**Divisa**
Celulosa Microcristalina	3 716.67	2 733.33
Celulosa Microcristalina como materia prima	1 833.30	1 258.67
Carboximetilcelulosa Entrecruzada	9 814.25	7 851.40

El ahorro anual a obtener por concepto de sustitución de importaciones referido al precio /t en divisa es de alrededor de 100 MUSD, de los cuales 69 MUSD, corresponden a la comercialización de la Celulosa Microcristalina.

Para la producción prevista se obtiene el siguiente balance anual de utilidades.

Tabla VII. Balance anual de Utilidades

Conceptos	***Miles de Pesos***	
	MT	**Divisa**
Costo de Producción	947.79	629.77
Ingreso	1 507.62	1 135.43
Utilidad	559.83	505.66

Tabla VIII. Resultados de la Evaluación

INDICADORES	**Moneda Total**	**Divisa**
Inversión Total (MP)	**1 410.4**	**1 097.7**
VAN al 10 % (MP)	981.0	769.2
TIR (%)	33.59	34.49
PRI (años)	5.37	5.32
Capital Social (MP)	**81.6**	**59.3**
VAN al 10 % (MP)	1 029.0	793.2
TIR (%)	81.22	105.74
PRI (años)	5.12	3.19

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los indicadores obtenidos en la evaluación han tomado valores favorables que indican la factibilidad económica de la misma. La recuperación se obtiene para un período aceptable de tiempo tomando en consideración que el presupuesto es elevado en correspondencia con los ingresos que se derivan de la comercialización de los productos
- Tanto el Valor Actualizado Neto como la Tasa Interna de Retorno alcanzan, para Moneda Total y Divisas, valores que indican la viabilidad del proyecto, pues el VAN es mayor que 0 y la TIR es superior a la tasa de interés.
- El ahorro por sustitución de importaciones se estima como promedio anual de 600.0 MUSD, de ellos 450.0 MUSD corresponde al Aglucel y el resto al Descel.
- Dado que para el país la producción de Celulosa Microcristalina (Aglucel) y de Carboximetilcelulosa Entrecruzada (Descel) genera importaciones, y la construcción de la planta permitiría ahorrar por este concepto y tener la posibilidad de ampliar la gama de producciones de excipientes para la industria médico-farmacéutica, se recomienda efectuar la inversión propuesta en la medida que la misma puede ser financiada, en Moneda Total y Divisas, totalmente dentro de las fronteras del país.
- El proyecto es viable socialmente pues genera 18 nuevos empleos en una localidad deficitaria en ofertas de trabajo, ofreciendo la posibilidad a trabajadores del Sistema MINAZ en el marco de la Tarea ¨Alvaro Reynoso¨.

BIBLIOGRAFÍA

1. García L; Bordallo E.; Lopez D."; Obtencion de Microcrystalline cellulose a partir de caña de azucar", 1er Forum Tecnológico Especial del MINAZ, Cuba, 2001.
2. Manual de derivados de la caña de azúcar. Ciudad Habana, ICIDCA 3ra edición, 2000
3. Manual para la evaluación de Proyectos. ONUDI. 1983
4. Phillipp B.; Steege H."; Microcrystalline Cellulose Powers", Tappi, May 1978 vol.61, N°5.
5. Wallace W.;"Tecnology of avicel microcrystalline cellulose" Philadelphia, 1978. Boletin PH-59.

CARACTERIZACIÓN QUIMICA, FISICA Y MORFOLOGICA DE VARIEDADES DE CAÑA ENERGÉTICA Y EVALUACIÓN DE SUS POTENCIALIDADES PARA SU UTILIZACIÓN EN LA INDUSTRIA DE PULPA Y PAPEL.

CHEMICAL, PHYSICAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF VARIETIES OF ENERGETIC CANE AND EVALUATION OF THEIR POTENTIALITIES FOR THEIR USE IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY

Omar Triana*. Enma Peña*. Mavel Valdés*. Tamara Leon*. Jamilet Frías*. Amalia Cámara*. María I. Céspedes*. Antonio Vera**.

* U. I. P. Cuba-9. Apdo. 8 Quivicán, La Habana. Investc9@.enet.cu
** EPICA Sancti Spiritus

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra un estudio de la caracterización química, física y morfológica realizado a variedades de caña energética en caña planta y retoño con diferentes edades y se evalúan sus potencialidades para su utilización en la industria de pulpa y papel. Los resultados alcanzados evidencian que desde el punto de vista de sus propiedades físicas y químicas y los valores de la longitud de sus fibras entre 1,8-2 mm como promedio, son muy prometedores como fuente de fibra para la industria de los derivados. Las pulpas obtenidas y sus rendimientos entre 50-58%, superiores a pulpas obtenidas con caña azucarera y sus propiedades físico mecánicas, auguran un importante futuro para estas variedades, de ahí la necesidad de continuar profundizando estos estudios con el bagazo obtenido a partir de variedades de alto contenido de fibra.
Palabras claves: caña energética, bagazo, fibra, pulpa, papel

SUMMARY

Presently work is shown a study of the chemical, physical and morfologycal characterization carried out to varieties of energetic cane in cane plants and sprout with different ages. Its potentialities are also evaluated for its use in the pulp and paper industry. The reached results evidence that from the point of view of their physical and chemical properties as well as the average values of the fibers length between 1,8-2 mm, that they are very promising as fiber source for the sugar cane by-products industry. The obtained pulps reached 50-58% yields which are superiors to the yiels obtained other sugar cane varieties and their physico-mechanical properties, forecast an important future for these varieties. Therefore the researching on the subject will be necessary these studies with bagasse.

Key words: energetic cane, bagasse, fiber, pulp, paper

INTRODUCCION

La crisis energética actual en el mundo, los elevados precios del petróleo y la caída del precio del azúcar, hacen necesario que se le preste mayor atención a la diversificación del cultivo de la caña de azúcar y aprovechar las posibilidades de ésta, en la producción de biomasa. Las potencialidades de la caña de azúcar harían más versátil, económica e independiente a la industria azucarera, permitiendo producciones de alto valor agregado que abrirían nuevos mercados (Triana, O. 1990).

Países como Brasil, Puerto Rico y E.U.A entre otros, han obtenido resultados importantes en este sentido, sin embargo no han sido tenidos en cuenta por la tradición de ver a la caña como productora de azúcar, en unos casos y en otros por falta de apoyo financiero (Campo, R. 19982).

La caña de azúcar constituye una de las plantas de mayor capacidad para producir biomasa y la de mejor aprovechamiento de la energía solar, dado esto por su evolución al ser una planta del llamado ciclo C4, lo que la hace superar a otras plantas económicas en rendimiento agrícola (Triana, O. 1990). Las variedades de alto contenido fibrosos pueden lograr una producción de biomasa de 80-150 t/ha/año, casi el doble de las variedades normales y con un contenido de fibras del 20-25 %.

Caña Energética

Se denominan variedades energéticas a aquellos individuos, preferentemente F_1, originados de cruzamientos entre Saccharum officinarum y Saccharum spontaneum que utilizan con eficiencia la energía solar y poseen una alta producción de biomasa, tanto en tallos como en caña integral y que presentan además, un grupo de características botánicas muy favorables que las hacen aptas para crecer vigorosas en suelos de mediana fertilidad, en condiciones de secano y producen el doble de materia seca por área, que las variedades productoras de azúcar y cinco veces más la materia seca de los bosques energéticos precoces, son resistentes a plagas, enfermedades y condiciones adversas y poseen el doble de fibras que las variedades tradicionales, con aceptables contenidos de sólidos solubles y más baja humedad (Campo, R. 1998).

MATERIALES Y METODOS.

Las variedades de caña energéticas estudiadas, C190-176 y C190-178 fueron obtenidas en la EPICA de Sancti Spiritus, (UBPC Tayabacoa) con 9, 14, 16 y 18 meses de edad, caña planta y retoño. Se recolectaron tallos, de manera aleatoria para un total de 60 tallos por variedad, los que fueron molidos en molino de planta piloto para extraerles el jugo y sumergidas en agua durante 72 horas para eliminar los residuos del jugo, posteriormente fueron secados a temperatura ambiente. Los tallos secos, se desmenuzaron a mano, de los

que se separaron muestras para su caracterización microscópica, análisis químicos y producción de pulpa.

La caracterización química se realizó según las normas TAPPI y la caracterización microscópica a través de un Sistema de Análisis de Imagen acoplado a un microscopio Olympus Vanox y su procesamiento según programa Statgraphics

La cocción de la materia prima se realizó en un digestor rotatorio de 18 litros con calentamiento indirecto, productos químicos Na_2O 15%, temperatura 150 ^{0}C, hidromódulo 6:1, tiempo de mantenimiento 45 minutos. Después de lavadas las pulpas, fueron clasificadas en un clasificador Parker de laboratorio, donde también se determinó el rendimiento y se caracterizaron químicamente según las normas TAPPI.

Caracterización Papelera.

Las pulpas obtenidas en cada alternativa de cocción fueron evaluadas a escala de laboratorio mediante sus curvas de molida. Se obtuvo el punto inicial de la curva con la pulpa desfibrada en un desintegrador de laboratorio. Se formaron hojas de prueba de 75 g/m2 de peso básico en un formador estático de tipo Rapid-Kothen según norma ISO 5269/2: 1980

La molida de las pulpas para obtener el resto de los puntos de las curvas se efectuó en un molino de laboratorio PFI hasta 3 000, 6 000, 8 000 y 10 000 rpm, según la norma ISO 5264/1: 1979. Para cada punto de molida se les determinó la drenabilidad por el método Schopper-Riegler, según la norma ISO 5267/1: 1979 dando 25, 35, 45, 55 ^{0}SR, después se formaron las hojas de pruebas, las que fueron acondicionadas y probadas a 50 % de humedad relativa y 23 ^{0}C de temperatura, de acuerdo a la norma ISO 187-90. Los resultados de las pruebas físicas fueron procesados según programa STATGRAPHICS. PLUS.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las variedades de caña estudiadas, cosechadas de forma integral contienen un 70 % de bagazo y pueden llegar a producir hasta 60 toneladas de materia seca por hectárea anualmente, valor superior a las 20 toneladas por hectárea que reportan los bosques energéticos más eficientes.(Colectivo de autores 2002)

En la tabla No 1 se muestran los resultados obtenidos en la caracterización química de estas variedades, donde se observa un comportamiento relativamente estable en los valores obtenidos en su composición, tanto entre una misma variedad con igual edad, que entre las dos variedades de caña energética a edades diferentes.

TABLA No I CARACTERIZACION QUIMICA

ANÁLISIS %	VAR C-176 9 m	VAR C-178 9 m	VAR C-176 18 m	VAR C-178 18 m	VAR C-176 16 m	VAR C-178 16 m	VAR C-178 14 m(r)
CELULOSA	44,5	45,2	44,1	45,4	46,4	46,4	47,4
LIGNINA	22,1	22,2	21,2	21,1	22,4	21,5	22,3
CENIZAS	0,83	1,2	1,2	1,4	0,5	0,7	0,04
Fe ppm	29,5	23,7	-	-	56,4	55	46,7

Los resultados alcanzados en los estudios morfológicos donde se determinó fundamentalmente los parámetros biométricos relacionados con la longitud de fibra de las variedades de caña energética se muestran en la tabla No 2.

TABLA No II CARACTERIZACION MORFOLOGICA DE LAS FIBRAS DE LAS VARIEDADES DE CAÑA ENERGETICA

PARAMETRO (mm)	VAR C-176 9 m	VAR C-178 9 m	VAR C-176 18 m	VAR C-178 18 m	VAR C-176 16m	VAR C-178 16m	VAR C-178 14m®
Long. de Fibra	2,03	2,05	2,09	2,01	2,3	1,8	1,8

La longitud promedio de las fibras están entre 1,8 - 2 mm, valor este que se alcanza a partir de los 9 meses y se mantiene hasta los 18 meses, lo que corrobora otros resultados alcanzados en estudios anteriores, donde con el crecimiento se incrementan las fibras de mayor longitud por el alargamiento de las mismas, hasta un momento, por lo que la longitud promedio tiende a mantenerse estable a partir de una edad. Los valores de la longitud promedio, son superiores a los obtenidos en las variedades productoras de azúcar (1,5 mm) y similares o superiores a los valores reportados por la literatura para las maderas duras.

(Haya 1,5 mm, Eucaliptus globolus 1.0 mm) (Triana, O. 1990).

Los resultados de la caracterización química de las pulpas se muestran en la tabla No 3.

TABLA No III CARACTERIZACION QUIMICA DE LAS PULPAS

PARAMETRO %	VAR C-176 9 m	VAR C-178 9 m	VAR C-176 18 m	VAR C-178 18 m	VAR C-176 16 m	VAR C-178 16 m	VAR C-178 14 m(r)
REND. HASTA LAVADO	70,1	72,6	67	69,5	62	62	60,3
REND. TOTAL	55,7	56,4	53,9	58,4	52,6	50	54
CELULOSA	72,1	71,0	73,9	70,5	72,7	74,6	69,0
LIGNINA	2,7	2,6	1,5	1,2	2,05	2,2	2,3
CENIZAS	1,1	1,7	1,8	1,3	1,7	1,4	1,9
F_e ppm	61,8		20,7	44	20,5	28,7	10,5
No. Permanganato	11,6	11,9	13,3	9,7	11,8	9,9	10,6

Los valores de celulosa en ambas variedades están en el orden del 70 %, mientras que la lignina 1-2 % resultados estos que comparan con pulpas similares, obtenidas a partir de bagazo de caña azucarera.

Con el régimen de cocción empleado se obtuvieron pulpas químicas de rendimientos relativamente altos, entre 50-58 % superiores a los rendimientos obtenidos con pulpas de cañas azucarera (40-50 %). Se destaca que no se observan diferencias significativas en las respuestas ante la cocción entre estas variedades y los valores de cenizas están afectados por el hacho de estar trabajando con caña integral, donde abunda el meollo.

La longitud promedio de las fibras en las pulpas se muestran en la tabla No 4, estando entre 1,6 -1,9 mm, valores estos muy prometedores comparados con pulpas producidas a partir de bagazo caña azucarera (0,9 mm).

TABLA No IV CARACTERIZACION MORFOLOGICA DE LAS PULPAS

PARAMETRO (mm)	VAR C-176 9 m	VAR C-178 9 m	VAR C-176 18 m	VAR C-178 18 m	VAR C-176 16m	VAR C-178 16 m	VAR C-178 14 m
Longitud de Fibras	1,6	1,6	1,7	1,9	1,6	1,6	1,6

<u>TABLA No V</u> PROPIEDADES FISICO-MECANICAS VARIEDAD C190-176
(18 meses)

Propiedades	**0 rev. (15^0SR)**	**3000rev. (25^0SR)**	**6000rev. (35^0SR)**	**8000rev. (45^0SR)**	**10000rev. (55^0SR)**
Gramaje (g/m^2)	75±2	72±3	73±2	73±1	72±1
Calibre (mm)	0.160±0.004	0.143±0.006	0.142±0.006	0.142±0.005	0.147±0.002
I. Estallido ($kPam^2/g$)	0.8±0.2	1.9±0.2	2.2±0.1	2.9±0.2	3.1±0.2
I. Rasgado (mNm^2/g)	5.5±0.7	6.1±1	6.0±0.4	5.7±0.3	5.6±0.3
I. Tensión (Nm/g)	23±6	41±6	45±7	48±4	48±6
Elongación (%)	0.8±0.3	1.7±0.4	2.0±0.5	2.4±0.5	2.4±0.4

<u>TABLA No VI</u> PROPIEDADES FISICO-MECANICAS VARIEDAD C190-178
(18 meses)

Propiedades	**0 rev. (15^0SR)**	**3000rev. (25^0SR)**	**6000rev. (35^0SR)**	**8000rev. (45^0SR)**	**10000rev. (55^0SR)**
Gramaje (g/m^2)	73±3	78±2	77±4	72±2	73±2
Calibre (mm)	0.170±0.001	0.154±0.003	0.145±0.005	0.145±0.004	0.138±0.007
I. Estallido ($kPam^2/g$)	0.6±0.09	2.2±0.2	2.7±0.2	3.2±0.5	3.3±0.4
I. Rasgado (mNm^2/g)	5.7±0.3	6.1±0.5	6.0±0.3	5.6±0.4	5.5±0.6
I. Tensión (Nm/g)	17±6	45±5	46±5	55±7	56±7
Elongación (%)	0.5±0.3	2.2±0.4	2.1±0.6	2.3±0.3	2.2±0.3

TABLA No VII PROPIEDADES FISICO-MECANICAS VARIEDAD C190-176

(9 meses)

Propiedades	**0 rev. (15^0SR)**	**3000rev. (25^0SR)**	**6000rev. (35^0SR)**	**8000rev. (45^0SR)**	**10000rev. (55^0SR)**
Gramaje (g/m^2)	76±2	73±2	76±4	69±2	73±2
Calibre (mm)	0.168±0.005	0.140±0.01	0.136±0.004	0.142±0.002	0.141±0.003
I. Estallido ($kPam^2/g$)	1.4±0.1	3.0±0.1	3.1±0.2	3.8±0.1	4.1±0.2
I. Rasgado (mNm^2/g)	6.4±0.5	6.1±0.7	6.0±0.8	5.7±0.3	5.6±0.5
I. Tensión (Nm/g)	34±4	54±6	52±5	54±5	58±6
Elongación (%)	1.3±0.3	2.3±0.5	2.1±0.4	3.0±0.4	3.2±0.5

TABLA No VIII PROPIEDADES FISICO-MECANICAS VARIEDAD C190-178

(9 meses)

Propiedades	**0 rev. (15^0SR)**	**3000rev. (25^0SR)**	**6000rev. (35^0SR)**	**8000rev. (45^0SR)**	**10000rev. (55^0SR)**
Gramaje (g/m^2)	76±2	78±2	76±4	73±1	76±2
Calibre (mm)	0.180±0.004	0.160±0.003	0.155±0.004	0.143±0.002	0.145±0.005
I. Estallido ($kPam^2/g$)	1.0±0.09	2.6±0.1	2.6±0.1	2.8±0.2	2.9±0.07
I. Rasgado (mNm^2/g)	5.3±0.4	6.1±0.3	5.9±0.2	5.7±0.3	5.6±0.6
I. Tensión (Nm/g)	18±5	38±6	46±5	49±7	50±5
Elongación (%)	0.9±0.3	1.9±0.5	2.0±1	2.9±0.6	3.1±0.5

<u>TABLA No IX</u> PRIPIEDADES FISICO-MECANICAS VARIEDAD C-i 90 -178
Retoño.(14 meses)

Propiedades	**0 rev. (20^0SR)**	**3 000rev. (30^0SR)**	**6 000rev. (40^0SR)**	**8 000rev. (50^0SR)**	**10 000rev. (60^0SR)**
Gramaje (g/m^2)	76±2	76±2	77±4	77±3	72±2
Calibre (mm)	0.175±0.004	0.155±0.006	0.158±0.004	0.165±0.004	0.145±0.004
I. Estallido ($kPam^2/g$)	1.00±0.09	1.8±0.2	2.6±0.2	2.6±0.3	2.7±0.1
I. Rasgado (mNm^2/g)	6.3±0.5	6.52±0.08	6.2±0.3	6.5±0.8	6.5±0.5
I. Tensión (Nm/g)	18±5	39±5	43±5	47±7	45±5
Elongación (%)	0.7±0.3	1.7±0.4	1.9±0.4	2.5±0.8	2.5±0.4

<u>TABLA No X</u> PROPIEDADES FISICO-MECANICAS VARIEDAD C-190 178

(16 meses)

Propiedades	**0 rev. (20^0SR)**	**3 000rev. (30^0SR)**	**6 000rev. (40^0SR)**	**8 000rev. (50^0SR)**	**10 000rev. (60^0SR)**
Gramaje (g/m^2)	75±3	72±1	75±3	75±6	79±1
Calibre (mm)	0.165±0.005	0.147±0.004	0.147±0.003	0.153±0.005	0.146±0.003
I. Estallido ($kPam^2/g$)	1.4±0.1	2.7±0.2	3.6±0.09	3.4±0.4	3.7±0.2
I. Rasgado (mNm^2/g)	6.4±0.5	7.4±0.7	6.9±0.4	6.7±0.6	7.0±1.0
I. Tensión (Nm/g)	21±4	41±6	51±5	53±7	55±5
Elongación (%)	1.1±0.3	2.1±0.6	3.6±0.9	3.4±0.9	2.8±0.4

TABLA No XI PROPIEDADES FISICO-MECANICAS VARIEDAD C-190 176.

(16 meses)

Propiedades	**0 rev. (20^0SR)**	**3 000rev. (30^0SR)**	**6 000rev. (40^0SR)**	**8 000rev. (50^0SR)**	**10 000rev. (60^0SR)**
Gramaje (g/m^2)	74±2	78±2	74±1	76±2	72±2
Calibre (mm)	0.180±0.004	0.160±0.002	0.150±0.003	0.147±0.004	0.142±0.005
I. Estallido ($kPam^2/g$)	1.9±0.1	3.3±0.1	3.5±0.3	3.4±0.1	3.4±0.2
I. Rasgado (mNm^2/g)	6.2±0.2	6.7±0.5	6.6±0.2	7.3±0.7	7.0±0.7
I. Tensión (Nm/g)	25±4	45±5	53±5	51±4	51±6
Elongación (%)	1.2±0.4	2.1±0.4	3.0±0.7	2.5±0.4	2.3±0.6

Las tablas de la V-XI muestran el comportamiento de las pulpas obtenidas durante la molida. En general los valores de las propiedades de resistencia corroboran las potencialidades de estas pulpas para la producción de papel. Los valores del rasgado, propiedad ésta, relacionada directamente con la longitud de la fibra, se corresponde con las propiedades biométricas de la materia prima. También se aprecia un incremento en la elongación, en los índices de estallido y tensión, aunque se recomienda no refinar a más de 45 ^{0}SR, ya que se reduce el rasgado expresado como índice. La refinación a valores muy alto de molida puede conllevar a la disminución de la longitud promedio por el acortamiento de las fibras. Tabla No. XII (Valdés, M. 1993)(Rivero, J. 1994)(Triana, O. 2002).

TABLA No XII CARACTERIZACION MORFOLOGICA DE LAS PULPAS CON DIFERENTES GRADOS DE MOLIDA

PARAMETRO	C-176				C-178			
	9 meses				9 meses			
	25^0SR	35^0SR	45^0SR	55^0SR	25^0SR	35^oSR	45^0SR	55^oSR
long.Prom	1,6	1,6	1,6	1,4	1,5	1,5	1,5	1,4
	18 meses				18 meses			
long.Prom	1,8	1,6	1,6	1,5	1,6	1,5	1,4	1,3
	16 meses				16 meses			
long. Prom	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6	1,5
					RETOÑO			
					14 MESES			
long. Prom					1,6	1,6	1,5	1,5

Estas variedades pueden reportar importantes fuentes de fibra para realizar formulaciones para la producción de determinados tipos de papeles.

CONCLUSIONES

- Desde el punto de vista químico y morfológico las variedades estudiadas muestran valores prometedores para su utilización como fuente fibrosa para la industria de celulosa y papel, siendo necesario continuar la caracterización de nuevas variedades de caña energética y variedades azucareras para su comparación.
- Los estudios de pulpeo realizados con estas variedades y los rendimientos alcanzados, evidencian la necesidad de continuar profundizando estos estudios con el bagazo obtenido de variedades energéticas.
- El uso de variedades de caña energética sería una buena alternativa para el proceso de diversificación de la industria azucarera, sobre todo para la producción de papel, de ahí la importancia de continuar el estudio de diferentes formulaciones a partir del bagazo obtenido de estas variedades.

BIBLIOGRAFIA

1.- Triana, O., et. al. Atlas del Bagazo de la Caña de Azúcar. Cuba-9. GEPLACEA. PNUD. ICIDCA . México D.F. 1990.

2.- Campo, R., et. al. Variedades energéticas de caña de azúcar: Una solución a la biomasa del presente y el futuro. Cuba & Caña (10-13) No. 1, La Habana . Cuba. 1998

3.- Valdés, M., et .al. Evaluación Papelera de fibras. Informe interno. UIP Cuba-9. 1993.

4.- Rivero, J. et. al. Papel para sacos a partir de pulpa química. Informe Interno. UIP Cuba-9. 1994.

5.- Triana, O. et. al. Caracterización de dos variedades de caña energética y evaluación de sus potencialidades papeleras. Informe Interno. UIP Cuba-9. 2002.

6.- Colectivo de autores. Resultados preliminares de la molida de caña energética realizada en el CAI Melanio Hernández durante la zafra del 2002. Mayo 2002. Sancti Spíritus.

SECUENCIA DE BLANQUEO OZP EN PULPAS QUÍMICAS DE BAGAZO
OZP BLEACHING SEQUENCE ON BAGASSE CHEMICAL PULPS

Dr. Eduardo Barquinero González
Ing. Juan Fernández Rodríguez

UIP Cuba-9
Apdo. 8 Quivicán, La Habana
investc9@enet.cu

RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos mediante el blanqueo en tres etapas a escala de laboratorio de una pulpa química de bagazo usando una secuencia del tipo (oxígeno – ozono – peróxido de hidrógeno) con el objeto de sustituir el empleo tradicional del cloro y sus derivados en dicha operación y evitar de esa manera la producción de efluentes altamente contaminados en términos de toxicidad y DBO muy difíciles de tratar por vía externa y de recircular.
Para le ejecución de los experimentos se partió de una pulpa química de bagazo, inicialmente deslignificada con oxígeno, la cual fue objeto de un estudio previo de variables para finalmente ser sometida a un diseño de experimentos 2^3 cuyas variables fueron; carga de ozono, carga de peróxido de hidrógeno y tiempo para esta última.
Los resultados obtenidos muestran la posibilidad de lograr pulpas blanqueadas con niveles de brillantez entre 85 y 89 % ISO sin afectación sensible de la viscosidad.
Se observa igualmente que sobre la propiedad de brillantez influyen de manera apreciable las tres variables empleadas en los rangos estudiados sin embargo sobre la viscosidad solo fue determinante la carga de ozono, por ser ésta precisamente la que más influye sobre la degradación de la pulpa en términos de sus propiedades de resistencia mecánica.
Palabras claves: bagazo, blanqueo, oxígeno, ozono, peróxido de hidrógeno

SUMMARY

The present work shows the results obtained by means the bleaching in three stages of a chemical pulp using a sequence of the type oxygen - ozone – peroxide at bench scale in order to replace the traditional employment of chlorine and its derivatives in this operation and to avoid in that way the production of highly polluted effluents in toxicity and BOD terms very difficult of trying by external way and to recycle.
For the execution of trials it was left from a bagasse chemical pulp, initially delignified with oxygen, which was object of a previous study of variables for finally to be subjected to a design of experiments 2^3 whose variables were; ozone charge, hydrogen peroxide charge and time for this last one
The obtained results show the possibility to achieve bleached pulps with levels of brightness between 85 and 89% ISO without sensitive affectation of the viscosity.
It is observed equally that about the property of brightness they influence in an appreciable way the three variables employees in the ranges studied however about the alone viscosity it was decisive the load of ozone, to be this in fact the one that more influences on the degradation of the pulp in terms of their properties of mechanical resistance.
Keywords: bagasse, bleaching, oxygen, ozone, hydrogen peroxide.

INTRODUCCION

La necesidad de reducir ó eliminar el impacto ambiental producido por la Industria de Pulpa y Papel a nivel mundial, crea una incesante búsqueda de soluciones para encontrar tecnologías que minimizen la producción de cargas contaminantes, motivado además por los costos tan altos que significa la solución por vía externa para estos tipos de fábricas que además exigen unos elevados consumos de agua.

Dentro de estas tecnologías, según Kramer (2000), se hallan las que se desarrollan para sustituir las tradicionales que se emplean en las operaciones de blanqueo de pulpas químicas, por ser ésta la de mayor impacto dentro de todo el proceso.

Actualmente casi todas las fábricas de pulpa blanqueada, tanto las existentes como las de nueva creación se dirigen hacia el empleo de agentes de blanqueo no agresivos en las operaciones de blanqueo en sustitución del cloro y sus derivados, los cuales producen efluentes altamente tóxicos y de elevada carga de DBO muy difíciles de tratar por vía externa e incluso de recircular dentro del propio sistema.

Dentro de estos desarrollos se halla el esquema de blanqueo OZP, el cual se halla implementado actualmente por algunas países, entre ellos; Suecia, Estados Unidos, Alemania, y Suiza, (Johnson, 2000) y consiste en una secuencia de tres etapas mediante el empleo en ese orden de; oxígeno – ozono – y peróxido de hidrógeno y que resulta de aceptación universal en su aplicación sobre pulpas químicas de madera para lograr hasta 90 % ISO de brillantez.

La UIP Cuba-9 había desarrollado con anterioridad e incluso patentado un proceso para el blanqueo con oxígeno de pulpas químicas de bagazo en combinación con otras etapas de blanqueo que incluían el empleo del cloro y sus derivados con el propósito de reducir la carga de estos últimos lográndose un nivel similar en brillantez y propiedades mecánicas de la pulpa. Pero aún así resultaba apreciable la carga contaminante producida, a pesar de que se reducía la misma hasta en un 50%.

Por tal razón se decidió estudiar el esquema antes propuesto para el caso de pulpas químicas de bagazo obteniéndose pulpas químicas blanqueadas con niveles de brillantez entre 85 y 90 % ISO sin afectaciones sensibles de las propiedades mecánicas y de resistencia.

CONCLUSIONES

- La brillantez de la pulpa blanqueada dependerá siempre de la carga de ozono, de peróxido y del tiempo para ésta última, siendo la carga de ozono la de mayor peso dentro del rango estudiado, no resultando así para las propiedades mecánicas que dependerán exclusivamente de la carga de ozono.
- Dentro del rango estudiado es posible obtener niveles de brillantez entre 85 y 90 % ISO
- El empleo de alta consistencia en la etapa de peróxido permite trabajar con bajos por cientos (< 1%) del agente químico.
- La carga contaminante en el residual resulta menos de un tercio en comparación con el esquema tradicional; cloro – extracción – hipoclorito – dióxido de cloro (CEHD)

REFERENCIAS

- Kramer, Jurgen D. (2000), Pulp & Paper 74, 51-59
- Johnson Anthony P. (2000), Industrial Environmental Control. Pulp ana Paper Industry (Springer, Allan M. Ed.) TAPPI PRESS, Atlanta, pp 227 - 272

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se inicio con una pulpa química de bagazo con Número de Kappa = 13 y brillantez inicial de 44 % ISO la que fue sometida a una primera etapa convencional de blanqueo con oxígeno, hasta una brillantez de ~ 60 % ISO. Los parámetros empleados para esta etapa se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Parámetros y magnitudes del blanqueo con oxígeno	
Parámetro	Valor
NaOH %	3.5
Consistencia %	10
$MgCO_3$ %	1
Temperatura ^{0}C	110
Presión de O_2 Kg / cm^2	7

Para las etapa siguientes de ozono y peróxido de hidrógeno se aplicó un diseño factorial 2^3 , cuyas variables son; carga de ozono, carga de peróxido de hidrógeno y tiempo de esta última, manteniéndose constante el resto de los parámetros. La etapa de ozono se realizo a un pH = 3 y alta consistencia, mientras que la etapa de peróxido se realizó a 20 % de consistencia, con 3 % de silicato, 0.2 % de DPTA, 0.05 % y una relación sosa / peróxido de 0.6

Los rangos empleados en el diseño de experimentos se muestran en la Tabla II

Tabla II. Rangos de las variables en el diseño factorial 2^3		
Variable	Nivel mínimo	Nivel máximo
Ozono (%)	0.2	0.6
H_2O_2 (%)	0.2	0.5
H_2O_2 (min.)	60	90

La Tabla III muestra las Normas empleadas para la determinación de brillantez y viscosidad se emplearon los siguientes métodos:

Tabla III. Normas empleadas		
Propiedad	Unidades	Método
Brillantez	% (ISO)	ISO 2470 - 99
Viscosidad	cP	TAPPI T 230 om-89

Los residuales totales producidos por las etapas de ozono y peróxido fueron caracterizados por las Normas del "Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater" 20 th Ed. (1998). El residual producido por la etapa de oxígeno no fue caracterizado en estos términos debido a que el mismo nunca es vertido al medio sino que es enviado a la caldera de recuperación junto con los filtrados de lavado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del diseño factorial obtenidos para brillantez y viscosidad se muestran de forma codificada en la Tabla IV

Tabla IV. Resultados del Diseño Factorial 2^3			
Modelo	Ecuación	CC	Error St.
1	Brillantez % (ISO) = 78.6 + 14.58 * Z + 7.42*P - 5.42 *Z*P	0.98	0.38
2	Viscosidad (cP) = 8.61 - 7.19 * Z	0.96	0.3

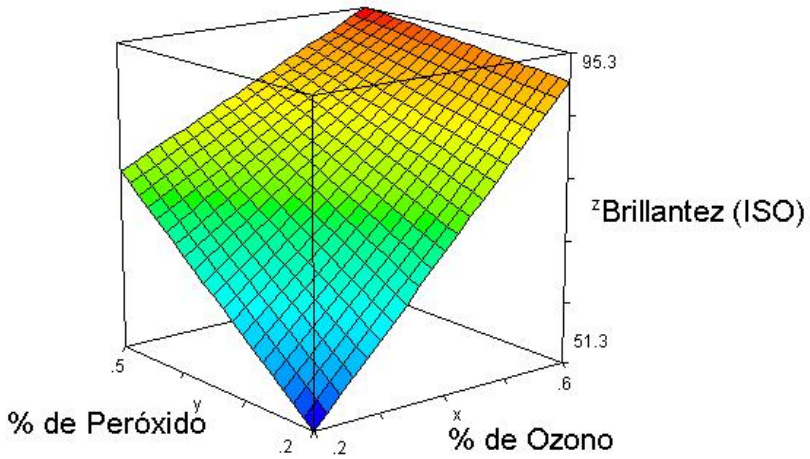
Z : % de Ozono
P : % de Peróxido

En ambos modelos solo se muestran las variables significativas según el test de Fisher para 95 % de confiabilidad.

El modelo de Brillantez refleja un mayor peso de la carga de ozono sobre ésta en comparación con la carga de peróxido, siendo el tiempo empleado durante la etapa de peróxido no significativo para el rango estudiado.
Siendo significativa solamente la carga de ozono sobre la disminución de viscosidad, para todos los rangos estudiados, motivado por el hecho de que la acción del ozono resulta más degradante sobre la celulosa que el peróxido.

La Fig. 1 muestra el gráfico de superficie del modelo descodificado sobre brillantez endo en el que se observa hasta un incremento de 21 a 28 unidades de % ISO después de la ultima etapa de blanqueo.

Fig.1 Comportamiento de la Brillantez con la carga de ozono y de peróxido



La Tabla VI muestra un cuadro comparativo de las cargas contaminantes producidas por el esquema OZP y algunos de los esquemas en que se emplea el cloro y sus derivados para la obtención de igual calidad en pulpas químicas de bagazo blanqueadas.

Tabla VI. Comparación entre esquemas tradicionales y el OZP							
Propiedad	CEH	CED	CEHD	CEDH	OCED	OCEH	OZP
DBO (Kg/t)	72	64	56	62	31	34	22
DQO (Kg/t)	160	143	130	132	68	69	43
SDV (Kg/t)	76	68	62	60	31	33	20
Color (UPt)	63	59	48	46	22	25	22
AOX (Kg/t)	4.1	3.9	3.6	3.4	1.6	1.7	-
pH	7-8	5-6	6-7	6-7	5-6	6-7	7-8

En la Tabla VI se observa que el esquema OZP produce un nivel muy inferior en términos de las cargas de DQO y DBO, no indicando ningún nivel para el contenido de AOX, éste último; un índice de los cloro-orgánicos presentes en el residual, extremadamente tóxicos, y solo presentes cuando se trabaja con el cloro y sus derivados durante la operación de blanqueo.

DISEÑO TECNOLOGICO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE EXCIPIENTES PARA LA INDUSTRIA FARMACEUTICA CUBANA.

TECNOLOGIC DESING OF A PLANT OF EXICIPIENTS PRODUCTION TO THE CUBAN PHARMACEUTICAL INDUSTRY.

Medina Estevez, M.; Pérez, D.; Prieto, S*; García, L.; Pérez, M.

UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba-9. Apartado 8, CAI Pablo Noriega, Quivicán, La Habana, Cuba.
E-mail: directc9@enet.cu
***Instituto de Proyectos Azucareros.** Carretera ISPJAE, Marianao, C. Habana, Cuba
E-mail: silvia@iproyaz.co.cu

RESUMEN

La necesidad actual de diversificar la industria y proteger el medio ambiente ha traído consigo el aprovechamiento de los residuales de la industria azucarera, el cual no termina con el uso integral de los mismos, sino que también se debe tener presente en las formulaciones de nuevos productos, como es el caso de los derivados de celulosa y más aun cuando estos contribuyen a sustituir importaciones y ser utilizados con fines farmacéuticos. Todo lo anteriormente expuesto debe responder a los requerimientos de la industria en la que se utilizarán estos productos.

Este documento constituye la propuesta tecnológica de una Planta para Excipientes y Medicamentos que reportará una producción de 300 toneladas por año de Celulosa Microcristalina y 48 toneladas por año de Carboximetilcelulosa entrecruzada (Acdisol), a partir de pulpa química de alta pureza.

Para nuestro país traería como consecuencia la sustitución de importaciones de los mencionados productos, contribuyendo a un ahorro considerable por este concepto.

Palabras Claves: Celulosa Microcristalina, Carboximetilcelulosa Entrecruzada, Pulpa Química.

ABSTRACT

The current necessity to diversify the industry and to protect the environment has resulted in the use of the wastes of the sugar industry, which doesn't finish with its integral use, but we also must have present the formulations of new products, like it is the case of those derived of cellulose and stiller when they contribute to substitution of imports and to be used with pharmaceutical goals.

This paper constitutes the technological proposal of a Planta for Exicipients and Medicines that it will report a production of 300 tons for year of Microcristaline Cellulose and 48 tons for year of Crosslinked Carboximetilcellulose, starting from chemical pulp of bagasse of high purity.

For our country it would result in the substitution of imports of the above mentioned products, contributing to a considerable saving for this concept.

Key Words: Microcristaline Cellulose, Crosslinked Carboximetilcellulose, Chemical Pulp.

INTRODUCCION

La celulosa microcristalina constituye la fracción sólida de bajo peso molecular resistente a la hidrólisis parcial controlada en medio ácido de la celulosa de alta pureza. Este producto es de elevada pureza química y sus propiedades lo hacen prácticamente insustituible en la producción de tabletas de algunos medicamentos de baja compresibilidad por el método de compresión directa.

La carboximetilcelulosa entrecruzada se conoce oficialmente en la farmacopea como croscarmelosa, se emplea como desintegrante en húmedo de las tabletas medicinales. Este producto tiene también una elevada pureza química por poseer una elevada capacidad de absorción de agua, lo cual permite aumentar varias veces su volumen en corto tiempo, por lo que al usarlo en las formulaciones de medicamentos de alta compresibilidad se favorece la desintegración de las tabletas cuando se ponen en contacto con el jugo gástrico y así se facilita el paso del medicamento al flujo sanguíneo.

El país no dispone de las instalaciones donde se puedan obtener las cantidades requeridas de derivados de celulosa con fines farmacéuticos, aún bajo las condiciones de consumos restringidos en que hoy se importan.

Desde hace varios años, la UIP Cuba-9 ha venido realizando estudios encaminados a desarrollar tanto la tecnología de obtención de Celulosa Microcristalina (AGLUCEL), como la de Carboximetilcelulosa Entrecruzada (DESCEL).

La celulosa obtenida, inicialmente a escala de laboratorio, a partir de pulpa para disolver de bagazo y pulpa para disolver de madera fue evaluada y caracterizada por técnicos del Laboratorio Farmacéutico "Reinaldo Gutiérrez". El estudio comparativo entre la celulosa microcristalina de Cuba–9 y la importada, con marca Avicel pH–101, demostró que sus propiedades eran muy semejantes, encontrándose dentro de los rangos establecidos.

Con respecto al Descel, los resultados permitieron obtener un producto con buenas propiedades sin diferencias significativas con los del Acdisol importado, fundamentalmente se evidenció que los tiempos de desintegración de las formulaciones con el producto comercial eran similares a los tiempos del sintetizado. Se realizaron además pruebas toxicológicas con resultados favorables.

Teniendo en cuenta estos antecedentes se proponen los objetivos siguientes:

Objetivo general o de desarrollo:

El objetivo estratégico está vinculado directamente a obtener derivados de celulosa en una instalación comercial lo cual contribuya a desarrollar las producciones nacionales de medicamentos y diversificar la industria azucarera.

Objetivo específico:

Realizar los balances de materiales que permitan el diseño de una planta multipropósito para las producciones de celulosa microcristalina (AGLUCEL) y carboximetilcelulosa entrecruzada (DESCEL).

MATERIALES Y METODOS:

Los análisis realizados corresponden a una planta de una capacidad de 348 t/año de producción de derivados de celulosa. La planta se concibe anexa a un complejo de producciones, por lo que la misma utilizará instalaciones y servicios ya existentes.

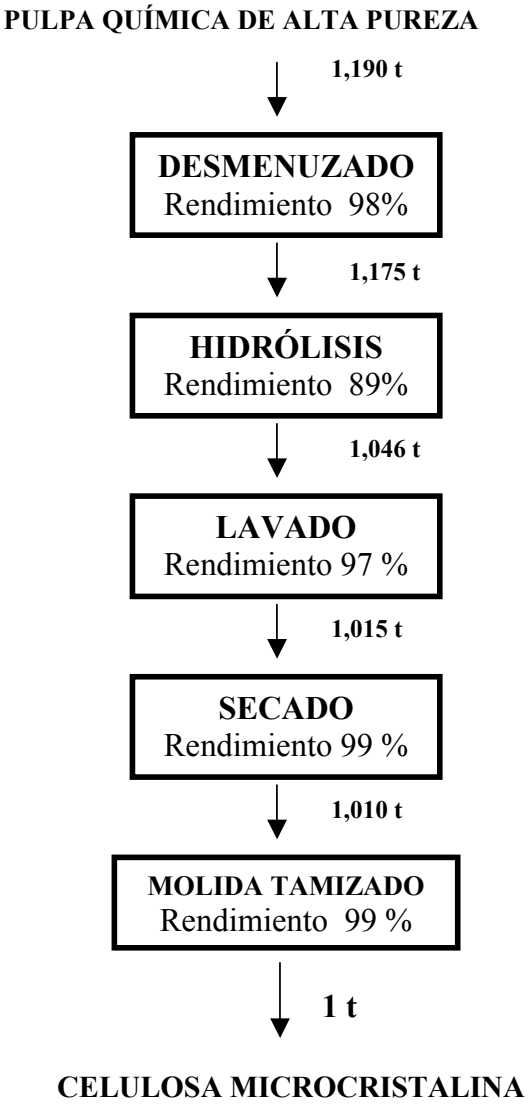
Los balances de materiales que a continuación se muestran fueron determinados por etapa y para dos líneas de producción diferentes utilizando el mismo arreglo tecnológico. Los mismos se tomaron como base para la ejecución de la Propuesta de Inversión de una instalación de esta magnitud y serán de utilidad para realizar la Ingeniería Básica.

Los rendimientos globales de las diferentes líneas de producción se muestran a continuación y fueron tomados a partir de los resultados obtenidos de las producciones de estos derivados a escala piloto:

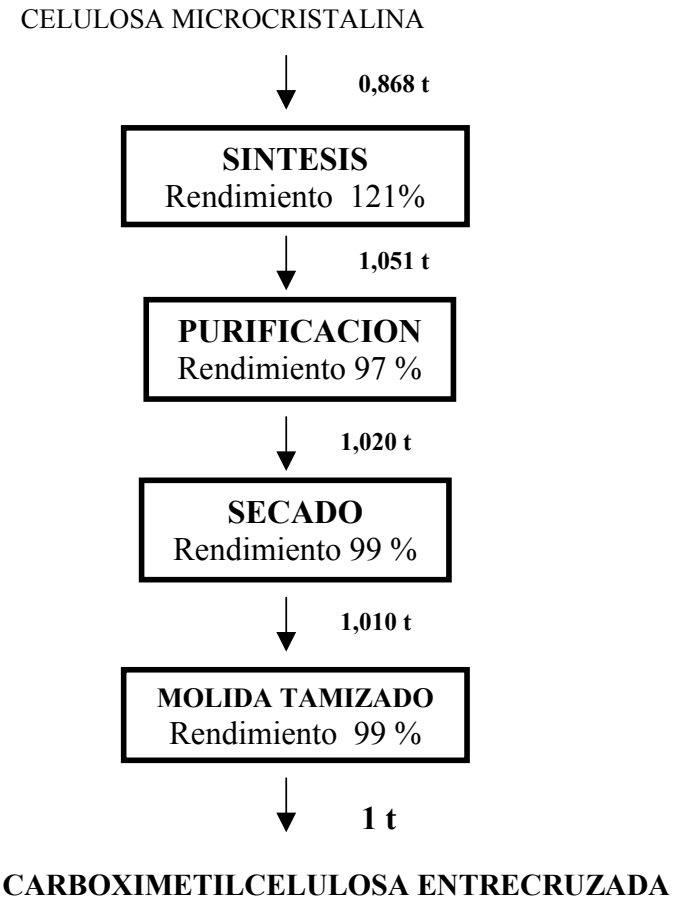
Derivados	Producción(t/a)	Días de trabajo anuales	Rendimiento global (%)
Celulosa Microcristalina	300	259	84
Carboximetilcelulosa entrecruzada	48	41	115

Al ser un proceso destinado a producir productos farmacéuticos, se diseñó un sistema de control automático que no solo abarcara el proceso productivo, sino que permitiera la toma de decisiones en línea .

El siguiente diagrama de bloque presenta el balance unitario para la producción de celulosa microcristalina. Los rendimientos de cada una de las etapas fueron tomados a partir de las experiencias de la producción a escala piloto.



En el siguiente diagrama de bloque se presenta el balance unitario para la producción de carboximetilcelulosa entrecruzada



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tecnología de obtención de Aglucel queda definida por las siguientes áreas:

- Desmenuzado
- Hidrólisis
- Área de Lavado – Espesado - Purificación
- Secado – Molida – Envase

La descripción del proceso tecnológico para este producto es la siguiente:

La pulpa química de alta pureza en láminas es cortada en pedazos utilizando para ello una sierra eléctrica. La materia prima cortada es entregada manualmente a un transportador de banda sobre el cual se ubicará un imán permanente, el cual se encargará de extraer cualquier objeto metálico antes de descargar a la desmenuzadora. Esta última entrega el producto desmenuzado a una pesa continua de banda. La pesa será la encargada de cuantificar e integrar la cantidad de producto en función de la producción que se realice y se esté entregando al reactor. La misma se eleva con un ángulo máximo de 5º

hasta descargar a un elevador vertical de cangilones, que será el encargado de elevar el producto hasta una tolva rectangular con compuerta lateral de cuchilla eléctrica ubicada sobre el reactor **.**

El ácido clorhídrico a una concentración de 37 % en peso bombeado al reactor, donde se le agrega agua desionizada hasta alcanzar una concentración del 3 % e hidrolizar la pulpa. Posteriormente se pone en funcionamiento el agitador y se procede a la alimentación de 343,00 kg (B. S.) de pulpa química de alta pureza blanqueada desmenuzada. El hidromódulo utilizado es de 8,33 l de solución ácida / kg de pulpa.

La masa del reactor se calienta con vapor saturado de 3,5 atm de presión por la camisa exterior durante 30 minutos aproximadamente, para elevar la temperatura desde 25 °C hasta 115 °C, que es la temperatura recomendada para el proceso de hidrólisis.

La reacción se efectúa durante 30 minutos y al cabo de ese tiempo es detenida la agitación y el producto es descargado por gravedad al tanque buffer. El producto es enviado a través de una bomba a las centrífugas donde se somete al proceso de lavado y purificación.

El producto en suspensión obtenido en el proceso de hidrólisis llega a las centrífugas para un lavado por desplazamiento.

Primeramente, se lleva a cabo un centrifugado con el fin de separar el residual ácido, obtenido del proceso de hidrólisis del producto, el cual es descargado por gravedad a un tanque. Este residual es bombeado al reactor para su reutilización. Esta operación se realiza en batchs alternos. Una vez que la solución de HCl ha sido utilizada dos veces, el remanente ácido es descargado de la centrífuga al tanque de recolección del residual ácido para ser tratado y vertido a la zanja.

Seguidamente se realiza un lavado con agua desionizada al producto hasta garantizar neutralidad. Esto se logra instalando un lazo de control de pH en la centrífuga. En esta etapa se consumen aproximadamente 20 l de agua desionizada / kg de celulosa (B. S.) que es alimentada.

El filtrado obtenido del lavado con agua desionizada, en ambas centrífugas, será enviado al mismo tanque de recolección del residual ácido para seguidamente neutralizarlo con solución de $Ca(OH)_2$ de 200 g/l procedente de la planta de tratamiento de agua, y posteriormente será vertido a la zanja.

Por último se efectúa un lavado con solución de alcohol etílico al 70, para mejorar la textura del producto y la eficiencia en la posterior etapa de secado, utilizándose para ello 3 l de solución / kg de celulosa (B. S.) previamente calentado hasta 60□C en el intercambiador de calor. El filtrado obtenido en la primera centrífuga es utilizado para realizar la misma operación en la segunda.

El filtrado obtenido del último lavado, en la segunda centrífuga, será descargado por gravedad a otro tanque y posteriormente se bombeará al sistema de destilación, para la recuperación del etanol. Se prevé una recuperación de 85 - 90 % aproximadamente.

La torta obtenida en la centrífuga pasa a la etapa posterior para ser secada y molinada.

El área de almacenamiento del producto final es totalmente cerrada y solamente tiene acceso a esta el montacargas.

La tecnología de obtención de Descel queda definida por las siguientes áreas:

- Síntesis
- Purificación - Lavado – Espesado
- Secado – Molida – Envase

La decripción del proceso para la obtención de Descel es la siguiente:

El alcohol isopropílico es bombeado al reactor, posteriormente se pone en funcionamiento el agitador y se procede a la alimentación de la celulosa microcristalina, mediante un transportador de banda reversible que la pesa y la descarga, mediante un elevador de cangilones, en una tolva situada encima del reactor. Una vez cargado el reactor, se procede a bombear la solución de NaOH a una concentración de 357 g/l, muy lentamente, a un flujo aproximado de 30 l/min. Esta operación se realiza a temperatura ambiente y durante 60 minutos.

A continuación se produce la eterificación y entrecruzamiento de las cadenas de celulosa a través de sus grupos, utilizando para ello ácido monocloroacético y epiclorohidrina.

El ácido monocloroacético es bombeado desde el área de preparación de productos químicos y la epiclorohidrina es alimentada mediante vacío al reactor.

A partir de este momento, la masa del reactor se calienta con vapor saturado de 3,5 atm de presión por la camisa exterior para elevar la temperatura desde 25 °C hasta 60 °C, que es la temperatura de reacción. Esta operación se realiza durante 180 minutos a partir de que la masa de reactivos alcance la temperatura de 60 °C. El hidromódulo total de la reacción es 7,5:1.

Después de transcurrido este tiempo, la agitación es detenida y el producto es descargado por gravedad al tanque buffer. El producto es bombeado a las centrífugas donde comienza el proceso de neutralización, lavado y purificación.

La suspensión obtenida del proceso de síntesis es bombeada del tanque a las centrífugas. Ya en las centrífugas se extrae el residual líquido producto de la reacción y se descarga a un tanque del cual se bombea al sistema de recuperación de solventes, para la recuperación del alcohol isopropílico (se considera un 75% de recuperación.

Seguidamente se efectúa la neutralización del producto con 2 l de solución alcohólica de ácido acético (2% HAc, 98% de solución de etanol al 70%) / kg de producto.

Por último se realizan dos lavados en las centrífugas con 7 l cada uno de solución alcohólica de etanol al 70% (S7) por kg de producto. Esta solución es calentada a 60 ^{0}C en un intercambiador de calor para favorecer la disolución de los residuos menos solubles y contribuir a la purificación de una manera más rápida y eficiente, mediante la extracción de estos compuestos no deseados por centrifugación.

Los filtrados provenientes de las etapas de neutralización y lavado serán descargados a otro tanque para posteriormente bombearlos al sistema de destilación para la recuperación del alcohol etílico.

El producto neutralizado, purificado y centrifugado con un contenido de sólidos de 40-50 % es descargado de la centrífuga a un transportador sinfín para contribuir a romper la torta húmeda que es descargada en una tolva cilíndrica vertical que alimenta al secador.

A partir de este momento se realizan las mismas operaciones que en la línea de producción de Aglucel.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Se realizaron los balances de materiales necesarios para el diseño de una planta de producción de derivados de mayor capacidad.
- Dado que para el país la producción de Celulosa Microcristalina (Aglucel) y de Carboximetilcelulosa Entrecruzada (Descel) genera importaciones, y la construcción de la planta permitiría ahorrar por este concepto y tener la posibilidad de ampliar la gama de producciones de excipientes para la industria médico-farmacéutica, se recomienda efectuar la inversión propuesta en la medida que la misma puede ser financiada, en Moneda Total y Divisas, totalmente dentro de las fronteras del país. De ser aprobada tal inversión la industria médico-farmacéutica cubana contará con una instalación de producción de excipientes que cubrirán la demanda nacional de medicamentos.
- El proyecto es viable socialmente pues genera 18 nuevos empleos en una localidad deficitaria en ofertas de trabajo, ofreciendo la posibilidad a trabajadores del Sistema MINAZ en el marco de la Tarea Alvaro Reynoso.

DESLIGNIFICACIÓN SINERGICA Y BLANQUEO ODP DE BAGAZO DE CAÑA Y CARTÓN KRAFT RECICLADO

PULPING AND BLEACHING ODP OF SUGAR CANE BAGASSE & OCC LINEARBOARD

Noé Aguilar Rivera
Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Córdoba Veracruz México Tel.: (52) 271 71 6 73 92
naguilar@uv.mx, noe_aguilarrivera@yahoo.com.mx

RESUMEN

El bagazo es el residuo del proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña, el remanente de los tallos después de ser extraído el jugo azucarado que ésta contiene, por los molinos del ingenio. Las pulpas de bagazo son ahora utilizadas en prácticamente todos los grados de papel. Sin embargo tienen como característica limitante en su desempeño, bajas resistencias mecánicas y de drenado, lo cual influye negativamente en la sección de depuración, lavado de pulpas, formación, drenado y runnability en la máquina de papel y en la sección de prensas lo cual hace necesario modificar los equipos ya existentes para pulpas a base de madera, o bien incorporarle a la pasta un porcentaje significativo de pulpa de madera de fibra larga para mejorar las propiedades papeleras. En este trabajo se determino la posibilidad de deslignificar simultáneamente fibras de bagazo de caña y de cartón kraft reciclado, a fin de incorporar fibra larga a la pulpa de bagazo de caña desde la etapa de cocción e incrementar las propiedades mecánicas y de drenado; la pulpa resultante se blanqueo en una secuencia ODP (ECF) obteniéndose pulpa blanqueada a 86 % con aceptables propiedades de drenado y de resistencias mecánicas.

PALABRAS CLAVE: Deslignificación Conjunta, Cartón Kraft desperdicio, blanqueo ECF.

ABSTRACT

The technology of pulp and paper manufacturing is dynamic and continually advancing as are the demands placed upon by paper by end-users. In order to satisfy the steady increasing demands placed on print and packaging media, new products. Bagasse is a by-product of sugar processing, which is sourced from the adjacent sugar mill; bagasse pulp mills are typically among the largest nonwood mills bagasse pulp is produced in integrated pulp and paper mills, The aim of the project has been to facilitate the use of chemical pulp of long fiber of OCC liner board with bagasse pulp at the stage of delignification and bleaching ECF. The benefits include an increase in pulp washing efficiency of sugar cane bagasse and giving rise the runnability to the paper machine using bagasse pulp. The OCC pulp when used in combination with bagasse pulp produced a synergistic effect in a increase in pulp washing efficiency and capacity as well as reduced carry-over of process chemicals to the paper machine, giving rise to a cleaner bagasse pulp. ECF bleaching of bagasse pulp and OCC was using ODP thereby inducing a brightness de 86 points at high capacity of drainage and mechanical properties.

KEYWORDS: Pulping, OCC, Bleaching ECF

INTRODUCCION

Desde la invención del papel en China por Ts'ai Lun en el año 105 de nuestra era, muchas fibras han sido utilizadas para su manufactura. La necesidad de mayores cantidades de papel aceleró la búsqueda de fuentes adicionales de celulosa. Hace poco más de un siglo que la industria papelera comenzó a utilizar la madera como materia prima. En la actualidad, los residuos de plantas no maderables como el bagazo de caña de azúcar, pajas de cereales, pastos, bambú, lino, kenaf, cáñamo, sisal y otros integran una fuente potencial de materias primas en muchos países en que los suministros de madera son limitados o no existen.

Reducir el impacto de las actividades industriales en el medio ambiente y conservar los recursos forestales son dos conceptos de vital importancia en el desarrollo sustentable. La industria de pulpa y papel puede tener una significativa participación para lograr esos objetivos mediante las siguientes acciones:

- Desarrollando tecnologías de pulpeo y blanqueo amigables con el medio ambiente.
- Incrementar significativamente el uso de residuos agrícolas y plantas anuales como materias primas.
- Aumentar el volumen de papel reciclado recuperado.

El bagazo de caña de acuerdo a sus características anatómico morfológicas, y por ser un producto de desecho de una industria básica como lo es la del azúcar, lo convierten en la materia prima más importante en la industria de pulpa y papel en países productores de azúcar de caña; su manipulación, transportación y almacenamiento disminuyen los riesgos de inversión y lo hacen un material atractivo en comparación con otras fuentes de materia prima ligno-celulósica (Jiménez 1997).

Las pulpas de bagazo son ahora utilizadas en prácticamente todos los grados de papel incluyendo bolsas, papel de escritura e impresión, toalla, glassine, corrugado, liner, recubiertos y periódicos: La pulpa de bagazo es fácil de blanquear, la secuencia utilizada depende del nivel de blancura requerido. En la mayoría de la plantas de pulpa, los requerimientos de regulación ambiental todavía no exigen un proceso total o parcialmente libre de cloro (Sanjuán 1997).

Sin embargo, las pulpas de bagazo de caña tienen como característica limitante en su desempeño, bajas resistencias mecánicas y de drenado, lo cual influye negativamente en la sección de depuración, lavado de pulpas, formación, drenado y runnability en la máquina de papel y en la sección de prensas lo cual hace necesario modificar los equipos ya existentes para pulpas a base de madera, o bien incorporarle a la pasta un porcentaje significativo de pulpa de madera de fibra larga para mejorar las propiedades papeleras (Jeyasingam 1991). Se planteo así mejorar las bajas resistencias mecánicas y de drenabilidad de esta pulpa celulosica mediante la incorporación de celulosa de cartón kraft desperdicio OCC (Old Corrugated Container) desde el inicio del procesamiento de la pulpa de bagazo en la etapa de cocción o deslignificación mediante el proceso químico a la sosa, para que la pulpa resultante contenga un porcentaje de fibra larga sin el uso de celulosa de madera contribuyendo a reducir la contaminación generada por el cartón desperdicio y minimizando la tala de árboles para el uso de la industria celulosico-papelera.

OBJETIVOS

Incrementar el contenido de fibra larga en la celulosa de bagazo de caña mediante la incorporación de celulosa de cartón desperdicio (OCC) desde la etapa de deslignificación a fin de mejorar la drenabilidad y las propiedades mecánicas.

Evaluar la respuesta de las pulpas obtenidas de las mezclas fibrosas al blanqueo mediante una secuencia libre de cloro elemental

Evaluar las propiedades mecánicas, ópticas y de drenabilidad de las pulpas blanqueadas y sin blanquear.

MATERIALES Y METODOS

El bagazo de caña, tal y como sale del ingenio azucarero (fibra útil, médula, suciedades, agua y otros), se desmedulo en tres etapas hasta una relación fibra útil/médula de 87/13. El cartón kraft desperdicio se repulpeo y se depuro para obtener nuevamente pulpa celulosica, este material se caracterizo de acuerdo a las Normas TAPPI como se muestra en las tablas I,II y III:

TABLA I. TÉCNICAS TAPPI UTILIZADAS EN LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE PULPAS

Análisis	Técnica
Numero de Kappa	T-236 cm-85
Clasificación de fibras	T-233 cm-82
Refinación de hojas para pruebas físicas	T – 205 om – 88
Acondicionamiento de las hojas	T – 402 om – 93
Largo de ruptura	T – 494 om –88
Índice de explosión	T – 403 om – 91
Resistencia al rasgado	T – 414 om – 88
Blancura	T – 218 om – 91
Opacidad	T – 425 om – 91
Resistencia al doblez	T – 423
Grado de Refinación (° S.R.)	SCAN-M3:65
Porosidad Gurley	T – 460
Tiempo de Drenado en pulpas	T – 221 om – 93

TABLA II. CARACTERÍSTICAS DE CARTÓN KRAFT DESPERDICIO (OCC)

PROPIEDAD	Valor
RENDIMIENTO en repulpeo	84.8 %
RECHAZOS	4.5 %
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	3.1 %
FINOS	7.3 %
No. Kappa	64
CENIZAS EN PULPA	2.9 %
Grado de Refinación	13 °S.R.
Porosidad Gurley	Poroso
Tiempo de Drenado	4.28 segundos
BLANCURA ISO	32 %

TABLA III. CLASIFICACIÓN DE FIBRAS DE CARTÓN KRAFT DESPERDICIO (OCC) %

MALLA	Pulpa kraft de madera	OCC repulpeado
30	81.1	55.5
50	6.6	17.7
100	5.4	10.2

200	**0.9**	**4.1**
< 200	**5.9**	**12.6**

Al determinar el contenido de fibras por tamaño en un equipo Bauer-McNett y al compararlas con pulpa kraft virgen, el OCC repulpeado se convierte en una opción interesante como fuente de fibra larga para usarse mezclada con pulpas de plantas no maderables para mejorar propiedades papeleras y de drenado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La fibras de bagazo de caña y cartón kraft desperdicio (OCC) se deslignificaron simultáneamente como mezcla fibrosa a diversas proporciónes bagazo/OCC, en microdigestores de acero inoxidable calentados en un baño de aceite utilizando carga de álcali de 10 a 20 % como NaOH en base al material fibroso seco, a una temperatura máxima de 170 °C en un tiempo de cocción de 15 a 45 minutos, obteniéndose una mayor selectividad y rendimiento para las pulpas de composición fibrosa 90/10, 80/20 y 70/30 bagazo/OCC a una carga de álcali de 13% en un tiempo de deslignificación de 30 minutos, (tabla IV):

TABLA IV. DESLIGNIFICACIÓN CONJUNTA BAGAZO DE CAÑA-OCC

Composición	No. de Kappa	Rendimiento	Rechazos %
100 % Bagazo de caña	**18**	**55.3**	**4.0**
90 % Bagazo/ 10 % OCC	**19.2**	**58.1**	**3.0**
80 % Bagazo/ 20 % OCC	**21**	**60. 4**	**1.8**
70 % Bagazo/ 30 % OCC	**26.1**	**64.5**	**1.5**

Las pulpas obtenidas se clasificaron en un equipo Bauer-McNett a fin de determinar el incremento en las fracciones de fibra larga después de la etapa de deslignficación simultanea de ambos materiales (tabla V).

TABLA V. CLASIFICACIÓN DE FIBRAS DE PULPAS BAGAZO DE CAÑA - OCC (%)

MALLA	Pulpa 100-0	Pulpa 90/10	Pulpa 80/20	Pulpa 70/30
30	**0.5**	**27.7**	**29.1**	**32**
50	**26.9**	**22.2**	**24.9**	**27.2**
100	**30.6**	**26.5**	**20.9**	**11.8**
200	**19.7**	**9.2**	**10.4**	**11.9**
< 200	**22.4**	**14.4**	**14.8**	**17.1**

Las pulpas obtenidas presentan un claro incremento en la fracción de fibras largas, en relación a la pulpa de bagazo de caña sin embargo, también se incrementa la fracción de finos, debido a ello se eligió la pulpa 80/20 como punto medio para evaluar las características papeleras.

Esta pulpa se blanqueo mediante la secuencia ODP (Oxigeno -Dióxido de cloro-Peróxido) y se determino la fracción de fibras por tamaño obteniéndose las siguientes propiedades (tabla VI y VII):

TABLA VI. PROPIEDADES OPTICAS DE PULPA 80/20 BAGAZO DE CAÑA-OCC

PROPIEDAD (% ISO)	PULPA 80/20	PULPA BAGAZO
BLANCURA	86	89
OPACIDAD	79	78
BLANCURA REVERTIDA	85	88

TABLA VII. CLASIFICACIÓN DE FIBRAS DE PULPAS BLANQUEADEAS (%)

MALLA	Pulpa de bagazo	Pulpa 80/20
30	1.8	9.7
50	28.3	34.9
100	36.2	33.6
200	14.6	9.5
< 200	19.1	12.3

Aunque las pulpas de bagazo de caña por su características propias como baja presencia de fibras largas y alto contenido de hemicelulosas, no requieren una acción de refinación debido a una caída en la drenabilidad al formarse una cantidad considerable de fibras rotas y finos, la pulpa 80/20 bagazo de caña - OCC blanqueada y sin blanquear poseen una cantidad apreciable de fibras largas que deben desarrollarse mediante una refinación moderada; algunos autores (Lumiainen 1997) sugieren refinar fibras cortas y largas como mezcla; las fibras cortas se enlazan a las fibras largas fibrilándose simultáneamente, evitando así, el corte a través del contacto de las fibra cortas con los elementos del refinador, este efecto se ve reflejado en una disminución en la energía neta de refinación y a un aumento en las resistencias a la tensión y al rasgado; las propiedades mecánicas y de drenado de estas pulpas se desarrollaron en un molino Jokro y se determinaron a 25 °S.R. (tablas VIII y IX):

TABLA VIII. PROPIEDADES MECÁNICAS DE PULPAS SIN BLANQUEAR

Propiedad física	Bagazo de caña	Mezcla 80/20
Longitud de ruptura (Metros)	5578	8032
Índice de Rasgado (mNm^2/g)	8.49	11.34
Índice de Explosión (Kpm^2/g)	4.09	6.20
Resistencia al doblez (No.)	121	803
Porosidad (Seg/100mL)	82	38.7
Tiempo de drenado (Seg.)	6.82	5.92

TABLA IX. PROPIEDADES MECÁNICAS DE PULPAS BLANQUEADAS

Propiedad física	Bagazo de caña	Mezcla 80/20
Longitud de ruptura (Metros)	5070	6629
Índice de Rasgado (mNm^2/g)	5.81	11.44
Índice de Explosión (Kpm^2/g)	3.41	5.65
Resistencia al doblez (No.)	52	672
Porosidad (Seg/100mL)	63.3	22.6
Tiempo de drenado (Seg.)	6.11	6.0

CONCLUSIONES.

La deslignificación conjunta de ambos materiales fibrosos por el proceso químico a la sosa obtuvo pulpa con aceptables propiedades de resistencia mecánica y de drenabilidad, en relación a la pulpa individual de bagazo de caña, que pueden utilizarse en la fabricación de diversos grados de papel tanto en forma blanqueada y sin blanquear.

La incorporación de OCC en la composición fibrosa de la pulpa de bagazo de caña, logro disminuir el tiempo de drenado en un 13 % en promedio, y un incremento en la porosidad del 150 % tanto en pulpa blanqueada y sin blanquear en relación a la pulpa de bagazo de caña.

Las pulpa 80/20 se blanqueo satisfactoriamente mediante una secuencia libre de cloro elemental una blancura de 86 % obteniéndose celulosa mejorada de bagazo de caña amigable con el medio ambiente ayudando así a preservar los recursos forestales.

La deslignificación conjunta posibilita un campo de aplicación futura para un empleo mas eficiente de materiales fibrosos y así mejorar las propiedades papeleras de las pulpas de plantas anuales en países con limitados recursos maderables.

LITERATURA CONSULTADA.

Alvarez M. Rafael J. (1993). "Variables del proceso de pulpeo y blanqueo de bagazo ", AVTCP Celulosa y papel de Venezuela, Año 5 No. 8. pp. 3-7

Jeyasingam Jay (1991). "A summary of special problems related to nonwood fibre pulping world wide." Nonwood plant fiber pulping Progress report no. 19, Tappi press, pp. 149-151

Jiménez Art. Sandwell. "El bagazo como fibra alternativa", MARI-PAPEL, Vol. 5 No. 5, pp. 17 - 23 (Oct./Nov. 1997).

Lumiainen Jorma L. "Behaviour of fibres in mixed low consistency refining" Paper Technology, pp. 26 - 33 (July 1997).

Sanjuán Dueñas Rubén. "Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel". Ágata Editores, México, págs. 235 - 243, 248 - 254. (marzo 1997).

METODOLOGIA PARA EL DIAGNOSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO TOMANDO LA CALIDAD COMO ESTRATEGIA.

STRATEGY FOR THE DIAGNOSE OF THE MANAGEMENT OF THE MAINTENANCE TAKING THE QUALITY LIKE STRATEGY.

Ing. Alexander González Cartaya, Ing. Alberto Pérez Monte, Dr. Agustín Irulegui, Dra. Caridad Agüero, Ing. Yadismay Taquechel.

Correo: direcc9@enet.c4

RESUMEN:

El siguiente trabajo, recoge todos los aspectos relacionados con una metodología para diagnosticar el estado de la Gestión del Mantenimiento tomando la Calidad como Estrategia, elaborada por el grupo de Gestión del Mantenimiento de la U.I.P CUBA 9, con el objetivo de encaminar el mundo de la gestión del mantenimiento en aras de lograr un servicio de mantenimiento más competitivo tanto técnicamente como económicamente. En el mismo se abarcan todos los campos evaluados en dicha metodología, así como la metodología a seguir por los auditores durante el proceso de auditoria.

Palabras Claves: Mantenimiento, Calidad, Estrategia

SUMMARY:

The following work, picks up all the aspects related with a methodology to diagnose the state of the Management of the Maintenance taking the Quality like Strategy, elaborated by the group of Management of the Maintenance of the U.I.P CUBA 9, with the objective of guiding the world of the management of the maintenance for the sake of achieving a service of more competitive maintenance technically so much as economically. In the same one all the fields are embraced evaluated in this methodology, as well as the methodology to continue for the auditors during the audit process.

Keywords :Maintenance, Quality, Strategy.

Introducción.

En la etapa cubana actual, resulta imposible cualquier análisis de la fundamentación científica de una investigación en la esfera técnica obviando hechos tan marcadamente influyentes como la desaparición del campo socialista, al que nos unían estrechos vínculos económicos y comerciales con un peso mayoritario en nuestras relaciones externas; el recrudecimiento del bloqueo de los Estados Unidos de América contra nuestro país; y el propio contexto económico internacional caracterizado por el avance acelerado del proceso de globalización y el impetuoso desarrollo de la ciencia y la técnica sin precedentes en la humanidad. En esta coyuntura compleja, adversa y hostil tiene lugar en Cuba los esfuerzos y transformaciones necesarios para sustentar el desarrollo perspectivo del país, como única vía de alcanzar la verdadera satisfacción de la vida e integridad del cubano.

La práctica ha demostrado que este empeño debe ser logrado con eficiencia, ingenio y adaptación a las realidades que impone el contexto internacional y la problemática nacional. Durante este lapso, el desenvolvimiento y las transformaciones operadas en nuestra economía no han sido obra de la improvisación, sino fruto del análisis que previsoramente hizo nuestro pueblo y su dirección acerca de las situaciones que podrían sobrevenir, de las alternativas factibles a aplicar, y con la idea clara de que los factores primordiales para afrontarlas y salir adelante son: La resistencia y el inteligente trabajo creador.

En estos duros años de difícil situación económica para nuestro país, el pueblo cubano ha aprendido que el futuro económico y el bienestar de la población están vinculado, de manera importante, a la independencia técnica, energética y económica. Los logros alcanzados en este período han permitido conocer que el esfuerzo propio de los cubanos, unidos a una elevada eficacia en el trabajo y el aprovechamiento óptimo de los medios disponibles, es la pieza clave de nuestra política económica y el desarrollo, constituyendo la guía de acción para producir el máximo con el mínimo de recursos posibles.

DESARROLLO.

Objetivos del trabajo.

Objetivo fundamental:

El objetivo fundamental del trabajo consiste en evaluar el estado de la gestión del mantenimiento para identificar debilidades y oportunidades de mejora, basados en los modelos de gestión del mantenimiento aplicados por las empresas líderes, tanto a nivel nacional como internacional.

Objetivos específicos:

1. Desarrollar y poner en práctica una metodología de trabajo con el propósito de evaluar de forma cuantitativa el estado de la gestión del mantenimiento en las empresas de MINAZ .

2. Sentar las bases para el proceso de mejora continua de la gestión del mantenimiento en las industrias.

MÉTODO DE TRABAJO .

Para la elaboración de la metodología de trabajo con el propósito de evaluar de forma cuantitativa el estado de la gestión del mantenimiento en las empresas de MINAZ, se ha realizado en primer lugar un estudio de las tendencias seguidas por las empresas líderes en materia de gestión del mantenimiento tanto a nivel mundial, como a nivel nacional. Como elemento de partida se han tomado los modelos de excelencia en materia de gestión del mantenimiento desarrollados por las empresas Clase Mundial, tomando como guía para la confección de la misma los modelos y requisitos para lograr la excelencia empresarial en el campo de la gestión del mantenimiento, así como los requisitos pedidos por las normas ISO 9000 del 2000 para la implantación de los sistemas de gestión de la calidad. En la elaboración de la metodología se analizaron los diferentes métodos empleados por empresas consultoras a nivel mundial líderes en este campo, tomando de cada una los aspectos positivos y posteriormente se procedió a su adaptación al contexto actual de la industria cubana.

La herramienta fundamental para evaluar el estado de la gestión del mantenimiento en las empresas del MINAZ fue la realización de auditorias de diagnóstico, bajo las bases metodológicas del paquete de servicios especializados en gestión de la calidad (GECAL), desarrollado por la UIP Cuba 9, Centro rector en el proceso de implantación de las Normas ISO 9000 en el sector Azucarero.

Para la validación de dicha metodología se han realizado dos auditorías en dos centrales azucareros para definir debilidades y oportunidades de su sistema de gestión del mantenimiento.

Para el diagnostico de la gestión del mantenimientos el grupo de auditores de la UIP CUBA 9 ha desarrollado una metodología, que permite cuantificar el estado actual de la actividad de mantenimiento, la cual se ha llevado a cabo con la realización de auditorías en diferentes centrales azucareros del país, estas auditorías son realizadas teniendo en cuenta el procedimiento de auditorías internas R-1/ PG-03 elaborado por la subdirección de Gestión de la Calidad y Servicios Especializados de la UIP CUBA 9. El proceso de auditorías se basa en la recopilación de información suficiente tal que permita dar un veredicto de cómo se desarrolla la actividad del mantenimiento en la empresa auditada. La información se obtiene utilizando métodos habituales de la investigación social, tales como entrevistas individuales y grupales, análisis de información registrada y técnicas de observación.

Las entrevistas se realizan utilizando como herramienta listas de verificación, R-12/ PG-03, estructuradas en campos que agrupan por afinidad la diversidad de aspectos a considerar para evaluar los procesos de gestión acorde a los requisitos exigidos por la norma ISO 9000 del 2000 (los que pueden resumirse en las cuatro fases del ciclo de mejora continua según Deming: planificación, realización, control y ajuste). Para facilitar el procesamiento y análisis de la información las respuestas se estructuran de forma cerrada, ponderando cuantitativamente los aspectos en cada campo en dependencia de la importancia para el objetivo trazado en el diagnóstico.

Para evaluar un campo como crítico, se toman valores en correspondencia con el peso de importancia de acuerdo a su puntuación máxima, siendo 50 % para los campos de 200, 55 % para los de 250 puntos, 65 % para los de 300 y 75 % para el campo con evaluación de 400 puntos. Estos valores de criticidad pueden ser variados de acuerdo al nivel de profundidad y severidad requeridos o solicitados por el cliente.

Como resultado de las auditorías se le entrega al cliente en la reunión de clausura un informe que contiene como aspectos fundamentales:

1. La introducción : En la misma se le define al auditado el porque de la necesidad de realizar la auditoría.

2. Los objetivos y el alcance de la auditoría.

3. Los métodos empleados en el proceso de auditorías: Se definen los métodos de recopilación de la información utilizados por el grupo de auditores, así como se definen los diferentes campos analizados durante el proceso de auditoria.

4. Los resultados de la auditoría: Estos resultados son plasmados en una tabla resumen en la cual se reflejan los diferentes campos analizados, su máxima puntuación, la puntuación obtenida durante la auditoria, así como el porciento de puntuación obtenida respecto al máximo de puntos de cada campo.

5. Se le entrega el reporte de auditoría, en el que se evidencian:

- Plan de auditoría (R-2/ PG-03).
- Acta de reuniones (R-11/ PG-03).
- Matriz Plan de Auditoría (R-13/ PG-03).
- Solicitud de Mejora (R-1/ PG-04).
- Matriz de análisis de no conformidades y observaciones de la auditoría (R-14/ PG-03).

6. Finalmente se grafica en un diagrama de Pareto el porciento de puntos obtenidos en cada campo respecto a la máxima puntuación obtenida con el objetivo de que el auditado pueda destinar los recursos disponibles tanto humanos como materiales, en la eliminación de las principales causas que afectan la actividad de mantenimiento dentro del centro.

Este informe es discutido preliminarmente con la alta dirección del mantenimiento de dicho central antes de ser presentado ante el consejo de dirección del central y demás invitados.

Además como parte del mejoramiento continuo del proceso de auditoría, el representante de la calidad de la empresa auditada, recibe un documento " Evaluación del desempeño del auditor" (R-10 / PG- 03) , donde el plasma la evaluación del grupo de auditores. El cual es entregado posteriormente al auditor líder, para ser recogido en el R-9/ PG-03 (Competencia del Auditor) .

Los campos evaluados en dicha metodología son los siguientes:

a. Organización General.
b. Método de trabajo.
c. Seguimiento Técnico de las instalaciones.
d. Gestión de la cartera de trabajo.
e. Gestión de piezas y recambio.
f. Compra de piezas y materiales.
g. Organización del taller de mantenimiento.
h. Útiles y aparatos de medición.
i. Documentación técnica.
j. Personal y formación.
k. Subcontratación.
l. Control de la actividad.
m. Costos de mantenimiento. Control de los mismos y presupuesto.
n. Satisfacción del cliente.
ñ) Infraestructura e imagen.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ELABORADA POR EL GRUPO DE AUDITORES DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO A EMPRESAS DEL MINAZ.

A partir de la experiencia de los resultados obtenidos de la ejecución de más de 15 Auditorias Diagnóstico de la Gestión Del Mantenimiento a diferentes CAI durante los años 1999 y 2000 en el marco del Programa de Implantación de Sistemas de Calidad según las Normas ISO 9000, ampliamente debatidos en los Encuentros Nacionales de Calidad y recientemente en el Taller de Mantenimiento celebrado el 21 de febrero del 2002 y dando cumplimiento a los acuerdos del Consejo de Dirección Ampliado del MINAZ (22 de febrero del 2002) fueron seleccionados los CAI 14 de Julio, y el CAI España Republicana para adecuar la gestión de la actividad de mantenimiento con un nuevo enfoque conceptual y organizativo como sistema a partir de un diagnóstico integral.

El presente capitulo resume los resultados de la auditoria diagnóstico de la gestión de mantenimiento en dos CAI de la Nación, realizadas por los auditores de la UIP Cuba-9

Los resultados obtenidos por campos evaluados para dichos centros se muestran en las tablas siguientes:

C.A.I # 1

Campo	Puntuación máxima	**Resultados**	**%**
A – Organización general	300	115	38
B- Método de trabajo	250	75	30
C. Seguimiento técnico de las instalaciones	250	60	24
D. Gestión de la cartera de trabajo	300	95	32
E. Gestión de piezas de recambio	200	58	29
F. Compra de piezas v materiales	200	65	33
G. Organización del taller de mantenimiento	200	140	70
H. Útiles y aparatos de medición	200	70	35
I. Documentación técnica	300	160	53
J. Personal y formación	400	210	53
K. Subcontratación	250	130	51
L. Control de la actividad	300	110	37
M. Costos de mantenimiento. Control de los mismos y presupuesto	300	60	20
N. Satisfacción del cliente	250	75	30
Ñ. Infraestructura e imagen	250	60	24
Puntuación total	**3950**	**1483**	**38**

C.A.I # 2

Campo	Puntuación máxima	**Resultados**	**%**
A – Organización general	300	120	40
B- Método de trabajo	250	45	18
C. Seguimiento técnico de las instalaciones	250	110	44
D. Gestión de la cartera de trabajo	300	100	33
E. Gestión de piezas de recambio	200	83	42
F. Compra de piezas v materiales	200	115	58
G. Organización del taller de mantenimiento	200	120	60
H. Útiles y aparatos de medición	200	80	40
I. Documentación técnica	300	80	27
J. Personal y formación	400	200	50
K. Subcontratación	250	95	38
L. Control de la actividad	300	95	32
M. Costos de mantenimiento. Control de los mismos y presupuesto	300	190	63
N. Satisfacción del cliente	250	85	34
Ñ. Infraestructura e imagen	250	80	32
Puntuación total	**3950**	**1598**	**40**

CONCLUSIONES:

Con la realización de este trabajo se puede llegar a las siguientes conclusiones generales:

1. La metodología elaborada por el grupo especializado en la gestión del mantenimiento es capaz de detectar las deficiencias y fortalezas de la gestión del mantenimiento, como quedó evidenciado con los resultados de las auditoría realizadas en los CAI, quedando definidos los principales campos sobre los cuales activamente el departamento de mantenimiento debe centrar sus recursos para lograr una mejora en su sistema de gestión. El rigor y la calidad con que se desarrolló este trabajo quedó reafirmado por la alta dirección del mantenimiento en el MINAZ, la cual ha solicitado que esta actividad se extienda por todos los centrales azucareros activos del país.

2. La metodología desarrollada tiene la flexibilidad que le confiere un carácter universal, ya que puede ser adaptada a cualquier rama de la industria cubana con el fin de evaluar la gestión del mantenimiento ya que la misma esta acorde con los principios internacionalmente reconocidos de una gestión del mantenimiento Clase Mundial

RECOMENDACIONES:

1. Se le recomienda a los centrales azucareros auditados dar continuidad a este trabajo con la realización y seguimiento de un plan de acciones correctivas con el fin de eliminar las causas rices de estas no conformidades detectadas.

2. Se le recomienda al Ministerio del Azúcar extender este tipo de trabajos a otras empresas de sector con el fin de mejorar la actividad del mantenimiento y lograr unos menores costos de producción de la tonelada de azúcar con el fin de tener un producto más competitivo.

3. Se recomienda fomentar la formación de auditores de la gestión del mantenimiento en diferentes empresas del M.I.N.A.Z con el fin de que sirvan de consultores dentro de dichas empresas y de auditores de otras empresas.

4. Fomentar dentro del servicio de mantenimiento la creación de comités de la calidad para velar por la calidad y el buen funcionamiento del mantenimiento dentro de la empresa.

5. La realización de eventos donde la principal función sea el debate entre los directivos y personal en fin del mantenimiento para compartir experiencias e ideas.

6. Ser rigurosos a nivel de centro como a nivel ministerial en la aplicación de las normas tanto internacionales como nacionales a la actividad de mantenimiento.

ENERGIA Y ESQUEMAS INTEGRADOS

INDICE
ENERGIA Y ESQUEMAS INTEGRADOS

122 Ahorro de energía a través de la integración de calor entre varias plantas

101 La industria de la caña de azúcar como productora de portadores energéticos: consideraciones termoeconómicas

106 Análisis energético en sistemas de transportación de sólidos en la industria azucarera

110 Estudio cinético de la gasificación de residuos fibrosos de la industria azucarera

125 Evaluación del nivel de desempeño de la cadena de suministro de los residuos agrícolas cañeros para su uso con fines energéticos en una empresa azucarera

082 Optimización del uso de vapor en el proceso

100 Bloque tecnológico para el ahorro de agua y energía en los centrales azucareros

152 Consideraciones generales para el almacenamiento de bagazo con fines energéticos.

202 Evaluación del sistema termo energético de la refinería “Manuel Martínez Prieto

195 Producción de electricidad con biomasa de la planta leñosa Dichrostachys cinarea (Marabú)

181 Cogeneración en la industria azucarera

169 Análisis del balance energético en pequeñas destilerías con producción conjugada alcohol/aguardiente en la región sur de Brasil

177 Configuraciones circuitales óptimas en la industria azucarera

044 Un sistema para la toma de decisiones en las producciones integradas de azúcar y alcohol

026 Análisis de sensibilidad de los esquemas integrados azúcar- alcohol

165 Uso de disgramas funcionales y MILP para la optimizacion exergoeconómica en ingenios azucareros

167 Optimización del consumo de agua y energía en la producción de etanol

184 Perfiles termoenergeticos y aprovechamiento de los coproductos de la caña de azucar en méxico.

189 Papel estratégico de la biomasa cañera en la transición hacia una energética sustentable

254 El nuevo paradigma para los ingenios azucareros “Industrias de alimentos y de energía”

AHORRO DE ENERGÍA A TRAVÉS DE LA INTEGRACIÓN DE CALOR ENTRE VARIAS PLANTAS

ENERGY SAVING THROUGH THE HEAT INTEGRATION AMONG SEVERAL PLANTS

Autores: MSc. Meilyn González Cortés

Ing. Yenly Cata Salgado

DrSc. Erenio González Suárez

Dr. Pio Aguirre

Lic. Gabriela Corsano

Institución: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas

País: Cuba

Email: mgonzalez@qf.uclv.edu.cu

Resumen

La integración energética entre varias plantas involucra flujos de las diferentes plantas en un complejo, esto ha sido considerado siempre impracticable por varias razones. Entre los argumentos usados esta el hecho de que las plantas están físicamente separadas y los costos de bombeo y tuberías son altos. Un poderoso argumento contra la integración es que las plantas casi siempre tienen diferentes horarios de arrancada y parada: si la integración es hecha entre dos plantas y una de las plantas es puesta fuera de servicio la otra tiene que tener una alternativa de red de intercambio de calor para alcanzar los niveles de temperatura requeridos en el proceso.

Las plantas pueden también operar en diferentes relaciones de producción, desviarse de las condiciones de diseño y se necesitan entonces intercambiadores de calor para alcanzar las temperaturas de operación deseadas. Todos estos aspectos desalentadores del problema conducen a que se dejen oportunidades sin explorar para la integración de calor entre plantas.

En este trabajo se analizan las posibilidades de la integración de calor entre varias plantas. Se presenta un procedimiento sistemático para detectar ahorros de energía, así como la configuración óptima de circuito entre plantas para llevar a cabo la integración. Se parte de aplicar el análisis pinch en cada una de las plantas a integrar para luego analizar las posibilidades de ahorro del conjunto integrado.

Las plantas analizadas en la integración son fábrica de azúcar- papel-alcohol y torula.

Palabras claves: integración del sitio total, integración de calor, análisis pinch

Abstract

The energy integration among several plants involves flows of the different plants in a complex, this has always been considered impracticable for several reasons. Among the used arguments this the fact that the plants are physically separate and the costs of pumping and pipes are high. A powerful argument against the integration is that the plants almost always have different schedules of started up and stop: if the integration is made between two plants and one of the plants is put outside of service the other one has to have an alternative of exchange of heat to reach the levels of temperature required in the process.
The plants can also operate in different production relationships, depart from design conditions and then are necessary exchangers that help to reach the operating temperatures. All these discouraging aspects of the problem led engineers to let opportunities among plants for the integration of heat unexplored.
In this work the possibilities of the heat integration among several plants are analyzed. A systematic procedure is presented to detect energy savings, as well as the good configuration of circuit among plants to carry out the integration. The work begin whit the use of pinch analysis in each plant with the objective to analyze the possibilities of saving of the integrated site.
The plants analyzed in the integration are sugar - paper- ethanol and biomass factory

Key words: total site integration, heat integration, pinch analyis

Introducción

La integración de energía entre plantas puede llevarse a cabo utilizando flujos del proceso o indirectamente utilizando fluidos intermedios como vapor. Estudios realizados por Linnhoff, (1983) y Hui y Ahmad (1994), (1991), para la integración de calor en un sitio total ayudaron a determinar los niveles de generación de vapor para indirectamente integrar diferentes procesos. Por otro lado Rodera y Bagajewicz (2000), desarrollaron una estrategia para integrar energéticamente dos plantas y demostraron los inconvenientes del uso del vapor como fluido intermedio. En ese caso la aplicación del análisis pinch mostró que la transferencia de calor efectiva entre los puntos pinchs de ambas plantas conduce a ahorros de vapor.
En este trabajo se presenta el modelo matemático para la obtención de ahorros de energía en la integración de dos plantas. Las plantas analizadas en primer lugar son una fabrica de azúcar y una fabrica de papel. La integración material y energética de los procesos de producción de azúcar y papel tiene varios propósitos entre estos podemos mencionar:

- racionalizar el uso de los portadores energéticos, particularmente el bagazo, dado su cualidad de ser materia prima y combustible
- disminuir el efecto negativo sobre el medio ambiente de los residuales de ambos procesos, particularmente el papelero donde se genera en la etapa de pulpeo del bagazo con sosa cáustica el licor negro el cual es un residual muy agresivo para el medio ambiente.

Por tanto, la estrategia que se sigue al analizar la integración de estos procesos comprende los siguientes puntos:

- Disminuir los consumos energéticos en los sistemas involucrados
- Implementación del pulpeo con etanol para la cocción del bagazo usando proporciones pequeñas de sosa.

Desarrollo

Teniendo en cuenta los objetivos que persigue la integración y que se señalaron anteriormente se mantuvo en la etapa de pulpeo el uso del vapor de agua a 7 Kg/cm^2 y 170^0C como medio de calentamiento. En estas

condiciones los residuales obtenidos son menos agresivos y existe la posibilidad de proponer a la fábrica un sistema de tratamiento factible técnico y económico.

Por otro lado, se propone producir en fábrica adjunta a la de azúcar instalada al efecto y utilizando como sustrato miel final y mostos, las cantidades de alcohol etílico necesarias para el pulpeo con etanol. La fábrica de azúcar además aportaría las cantidades necesarias de vapor de agua y electricidad.

• Se propone para cerrar el circuito de producción y residuales la instalación de una pequeña planta para la producción de levadura torula.

• Producir toda la energía necesaria en un sólo lugar que sería la fábrica de azúcar en una planta termoeléctrica única.

• Usar como combustibles posibles: bagazo, residuos agrícolas cañeros (RAC) y fuel oil.

• Satisfacción total de las demandas térmicas y eléctricas para el sistema integrado.

• Garantizar las cantidades de bagazo usadas como combustible y materia prima para la papelera para la operación del sistema integrado todo el año (320 días); particularmente papelera, destilería y planta de levadura torula

De forma tal, que se está hablando de la integración de cuatro fábricas, cuyos procesos intercambiarían recursos materiales y energéticos. Estas fábricas serían: fábrica de azúcar, fábrica de pulpa y papel, fábrica de alcohol y fábrica de alimento animal.

El esquema general para la integración material y energética de las fábricas puede representarse de la siguiente forma, figura 1:

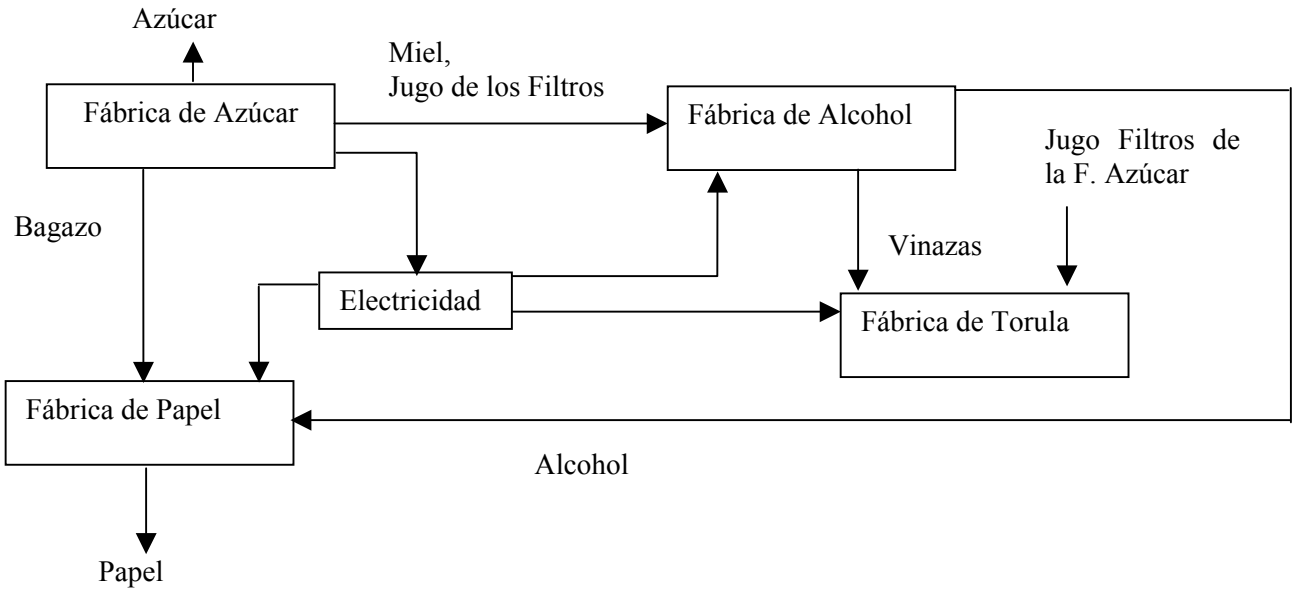


Figura 1. Esquema de integración material y energética propuesto para las plantas de derivados analizadas

En este punto es importante hacer notar algunas situaciones que planteó Puerta en su trabajo y que limitan la integración energética de las fábricas de azúcar y papel (Puerta, 2001):

- La capacidad instalada, 8 MW de potencia eléctrica, es insuficiente para la demanda de los procesos integrados considerando los estimados de la planta de alcohol.
- Los niveles de presión y temperatura del vapor que se requieren en la fábrica de azúcar y la planta de alcohol pueden ser satisfechos con el escape de los turbogeneradores, pero no así los de la papelera, que

necesita presiones de 3,5 y 8 kgf/cm^2, por lo que tendrían que satisfacerse con vapor directo reducido y enfriado en una estación de reducción-enfriamiento desde las condiciones de la caldera hasta las de papelera, procedimiento termodinámicamente indeseable por su baja eficiencia.

- El bagazo integral 50% de humedad que sobra después del consumo combustible del central solamente (8,7 t/h), es insuficiente para satisfacer la demanda de bagazo materia prima de la papelera a máxima capacidad, que de acuerdo a los índices de consumo es de 11 t/h.
- El esquema de cogeneración actual de Moncada con turbina de contrapresión no proporciona facilidades para la cogeneración en el período de no zafra.

Por otro lado, en el diseño de la fábrica de alcohol se tuvo en cuenta la posibilidad de utilizar el jugo de los filtros en la producción, lo que reduce el consumo de vapor en la casa de calderas. No obstante a esto, Puerta en sus trabajos sobre la integración energética entre la fábrica de azúcar y la papelera (Puerta, 2001) concluye que no es viable pues económicamente no se justifica, como causas principales de la irritabilidad del proyecto se considera la escasez de combustible, los altos consumos de calor y electricidad en contraposición a elevados costos de inversión.

En nuestro caso insistimos en analizar otras variantes, por ejemplo en este trabajo ya se logra una integración primero de la papelera, donde se proponen soluciones que reducen el consumo de combustible.

Se plantea la utilización de modernos métodos de integración energética los que ofrecen posibilidades superiores de valoración de alternativas a la vez a través de la modelación matemática. Con los mismos se exploran escenarios que se obvian con los métodos tradicionales de integración usados hasta la fecha.

La integración energética entre varias plantas involucra flujos de las diferentes plantas en un complejo, esto ha sido considerado siempre impracticable por varias razones. Entre los argumentos usados está el hecho de que las plantas están físicamente separadas y los costos de bombeo y tuberías se encarecen. Un poderoso argumento contra la integración es que las plantas casi siempre tienen diferentes horarios de arrancada y parada: si la integración es hecha entre dos plantas y una de las plantas es puesta fuera de servicio la otra tiene que tener una alternativa de red de intercambio de calor para alcanzar los niveles de temperatura requeridos en el proceso.

Las plantas pueden también operar en diferentes relaciones de producción, desviarse de las condiciones de diseño y se necesitan entonces intercambiadores de calor para alcanzar las temperaturas de operación deseadas. Todos estos aspectos desalentadores del problema, conducen a que se dejen oportunidades sin explorar para la integración de calor entre plantas.

No obstante lo anteriormente mencionado, se tienen ejemplos prácticos en los que oportunidades de ahorros reales se han implementado a través del aprovechamiento de flujos de procesos, (Ahmad, 1991), o indirectamente a través del uso del sistema de vapor en lo que ha sido llamado cinturón de calor, (Hui,1994).

Una de las interrogantes es si la transferencia de calor debe realizarse usando un flujo del proceso o un flujo intermedio. Pero la pregunta más importante es qué hacer cuando tiene lugar paradas de las plantas no simultáneas.

Luego de hacer un análisis de los argumentos anteriores se arribó a que la solución consiste en tener un diseño dual donde la integración de calor y la operación independiente de las plantas pueda lograrse.

Para obtener este diseño dual se deben seguir los siguientes pasos:

1. Aplicar el análisis pinch en cada planta para garantizar que individualmente estén trabajando de forma óptima desde el punto de vista energético.
2. Valorar las necesidades de calentamiento y enfriamiento de las plantas en un sitio total para aplicar el método pinch en la misma y aprovechar las posibilidades de integración de los procesos

Si se garantizan los dos puntos anteriores, al ocurrir alguna parada en las plantas integradas el resto podrá seguir trabajando en su condición óptima energética.

El modelo de integración de plantas debe responder a lo siguiente:

1. Identificar el máximo de ahorro de energía posible para todo el sistema

2. Determinar el número mínimo de interconexiones entre las plantas para obtener los ahorros previamente determinados
3. Obtener la localización óptima de los circuitos atendiendo a las restricciones que se planteen
Rodera y Bagajewicz, (2000), demostraron que la transferencia de calor entre plantas puede ocurrir en tres regiones: encima del pinch, entre los pinchs de ambas plantas y debajo del pinch. La figura 2, muestra un esquema para el caso de dos plantas.

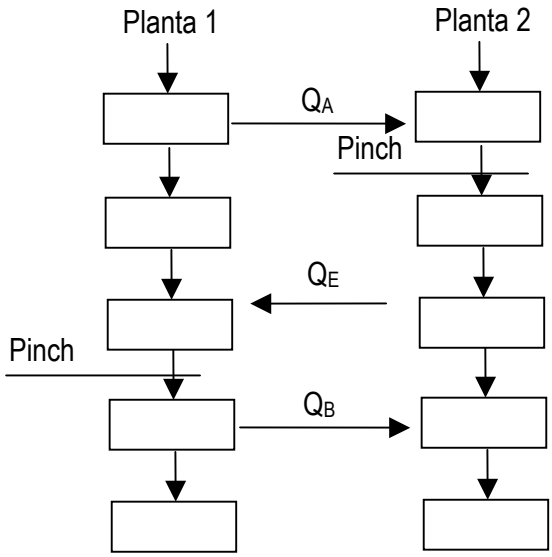


Figura 2. Regiones para la ocurrencia de la transferencia de calor en la integración de dos plantas

La transferencia de calor entre los pinchs conduce a ahorros de energía y a la reducción de las utilidades de calentamiento en el sitio total. La cantidad de calor transferido en esta zona se refiere como calor efectivo, Q_E. Por otro lado se ha comprado de trabajos reportados que no podrán obtenerse ahorros netos de calor por la transferencia encima y debajo del pinch, sin embargo, de acuerdo a la figura anterior la transferencia de calor de la planta 1 a la 2, Q_A, Q_B, en cualquiera de esta regiones, puede facilitar la transferencia de calor en la región entre los pinchs, incrementar los ahorros de energía, por lo tanto Q_A y Q_B, son llamados "calor asistido".
El modelo para alcanzar el máximo ahorro de energía para el caso de dos plantas y que será planteado a continuación constituye el punto de partida para el desarrollo de un modelo general para n plantas.
Para alcanzar la minimización del consumo energético la función objetivo será minimizar la suma de todas las utilidades usadas. El flujo de calor entre un conjunto de n plantas puede ser generalizado de las ecuaciones del modelo para dos plantas. A continuación se muestra la representación de la transferencia de calor en los intervalos y el modelo para alcanzar un ahorro máximo de energía.

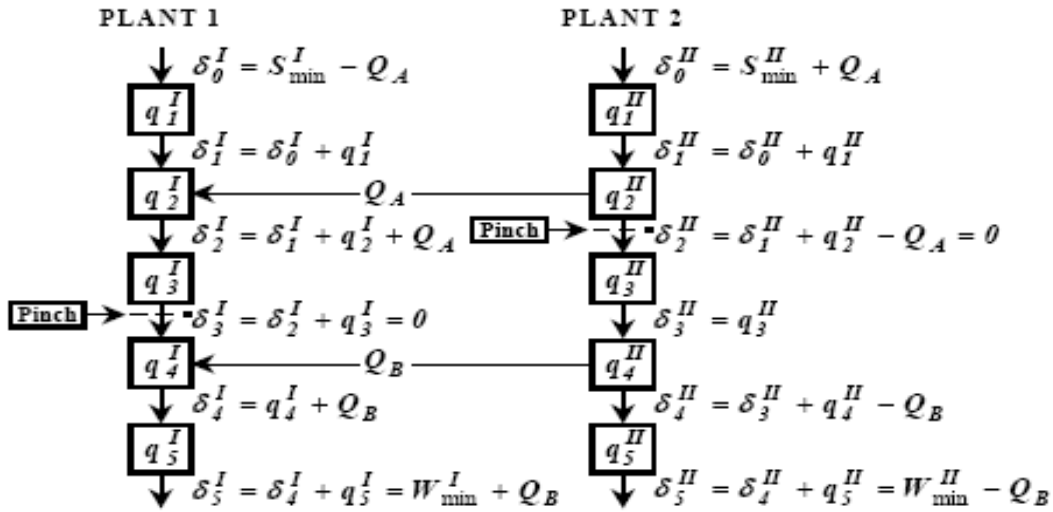


Figura 3 Representación de la transferencia de calor en cada región

Estructura del modelo para el caso de dos plantas:

$$
\begin{aligned}
\mathbf{P1} = {} & Min\,(\delta_0^I + \delta_0^{II}) \\
& s.t \\
& \delta_0^I = \hat{\delta}_0^I + Q_A - Q_E \\
& \delta_0^{II} = \hat{\delta}_0^{II} - Q_A \\
& \left.\begin{aligned} \delta_i^I &= \delta_{i-1}^I + q_i^I - q_i^A \\ \delta_i^{II} &= \delta_{i-1}^{II} + q_i^{II} + q_i^A \end{aligned}\right\} \quad \forall i = 1,\ldots,p^{II} \\
& \left.\begin{aligned} \delta_i^I &= \delta_{i-1}^I + q_i^I + q_i^E \\ \delta_i^{II} &= \delta_{i-1}^{II} + q_i^{II} - q_i^E \end{aligned}\right\} \quad \forall i = (p^{II}+1),\ldots,p^I \\
& \left.\begin{aligned} \delta_i^I &= \delta_{i-1}^I + q_i^I - q_i^B \\ \delta_i^{II} &= \delta_{i-1}^{II} + q_i^{II} + q_i^B \end{aligned}\right\} \quad \forall i = (p^I+1),\ldots,m \\
& \delta_m^I = \hat{\delta}_m^I - Q_B \\
& \delta_m^{II} = \hat{\delta}_m^{II} + Q_B - Q_E \\
& \delta_i^I, \delta_i^{II}, q_i^A, q_i^E, q_i^B \geq 0
\end{aligned}
$$

Figura 4. Modelo para la integración energética entre varias plantas.

Leyenda:

$\hat{\delta}_0$= exceso de original mínimo del primer intervalo
Q_A= calor total transferido en la zona encima de ambos pinchs
Q_E= calor total transferido en la zona de transferencia efectiva de calor (entre los pinchs)
Q_B= calor total tranferido en la zona debajo de ambos pinchs
q^I= exceso o demanda de calor en la planta 1
q^{II}= exceso o demanda de calor en la planta 2
m= # total de intervalos
m^I= # total de intervalos en la planta 1
m^{II}= # total de intervalos en la planta 2
δ= cascada mínima de calor
p^I y p^{II}= respectivos puntos pinchs, en el modelo se asume que $p^I < p^{II}$

Conclusiones

1. El modelo para la integración energética propuesto permite la integración de 2 plantas y puede ser generalizado para el caso de n plantas

2. A través de la integración entre plantas se pueden identificar oportunidades de ahorro energético no detectables por los métodos convencionales

3. Se plantea un esquema de integración energética que además analiza las posibilidades de integración material de los procesos de fabricación de papel, alcohol, azúcar y torula

4. La implementación del pulpeo con etanol en el caso de estudio ofrece la posibilidad de integración de esta planta a otras fábricas de derivados

Bibliografía

1. Ahmad S. and C. W. Hui, (1991), Heat recovery between areas of integrity. Computers Chem. Engng 12, 809-832.
2. Bagajewicz M. J. and Rodera, (2000), H., Energy savings in the total site. Heat integration across many plants. Computers chem. Engng 24, 1237-1242.
3. Cerda J., A. W. Westerberg, D. Mason and B. Linnhoff, (2000) "Minimum utility usage in heat exchanger network synthesis," Chem. Engng Sci., 38, 373
4. Hui C. W. and S. Ahmad, (1994), "Total site heat integration using the utility system," Comput. Chem. Engng., 18, 729.
5. Linhoff B. and E. Hindmarsh, (1983), "The pinch design method for heat exchanger networks," Chem. Engng Sci., 38, 745.
6. Papoulias S. and I. E. Grossmann, "A structural optimization approach in process synthesis-II: heat recovery networks," Comput. Chem. Engng., 7, 707 (1983).
7. Puerta J.F., Alvarez C., (2001) Análisis de alternativas de integración de un ingenio de producción de azúcar crudo con una fábrica de papel. (p. 26) Centro

LA INDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR COMO PRODUCTORA DE PORTADORES ENERGÉTICOS: CONSIDERACIONES TERMOECONÓMICAS.

SUGAR CANE INDUSTRY AS A SOURCE OF ENERGY: THERMOECONOMIC APPROACH.

Pablo Roque Díaz.

Profesor Titular, Dr en Ciencias Técnicas. Centro de Estudios de Termoenergética Azucarera. CETA. Universidad Central de las Villas. C. Camajuaní, km 5, Santa Clara V.C. CP 54830, Cuba
proque@fim.uclv.edu.cu

RESUMEN

La industria de la caña de azúcar se distingue por ser esencialmente autosustentable desde el punto de vista energético, pues la planta de caña, además de aportar la materia prima para el esquema tradicional en que el único producto de interés es el azúcar, trae además consigo la energía necesaria para el proceso en la forma de biomasa vegetal (principalmente bagazo). Este hecho determina también la neutralidad de esta industria desde el punto de vista del balance de carbono en la atmósfera. A esto se une el hecho de poder servir de fuente de diversos portadores energéticos, siendo los más conocidos la energía eléctrica y algunos combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.
Esta característica es generalmente desaprovechada ya que el aporte real que tradicionalmente se convierte en energía útil es menos de una décima parte del total de exergía contenido en la caña, lo que en general se debe a razones económicas. Siendo el principal recurso energético primario autóctono para la economía cubana, cerca de la mitad del insumo total de exergía de producción nacional incluso en las condiciones de la deprimida agricultura cañera de los últimos años, y considerando la tendencia creciente de los precios del petróleo en los mercados internacionales, se hace evidente la necesidad de profundizar en la evaluación de las posibilidades de obtener los máximos beneficios con el mínimo costo e impacto ambiental negativo, para lo cual el enfoque termoeconómico representa una poderosa e insustituible herramienta de análisis.
Se presenta un análisis termoeconómico comparativo de diferentes esquemas existentes y posibles de organización de una industria basada en la transformación de la caña de azúcar y que esté encaminada no únicamente a producir azúcar y derivados tradicionales sino también y principalmente portadores energéticos autóctonos y renovables.

Palabras claves: energía renovable, Termoeconomía, biomasa cañera

SUMMARY

The sugar cane industry is distinguished to be energetically self-sustainable since, besides the prime matter, the cane plant provides also the necessary energy for the process in the form of biomass (mainly bagasse). This also determines the neutrality of this industry referred to the global atmospheric carbon balance. Moreover, It can also serve as a renewable source of other energy carriers, such as electric power, solid, liquid and gaseous fuels.
This characteristic remains generally unused so the fraction of cane energy that becomes useful energy is only about one tenth of the exergy content in the cane, mainly due to economic reasons. Being the main autochthonous primary energy resource for the Cuban economy, about half of the country produced

exergy input even with the depressed cane harvest of last years, and considering the growing tendency of the oil prices, it becomes evident the necessity to deepen in the evaluation of the existing possibilities for obtaining the maximum profits with the minimum cost and negative environmental impact. For that objective, thermoeconomic approach means a powerful tool for analysis.
A comparative thermoeconomic analysis is presented for some existing and possible organization schemes of an industry based on the transformation of sugar cane not only targeted to produce sugar and traditional by-products but also and mainly autochthonous renewable energy carriers.

Keywords: Renewable energy, Thermoeconomics, sugar cane biomass.

INTRODUCCIÓN

La industria de la caña de azúcar se distingue por ser esencialmente autosustentable desde el punto de vista energético, pues la planta de caña, además de aportar la materia prima para el esquema tradicional en que el único producto de interés o en todo caso, el principal, es el azúcar, trae consigo la energía necesaria para el proceso en la forma de biomasa vegetal (principalmente bagazo). La caña de azúcar es sin dudas una de las alternativas energéticas de muchas economías emergentes, por la elevada efectividad de dicha planta de convertir energía solar en biomasa cañera. De hecho, existe una industria transformadora de caña de azúcar distribuida en muchos países del mundo, que aunque permite la obtención de recursos energéticos secundarios, no está encaminada a ese objetivo principal.

La explotación industrial de la caña de azúcar es una alternativa caracterizada por su neutralidad desde el punto de vista del balance de carbono en la atmósfera, que además de aportar los tradicionales productos puede servir de fuente de cantidades considerables de diversos portadores energéticos, siendo los más conocidos la energía eléctrica y algunos combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

El esquema tradicional y más extendido está dirigido básicamente a la obtención de azúcar, con cantidades limitadas de energía eléctrica y mecánica para el abastecimiento de las necesidades propias del proceso. Han sido aplicadas o investigadas alternativas tecnológicas que permiten elevar el aprovechamiento de las posibilidades exergéticas de la materia prima, de unos 1700 kWh/t, *(Roque y otros, 1998)*, y es con frecuencia necesario realizar estudios comparativos de dichas alternativas, para cuya valoración se requiere de criterios unificadores de la determinación de los costos de producción de productos múltiples de una misma instalación industrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Costo exergético y costo exergoeconómico.

Según *Valero y otros, (1986)* se entiende por costo exergético *(B*)* del producto de cierto proceso productivo, el valor de la exergía realmente invertida para obtener dicho producto. La razón del costo exergético a la exergía *(B)* se denomina costo exergético unitario y su inverso eficiencia exergética.

$$k^* = \frac{B^*}{B} \rightarrow \text{Costo exergético unitario}$$

$$\eta_b = \frac{1}{k^*} \rightarrow \text{Eficiencia exergética}$$

El costo exergético en su definición incluye únicamente consideraciones termodinámicas sin tener en cuenta factores económicos entre los cuales son fundamentales los costos monetarios de las corrientes

energéticas y los de aquellos factores no energéticos implicados en el proceso, como los costos de inversión, de operación y mantenimiento y otros. Un análisis que tenga en cuenta todos los factores permite la obtención de los costos exergoeconómicos, Π, implicados en el proceso. En general, para un proceso o sistema productivo *(Valero y otros, op. cit.)* puede representarse esquemáticamente el balance como sigue:

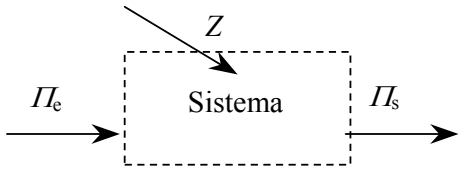


Fig. 1. Balance de costos exergoeconómicos del sistema.

$$\Pi_s = \Pi_e + Z$$

donde:
Π_s y Π_e – flujos de costos exergoeconómicos de los productos y de los insumos respectivamente (en \$/s, por ejemplo),
Z - flujos de costos no energéticos: inversiones, operación, mantenimiento, etc., en las mismas unidades.

En general, los flujos de costos exergoeconómicos están relacionados con los flujos de exergía mediante los costos exergoeconómicos unitarios *(Valero y otros, op. cit.)*:

$$c^* = \frac{\Pi}{B}; \qquad c_e^* = \frac{\Pi_e}{B_e}; \qquad c_s^* = \frac{\Pi_s}{B_s}$$

donde c^*_e y c^*_s son los costos exergoeconómicos unitarios de los insumos y de los productos respectivamente, en \$/kJ, en \$/kWh ó en alguna otra unidad conveniente.

Es evidente del balance que el costo exergoeconómico unitario se eleva siempre en todo proceso entre la entrada y la salida por dos razones: la exergía se destruye y se pierde, y los costos monetarios resultan incrementados, en general, por gastos no energéticos.

Para el caso del análisis exergoeconómico de un determinado esquema tecnológico, tal como el de un complejo sucroenergético a partir de la caña de azúcar, la aplicación de los principios de la teoría del costo exergético permite la valoración objetiva de tal sistema en que la propia existencia de productos múltiples dificulta la asignación de la parte alícuota de los costos de producción que corresponde a cada uno de dichos productos.

Las reglas de asignación de costos exergoeconómicos en el caso de sistemas con productos múltiples, como es el caso de la industria de la caña de azúcar, plantean la igualdad de los costos exergoeconómicos unitarios de todos los productos *(Valero y otros, op. cit.)*. Estas reglas permiten establecer objetivamente la distribución de los costos de producción en una instalación industrial que, además de azúcar y derivados, produzca también portadores energéticos, distribuyendo los costos (exergoeconómicos) globales proporcionalmente a los flujos de exergía que acompañan a cada corriente de productos.

Así, por ejemplo, para una fábrica tradicional de azúcar de caña, cuyo esquema global simplificado puede ser el que se muestra en la fig. 2, la aplicación de dichas reglas arroja, considerando como productos el azúcar, la miel final, el bagazo sobrante, la cachaza y la energía eléctrica entregada, y como recursos

exergéticos consumidos la caña, el agua y la energía eléctrica consumida, resulta evidente que el balance exergético arroja, incluyendo un término L representativo de las pérdidas de exergía en las corrientes de salida no productivas (gases de combustión, fugas de vapor y de calor, aguas residuales, etc.), y un término D (destrucción de exergía por irreversibilidades internas):

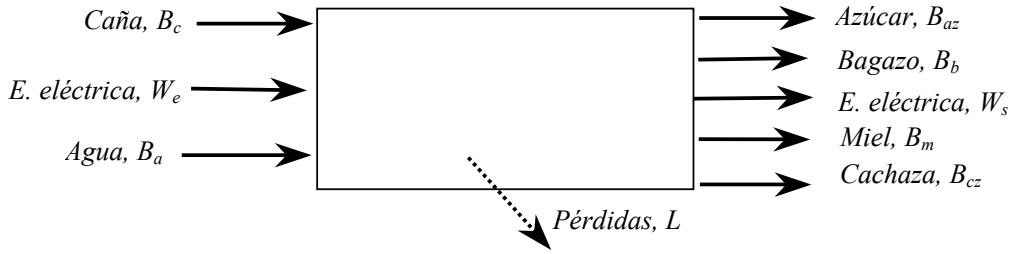


Fig. 2. Balance exergético del sistema.

$$B_c + B_a + W_e = B_{az} + B_m + B_{cz} + B_b + W_s + L + D$$

Para este caso, los costos exergéticos globales (ΣB^*) están representados por el miembro izquierdo de la expresión, mientras que los productos son los componentes útiles del miembro izquierdo (excluyendo las irreversibilidades $I = L+D$). El costo exergético unitario global vendrá dado por:

$$k^*_{global} = \sum B^* \Big/ \sum B_{prod} = \left(B_c + B_a + W_e\right) \Big/ \left(B_{az} + B_m + B_{cz} + B_b + W_s\right)$$

Según el principio básico de la teoría del costo exergético, en un sistema de productos múltiples, los costos exergéticos unitarios son iguales, por lo tanto:

$$k^*_{global} = k^*_{az} = k^*_m = k^*_{cz} = k^*_b = k^*_{Ws}$$

De ahí que el costo exergético de cada producto sea proporcional a su exergía:

$$B^*_{az} = k^*_{global} B_{az}$$
$$B^*_m = k^*_{global} B_m$$
$$B^*_{cz} = k^*_{global} B_{cz}$$
$$B^*_{Ws} = k^*_{global} W_s$$

Mediante un análisis similar de los costos exergoeconómicos que incluyen adicionalmente el flujo de costos no energéticos implicados en el proceso, y que pueden también incluir términos de valoración externa tales como costos ambientales de la utilización de recursos naturales, de eliminación o neutralización de desechos y otros, créditos de carbono secuestrado y otros, puede llegarse a criterios de comparación, diagnóstico, optimización etc., basados en la determinación de los costos exergoeconómicos unitarios de los productos. Dichos costos pueden ser tomados convencionalmente como iguales para todos los productos múltiples de una instalación, con lo cual los costos exergoeconómicos totales de cada producto serán también proporcionales de a sus flujos de exergía.

En la fig. 1 se indican en un diagrama los flujos de costos exergoeconómicos de los insumos y productos para el caso analizado.

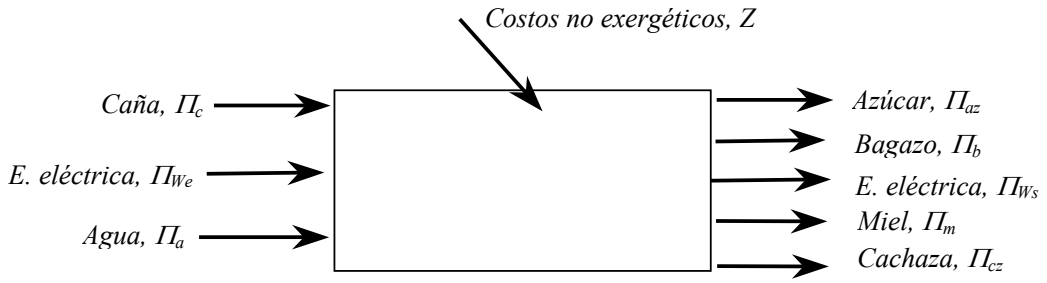


Fig. 3. Balance de costos exergoeconómicos del sistema

Partiendo del principio de la conservación de los costos así como de la necesidad de cargarlo sólo a los productos (salidas útiles) se obtiene:

$$\Pi_c + \Pi_a + \Pi_{We} + Z = \Pi_{az} + \Pi_m + \Pi_{cz} + \Pi_b + \Pi_{Ws} \text{ en \$/s}$$

El costo exergoeconómico unitario global será:

$$c^*_{global} = \sum \Pi_{\text{prod}} \Big/ \sum B_{prod} = \left(\Pi_{az} + \Pi_m + \Pi_{cz} + \Pi_b + \Pi_{Ws}\right) \Big/ \left(B_{az} + B_m + B_{cz} + B_b + W_s\right) \text{ en \$/kJ}$$

que es igual, además a los costos exergoeconómicos unitarios de los productos

$$c^*_{global} = c^*_{az} = c^*_m = c^*_{cz} = c^*_b = c^*_{Ws}$$

con lo que sus costos totales resultarán también proporcionales a sus exergías:

$$\Pi^*_{az} = c^*_{global} B_{az}$$
$$\Pi^*_m = c^*_{global} B_m$$
$$\Pi^*_{cz} = c^*_{global} B_{cz}$$
$$\Pi^*_{Ws} = c^*_{global} W_s$$

Con el procedimiento descrito fueron estimados mediante índices típicos los valores de los costos exergéticos y exergoeconómicos totales y unitarios de los productos para tres tipos de instalaciones, con el fin de ilustrar la aplicación del procedimiento a la comparación de alternativas y a la evaluación de sus posibilidades. Los esquemas objetos de estudio fueron:

Variante 1: Central azucarero con un esquema tradicional con turbinas de vapor de contrapresión y presión de vapor baja, en un escenario caracterizado por la producción de azúcar, miel final y cachaza, y una entrega limitada de energía eléctrica a un consumidor externo.

Variante 2: Instalación sucroenergética con esquema mejorado de turbinas de vapor de alta presión de vapor directo con condensación y extracción de vapor de escape, electrificación completa, reducido consumo de vapor de proceso por utilización de técnicas perfeccionadas, y una alta entrega de energía eléctrica y etanol combustible, como productos fundamentales, y eventual utilización de un combustible adicional para prolongar la explotación de la instalación durante la mayor parte del año.

Variante 3: Instalación sucroenergética avanzada (perspectiva) con la utilización de gasificador integrado de biomasa, ciclo combinado de turbinas de gas y turbinas de vapor, bajos consumos propios de portadores energéticos, y utilización de un combustible adicional para prolongar la explotación de la instalación durante la mayor parte del año.

Los cálculos principales se efectuaron mediante un libro de cálculo Excel asumiendo un conjunto de suposiciones sobre los índices característicos de cada variante, cuyos valores son totalmente arbitrarios y han de interpretarse únicamente como valores ilustrativos para ejemplificar los procedimientos de evaluación utilizados. Dicha condición no disminuye el valor del estudio realizado y de sus conclusiones, toda vez que fueron tomados valores iguales de los índices en todas las variantes, excepto para aquellas magnitudes que caracterizan las variantes. Dichas suposiciones fueron las siguientes:

Tabla I. Índices arbitrarios de cálculo utilizados.

	Índices											
	Molida		Rendim. Indust.	Miel / caña	Cachz. / caña	En. El. Cons.	En. El. Entreg.	Tarifa En. Electr.	Precio caña	Índice salarial	Índice invers.	Índice O-M
Var.	t/h	kg/s	t/t	t/t	t/t	kWh/t	kWh/t	$/kWh	$/t	$/t	$/t	$/t
1	300	83.33	0.12	0.04	0.02	7	55	0.065	21.65	1.5	0.18	0.6
2	300	83.33	0.12	0.04	0.02	15	142	0.065	21.65	1.5	0.25	0.7
3	300	83.33	0.12	0.12	0.02	30	342	0.065	21.65	1.5	0.32	0.8

RESULTADOS

Los cálculos realizados posibilitan evaluar en cada una de las variantes el proceso global de transformación exergética que permite convertir una fuente primaria, en este caso, renovable (la planta de caña), que se caracteriza por su valor exergético (básicamente en forma de sacarosa y materiales fibrosos lignocelulósicos) en productos finales (en este caso, azúcar, energía eléctrica, miel final y cachaza). Aunque entre los insumos se incluye también la energía eléctrica, en general se parte de la suposición de que la exergía de la caña es suficiente para abastecer las necesidades propias del proceso y dejar, además, un excedente comercializable.

Se presenta a continuación la tabla con los resultados del cálculo. La valoración de los insumos se efectúa mediante los valores de algunas magnitudes fundamentales: la exergía *(B)*, el costo exergético *(B*)* y el costo exergoeconómico (*Π*). A fin de facilitar la comparación entre sí de magnitudes aparentemente disímiles los flujos de todos los insumos, productos y costos exergéticos se han expresado en kW, los costos exergoeconómicos en $/h y los costos unitarios *(c*)* se expresan por kWh, independientemente de su naturaleza física, lo cual es posible debido al carácter universal del concepto de exergía (ver tabla II).

Tabla II. Flujos de costos exergéticos y exergoeconómicos totales y unitarios de los insumos principales.

	Insumos								
	Caña					Energía eléctrica			
	m	B	B*	Π	c*	B	B*	Π	c*
Var	t/h	kW	kW	$/h	$/kWh	kW	kW	$/h	$/kWh
1	300	513333	513333	6495	0.0127	2100	2100	137	0.0650
2	300	513333	513333	6495	0.0127	4500	4500	293	0.0650
3	300	513333	513333	6495	0.0127	9000	9000	585	0.0650

Como resultado de los cálculos, se han obtenido los valores correspondientes (*B, B*, k*, Π y c**), expresados en las mismas unidades, de los flujos de productos principales, que se muestran en la tabla III. Debe notarse que los costos unitarios, tanto exergéticos, como exergoeconómicos de todos los productos de una misma variante son iguales, lo que se toma como premisa según las reglas establecidas para la distribución de costos. Esto constituye una característica fundamental de este método que puede ser utilizada para evaluar objetivamente la asignación de costos en sistemas de producciones múltiples.

Tabla III. Flujos de costos exergéticos y exergoeconómicos totales y unitarios de los insumos principales productos considerados.

	Productos											
	Azúcar						Energía eléctrica					
	m	B	B*	k*	Π	c*		B	B*	k*	Π	c*
	t/h	kW	kW		$/h	$/kWh		kW	kW		$/h	$/kWh
1	36	148000	392468	2.652	5573	0.0377		16500	43755	2.652	621	0.0377
2	36	148000	347630	2.349	5052	0.0145		42600	100061	2.349	1454	0.0145
3	36	148000	275654	1.863	4153	0.0151		102600	191095	1.863	2879	0.0151
	Cachaza						Miel final					
	m	B	B*	k*	Π	c*	m	B	B*	k*	Π	c*
	t/h	kW	kW		$/h	$/kWh	t/h	kW	kW		$/h	$/kWh
1	6	11667	30938	2.652	439	0.0377	12	18267	48440	2.652	688	0.0377
2	6	11667	27403	2.349	398	0.0145	12	18267	42906	2.349	624	0.0145
3	6	11667	21729	1.863	327	0.0151	12	18267	34022	1.863	513	0.0151

Finalmente, fueron determinados los valores de las eficiencias exergéticas de cada variante, los que se muestran en la tabla IV. Estos valores representan la fracción de la exergía total que entra al sistema productivo que es efectivamente transformada en productos exergéticos útiles (quedan excluidas las pérdidas, L y las destrucciones, D de exergía).

Tabla IV. Valores calculados de las eficiencias exergéticas globales de cada variante.

	η_{exerg} , %
1	37.71
2	42.57
3	53.69

DISCUSIÓN

El análisis detallado de los contenidos de las tablas de resultados hace evidente que el método propuesto permite describir de manera objetiva el conjunto de características de los sistemas analizados que tienen que ver con su eficiencia termodinámica (exergética) y rentabilidad económica, a partir de la determinación de los costos exergéticos y exergoeconómicos. Esta posibilidad que brindan las herramientas termoeconómicas, permite de manera objetiva resolver la histórica contradicción entre lo que es termodinámicamente eficiente, y aquello que es económicamente viable. Y permite, además unificar en el análisis los procedimientos basados en los dos principios básicos de la Termodinámica: el principio de conservación y transformación de la energía y el principio de su degradación.

Una comparación elemental de los valores de los costos exergéticos unitarios (*k**) de los productos muestra una evidente superioridad tanto termodinámica como económica de la variante 3 sobre la 2 y de esta sobre la 1 (variante tradicional) a pesar del carácter convencional de los valores de cálculo utilizados como ilustración. Si bien es cierto que dicho propio carácter no permite arribar a conclusiones válidas, no

lo es menos el hecho de que en general se dispone de dichos datos reales, mientras que hasta ahora no siempre ha quedado bien definida la mejor manera de utilizarlos para tomar decisiones en casos como el analizado.

Un valor adicional del método propuesto puede ser la utilización como función objetivo para procedimientos de optimización, de los índices de costos unitarios, que como queda claro son iguales para todas las producciones posibles en un sistema dado (optimización termoeconómica).

CONCLUSIONES

1. El método de evaluación global de los costos exergéticos y exergoeconómicos en un sistema complejo de transformación de materiales primarios en productos útiles caracterizados por los valores de su exergía permite valorar objetivamente la eficiencia termodinámica conjuntamente con la rentabilidad económica.
2. Para una industria de transformación de la caña de azúcar se dan las premisas fundamentales para lograr un elevado nivel de verosimilitud y objetividad en la evaluación de instalaciones industriales de diversos tipos concretos ya que tanto la materia prima como la inmensa mayoría de las diversas producciones que pueden obtenerse resultan apropiadas para su caracterización exergética.
3. Teniendo en cuenta la caída de los precios comerciales del azúcar, simultánea con la elevación de los precios de los portadores energéticos tradicionales y agotables, en particular del petróleo y sus derivados, resulta prometedor acometer proyectos de modernización encaminados a la obtención de altos índices de producción de portadores de alto contenido energético, tales como la energía eléctrica y el alcohol combustible. La valoración de dichos proyectos puede ser objetivamente realizada a partir de la determinación de los costos exergéticos y exergoeconómicos totales y unitarios para las diferentas salidas de productos.

REFERENCIAS

1. Valero, A., Lozano, M., Muñoz, M. (1986). A General Theory of Exergy Saving. *ASME, WAM* 1986 AES, vol. 2-3, pp 1-21.
2. Roque Díaz, P. y otros (1998). Hacia una Industria Sucroenergética Cubana: Consideraciones Generales. *International Sugar Journal,* 1998, vol. 100, N° 1199S, 532 – 536.
3. Roque Díaz, P., Rodríguez Portela, O. (2001). Análisis Termoeconómico de la Extracción de Sacarosa en un Escenario Sucroenergético: Consideraciones teóricas. *Centroazúcar*, N° 3, 2001, pp 46 - 53.
4. Roque Díaz, P., Wall, E., Wall, G. (2003). National Exergy Balance of Cuba: Pointing Towards a True Sustainable Development. *Memorias de la 3ª Conferencia Internacional Medio Ambiente Siglo XXI.* Santa Clara, Noviembre 2003.

ANÁLISIS ENERGÉTICO EN SISTEMAS DE TRANSPORTACIÓN DE SÓLIDOS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.

ENERGETIC ANALYSIS IN SOLIDS CONVEYING SISTEMS IN THE SUGAR INDUSTRY.

Autores: MSc. Ing. Pedro Pablo Hidalgo Reina.

Universidad Central, Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Cuba.
Email: **pedroph@fim.uclv.edu.cu**

MSc. Ing. Eusebio Pérez Castellano.

Universidad Central, Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Cuba.
Email: **eusebiopc@fim.uclv.edu.cu**

Ing. Alberto Azaret Gali

Sede Universitaria de Sancti Spiritus, Sancti Spiritus, Cuba.
Email: azaret@suss.co.cu

Ing. Ramón Cruz Rojas

Universidad Central, Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Cuba.
Email: **cruzrojas@fim.uclv.edu.cu**

RESUMEN:

Se desarrolla una determinación teórica de la capacidad y del consumo de potencia en distintos equipos de transportación de sólidos industriales considerando los principales factores influyentes. Para lo anterior se creo un sistema de computo que a partir de los datos constructivos del equipo en cuestión, determina los parámetros fundamentales, entre ellos la capacidad de transportación y la potencia demandada. Este sistema se aplicó primero a nivel de la Planta Piloto Azucarera "José Martí" de la Universidad Central, Marta Abreu de Las Villas, en Santa Clara, y después para los sistemas de transportación de sólidos de los Centrales Azucareros "Melanio Hernández" y "Obdulio Morales", ambos de la provincia de Sancti Spiritus, y los valores obtenidos demuestran que a menudo estos equipos operan realmente por debajo de los valores instalados, tanto en lo que se refiere a capacidad como al consumo de potencia. A partir de los resultados anteriores, se realiza un análisis energético de estos sistemas de transportación, permitiendo la toma de medida para propiciar el aumento de la eficiencia de dichas fabricas, así como para contribuir al esfuerzo que realiza el país por el mejoramiento ambiental a partir de la disminución de combustible fósiles.

Palabras Claves: Capacidad de transportación; Potencia demandada; Transportación de sólidos; Análisis energético; Eficiencia energética.

ABSTRACT:

In this paper a theoretical determination of the capacity and of the consumption of power in differents solids industrials conveyors is developed, considering the main influential factors. For the above-mentioned features computer system was created which becomes the constructive data of the conveyor and determines the fundamental parameters, among them the transportation capacity and the demanded power. This system was applied first in the Sugar Pilot Plant "Jose Marti" an after that for the systems of transportation of solids of the sugar mills "Melanio Hernández" and "Obdulio Morales", both of Sancti Spiritus, and it obtained values which demonstrate that often these equipments really operate below the installed values, so much in what refers to capacity like the consumption of power. Starting from the previous results, an energy analysis of these transportation systems was carried out, allowing the taking of measure to propitiate the increase of the efficiency of such a mills, as well as it contributed to carries out the effort that the country developes for the environmental improvement by mean of the fossil fuel decrease .

Key words: Conveying capacity; Power consumption ; Transportation of solids; Energetic analysis; Energetic efficiency.

INTRODUCCIÓN:

No obstante la diversificación de la economía cubana que con la introducción del turismo, la ampliación de la industria niquelífera y otras, se ha garantizado un esquema de desarrollo más adecuado, la agroindustria de la caña de azúcar sigue y seguirá ocupando un lugar importante en el quehacer económico del país estableciendo como vías fundamentales para su desarrollo su diversificación y el aumento de la eficiencia.

Este último aspecto es medular en el funcionamiento de cualquier industria debido a la necesidad del ahorro por sus implicaciones económicas y por las afectaciones que produce al medio ambiente el consumo excesivo de energía que generalmente se produce a partir de combustibles no renovable y por la contaminación ambiental que ello trae aparejado.

La elevación de la eficiencia en los procesos industriales es abordado en la Resolución Económica, V Congreso del P.C.C. (1995) y tiene cada vez mayor importancia con vistas al aumento de la competitividad, disminución los costos y a la reducción del impacto ambiental ya que la energía ahorrada a través del aumento de la eficiencia implica en general la disminución en el consumo de combustible fósiles.

En especifico, en la agroindustria de la caña de azúcar la energía consumida se genera casi totalmente a partir de la combustión de un deshecho sólido (bagazo), con la cual se produce vapor usado para el movimiento de los diversos equipos de la industria, evaporación de los jugos y cocinado del azúcar, así como para la producción de electricidad que abastece las necesidades del propio central, y de lograrse la eficiencia necesaria, se puede entregar energía eléctrica a la red nacional. Esto disminuye la generación a partir de combustibles fósiles, con lo que se contribuye al esfuerzo que realiza el país por el mejoramiento ambiental.

Las grandes potencialidades de ahorro de energía existentes a partir del aumento de la eficiencia en las distintas áreas de la industria azucarera es demostrado por Reyes (2003). En este trabajo se realiza un análisis general de los consumos en los distintos Centrales Azucareros de la Provincia de Villa Clara, y entre las áreas valoradas están los transportadores de sólidos como elementos de gran potencialidad en el aumento de la eficiencia.

En el consumo energético de un central azucarero es de vital importancia tener presente el movimiento de los distintos insumos y productos, y en especifico, la manipulación de los sólidos, desde la entrada de la caña hasta la salida del azúcar y que esto se haga de la forma mas eficiente posible, con el menor gasto de energía.

Según lo consultado en la bibliografía, de lo cual son ejemplos García (1987), Herrera (1995) y la experiencia de este propio autor (2001), la transportación de sólidos en un central azucarero puede caracterizarse de la siguiente forma:

• **Sistema de transportación de la caña**: Su función principal es trasladar la caña desde su entrada por el basculador, hasta la primera unidad de la planta de moler, pasando por distintos equipos preparadores, así como garantizar la altura necesaria.
• **Sistema de transportación del bagazo**: Este sistema toma el bagazo a la salida del ultimo molino, lo traslada hasta la alimentación a los hornos, y debe garantizar además llevar el bagazo sobrante hasta su almacenamiento en la casa de bagazo. También debe ser capaz de alimentar a los hornos tomando bagazo desde su almacenamiento en la casa de bagazo.
• **Sistema de transportación del bagacillo:** Debe trasladar el bagacillo impregnado en guarapo que queda en los coladores a la salida de los molinos, hasta llevarlo a la entrada de una de las primeras unidades de molida.
• **Sistema de transportación del azúcar:** Su función es llevar el azúcar desde su salida de las centrífugas hasta el punto de envase en sacos, y de aquí hasta el almacén, o hasta este ultimo de forma directa, si es que el azúcar se almacena a granel.
Por la cantidad y diversidad de equipos empleados en la transportación de sólidos en un central azucarero, la potencia instalada puede llegar a varios cientos de kW y en la casi generalidad de los casos estos se mueven con motores eléctricos, consumidores de energía de alta calidad.
En la Universidad Central, Marta Abreu de Las Villas existe la Planta Piloto Azucarera "José Martí", la cual actualmente tiene como objetivo central de su funcionamiento, el desarrollo de investigaciones en la rama de la agroindustria de la caña de azúcar acorde a los intereses fundamentales de desarrollo en este sector.
Castro (2001) define el significado de un logro en la ciencia y la importancia de que los resultados de la actividad científico-técnica hayan pasado por etapas de desarrollo con una comprobación practica a nivel de Planta piloto.
La Línea de Investigación en Maquinaria Azucarera y Transportadores Industriales del Departamento de Mecánica Aplicada y Dibujo de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central, Marta Abreu de Las Villas, ha estado trabajando en el análisis energético en la Planta de Molida así como en los sistemas de transportación de sólido, primero a nivel de Planta Piloto, y después introduciendo esos resultados a escala industrial. Específicamente en el área de la transportación de sólidos, se ha valorado la capacidad y potencia instalada de cada equipo y comparando estos valores con los reales necesarios se han establecidos métodos que propician la toma de medidas dirigidas al aumento de la eficiencia. Para ello se han usado métodos de computo que garantizan una mayor rapidez en la obtención de los resultados así como una alta confiabilidad de los mismos.
El presente trabajo se propone el objetivo de:
Establecer el consumo energético en sistemas de transportación de sólidos en la industria azucarera utilizando medios de cómputos que permitan conocer la eficiencia de los distintos equipos de forma rápida y fiable, y proponer medidas que mejoren la eficiencia del sistema de transportación en cuestión, y de la industria en general.

MATERIALES Y METODO:

1) Cálculos realizados y expresiones empleadas.

A partir de los datos de los equipos transportadores instalados en la Planta Piloto Azucarera "José Martí" de la Universidad Central, Marta Abreu de Las Villas, y para cada uno de ellos, se realizaron los cálculos necesarios para obtener los valores de capacidad instalada y potencia necesaria, así como los cálculos de comprobación del elemento de tracción. Según Spivakovsky (1980) y Pérez (1998), estos cálculos en esencia son los siguientes:
• Comprobación de la posibilidad de transportación para los tramos inclinados, en especial en el caso de los transportadores de banda y de tablillas, teniendo en cuenta la fricción entre el material a transportar y el elemento portante.

• Calculo de la capacidad de transportación para lo cual se tuvo en cuenta la velocidad de trabajo, dimensiones del transportador, traza del mismo, características del material a transportar, y factor de llenado.
• Determinación de los pesos lineales de la carga y del elemento portante, así como calculo de resistencias al movimiento debido al rozamiento y de otros factores.
• Calculo y distribución de las tensiones en los distintos puntos del elemento de tracción y determinación del tiraje efectivo.
• Determinación de la potencia demandada por el transportador, la cual depende de la velocidad de trabajo y del tiraje efectivo.
• Cálculos de comprobación del elemento de tracción. Se aplican para el momento del arranque como durante el funcionamiento.

Las expresiones generales de calculo fundamentales usadas son :

- Capacidad de transportación (Q):

$Q = Kn.V.\rho.A.C$ [t/h], donde :
Kn: Constante que depende del tipo de equipo transportador.
V : Velocidad de transportación en m/s.
ρ : Densidad del material en t/m^3.
A: Area que ocupa la vena del material sobre la banda en m^2.
C: Coeficiente que tiene en cuenta el deslizamiento del material.

- Potencia demandada por el equipo transportador(N):

$N = \dfrac{Wo.V.Ks}{1000.\eta}$ [kW] , donde:
Wo : Tiraje efectivo en N.
Ks: Factor de sobrecarga.
η: Eficiencia de la transmisión.

- Cálculos de comprobación.

En todos los casos se realizaron los cálculos de comprobación del órgano de tracción en el funcionamiento y en el arranque, en los que se tuvo en cuenta su resistencia a la tracción, la fuerza dinámica ejercida y la fuerza de impulso ejercida por el elemento motriz.

2) **<u>Automatización de los cálculos para distintos tipos de transportadores.</u>**

El cálculo o evaluación de un transportador de sólido, es un proceso extremadamente engorroso debido a la gran cantidad de pasos a desarrollar, coeficientes y factores a utilizar que dependen del tipo de transportador y material transportado, así como por la dependencia que existe entre los cálculos parciales que se obtienen en cada paso y la selección de valores de coeficientes para pasos subsiguientes.
Debido a lo anterior es que la automatización de estos procesos de cálculo es de gran utilidad en el trabajo de los técnicos relacionado con la temática, ya que permiten obtener los resultados necesarios en un tiempo infinitamente menor que por medio del cálculo manual, así como con una mayor fiabilidad.
Para el análisis y evaluación de diferentes tipos de transportadores de sólidos (transportadores de banda, de tablillas, de rastrillos o de arrastre así como para transportadores sinfín), se procedió a establecer un sistema montado en Excel que es capaz de realizar todos los cálculos necesarios. Se escogió este Software por lo sencillo de su aplicación, y las posibilidades que ofrece a la hora de seleccionar un valor

dado de entre una lista de valores, comparar resultados, graficar los mismos, insertar determinados comentarios en función de los resultados obtenidos, etc.
El sistema elaborado contiene todos los cálculos necesarios para la evaluación de diferentes tipos de transportadores a partir de los datos de montaje y constructivo de los mismos, así como de sus respectivos sistemas motrices, permite calcular la velocidad y capacidad de transportación instalada, las resistencias distribuidas, distribución de tensiones para lo cual fija de forma automática el valor de tensión mínima. También determina valores de tiraje efectivo y potencia necesaria para el equipo.
Estos resultados pueden compararse con la capacidad real necesaria a transportar y la potencia instalada respectivamente, de manera que pueden emitirse conclusiones y recomendaciones respecto al nivel de sobredimensionamiento del equipo, así como del comportamiento del factor de potencia, aspectos de vital importancia en la eficiencia energética.
También el sistema permite analizar los valores posibles de un parámetro dado, por ejemplo la velocidad, a partir de fijar otros, como puede ser la capacidad de transportación.
Por último, se incluye también todos los cálculos necesarios para la comprobación del elemento de tracción para cada tipo de transportador, apareciendo un comentario acorde de si este elemento "RESISTE" o "NO RESISTE".
Este sistema fue aplicado para los equipos de transportación de sólidos de la Planta Piloto Azucarera "José Martí" de la Universidad Central, Marta Abreu de Las Villas y en los Centrales Azucareros "Melanio Hernández" y "Obdulio Morales", ambos de la provincia de Sancti – Spíritus.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Los resultados obtenidos con la aplicación del sistema señalado en la Planta Piloto Azucarera "José Martí' y en los Centrales "Melanio Hernández" y "Obdulio Morales" se comentan y discuten a continuación.

- **Planta Piloto Azucarera "José Martí".**

Los resultados obtenidos con la aplicación del sistema en la Planta Piloto Azucarera se muestran en la Tablas 1.

Tabla I: Resultados obtenidos en la Planta Piloto Azucarera "José Martí".

Equipo transportador.	Qnec(t/h)	Qinst.(t/h)	Nnec(kW)	Ninst.(kW)
Transportador de caña # 1 (Tablillas)	4,73	27,2	1,48	7,5
Transportador de caña # 2 (Tablillas)	4,73	12	0,65	5,5
Transportador de bagazo # 1 (Rastrillos)	1,42	3,92	0,45	2,8
Transportador de bagazo # 2 (Banda)	1,42	19,8	0,3	12
Transportador de bagazo # 3 (Rastrillos)	1,42	2,5	0,62	4
Transportador de bagazo # 4 (Rastrillos)	1,42	14,1	7,8	10
Transportador de bagacillo # 1 (Rastrillos)	0,38	14,2	1,5	2,8
Transportador de bagacillo # 2 (Sinfín)	0,38	6,8	0,017	2,8
Transportador de azúcar # 1 (Sinfín)	8,4	22,9	0,51	7,5
Transportador de azúcar # 2 (Banda)	8,4	114,54	0,21	4
Total	32,7	237,96	13,537	58,9

Como se aprecia en la Tabla anterior, existen altos sobredimensionamiento en la mayoría de los transportadores, tanto en la capacidad como en la potencia instalada.
Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se analizo cada transportador con vistas a elevar su eficiencia buscando el acercamiento de la capacidad instalada a la real necesaria por medio de la variación de la velocidad de transportación, y una vez establecida esta nueva velocidad optima,

determinar la potencia necesaria a instalar, y con ello se recomendó la instalación de nuevos motores, lo cual se muestra en la Tabla 2.

Tabla II: Propuesta para la Planta Piloto Azucarera "José Martí"..

		Motor propuesto.		
Equipo transportador.	Nnec. (kW)	Nmotor (kW)	n (r.p.m.)	Qtransp. (t/h)
Transportador de caña # 1	0,35	1,5	1140	7
Transportador de caña # 2	0,45	1,5	1140	7
Transportador de bagazo # 1	0,184	1,5	1140	2,5
Transportador de bagazo # 2	0,076	1,5	1140	3,5
Transportador de bagazo # 3	0,62	2,2	1140	2,5
Transportador de bagazo # 4	2,32	4	1152	4,0
Transportador de bagacillo # 1	0,35	2,2	1140	1,0
Transportador de bagacillo # 2	0,17	1,5	140	1,0
Transportador de azúcar # 1	0,51	2,2	1140	10,6
Transportador de azúcar # 2	0,18	1,5	1140	11,0
Total	5,21	19,6	--	50,1

Si se comparan los resultados de las tablas anteriores, puede apreciarse que de un sobredimensionamiento en la capacidad instalada de 205,26 t/h, (237,96 t/h - 32,7 t/h) pudo reducirse este a 17,4 t/h (50,1 t/h -32,7 t/h); y el sobredimensionamiento en la potencia instalada de 45,4 kW (58,9 kW – 13,5 kW) a 14,39 kW (19,6 kW- 5,21 kW).
La aplicación de estos resultados en un grupo de transportadores, según la existencia de los motores recomendados, ha redundado en la disminución del consumo de energía eléctrica y al aumento del factor de potencia.

- **Aplicación a escala industrial.**

Al aplicar el sistema en los Centrales Azucareros "Melanio Hernández" y "Obdulio Morales", pudo constatarse que los resultados obtenidos se corresponde adecuadamente con las lecturas realizadas experimentalmente, y los mismos se reflejan en las Tablas 3 y 4.

Tabla III: Resultados obtenidos en el CAI "Melanio Hernández".

Equipo transportador.	Qnec (t/h)	Qinst. (t/h)	Nnec (kW)	Ninst. (kW)
Transportador del basculador (Tablillas).	189,39	353,17	52,7	55
Estera elevadora (Tablillas).	189,39	196,37	20,9	98
Transportador de entrada al 1er. Molino (Tablillas).	189,39	702,47	10,2	11
Transportador de entrada al 3er. Molino (Tablillas).	151,51	202,83	1,5	7,5
Transportador de azúcar salida de centrífugas (banda).	20	77,19	1,55	4,5
Transportador de azúcar que alimenta la tolva (banda).	20	136,66	2,04	5,22
Transportador de entrada al 2do. Molino (Rastrillos).	75,76	107,47	4,48	22
Transportador de entrada al 4to. Molino (Rastrillos).	56,82	40,88	1,33	11
Transportador de entrada al 5to. Molino (Rastrillos).	56,82	49,85	1,55	15
Transportador de salida del 5to. Molino (Rastrillos).	47,35	48,49	7,13	15
Transportador de alimentación a las calderas (Rastrillos).	47,35	78,26	45	55
Transportador de descarga en casa de bagazo (Rastrillos).	47,35	51,64	33,7	37
Total	1091,13	2045.28	182,08	336.22

Tabla IV: Resultados obtenidos en el CAI "Obdulio Morales".

Equipo transportador.	Qnec (t/h)	Qinst. (t/h)	Nnec (kW)	Ninst. (kW)
Transportador del basculador (Tablillas).	153,9	816,48	30	21,28
Estera elevadora (Tablillas).	153,9	730,94	45	19,61
Transportador de entrada al 1er. Molino (Tablillas).	123,12	237,00	5,5	1,77
Transportadores intermedios (5 similares) (Tablillas).	123,12	165,90	5,5 (c/u)	1,63 (c/u)
Transportador de azúcar (Banda).	40	104,29	7,5	4,35
Transportador de bagazo # 1(Rastrillos).	38,47	39,29	7,5	5,5
Transportador de bagazo # 2 (Rastrillos).	38,47	45,78	18,5	11,74
Transportador de bagazo # 3(Rastrillos).	38,47	62,65	30	27,86
Transportador de bagazo # 4(Rastrillos).	38,47	40,51	22	6,9
Transportador de bagazo # 5 (Rastrillos).	23,08	25,09	45	7,9
Transportador de salida de las centrifugas(Sinfín).	8,00	24,24	17	7,23
Total	1271,48	2292.17	255,5	122,29

- **Análisis de los resultados obtenidos a escala industrial.**

Se puede apreciar en las Tabla 3 y 4 que existe sobredimensionamiento en la capacidad instalada en la mayoría de los transportadores analizados. Es importante señalar que los transportadores de entrada al 4to. y 5to. Molinos del Central "Melanio Hernández" están trabajando por encima de su capacidad instalada, lo cual se confirma al observar el derrame de bagazo por encima de las guarderas.
Si al sobredimensionamiento en cuanto a la capacidad se añade que también existen potencias instaladas muy por encima de la necesaria en muchos de los transportadores analizados, se puede apreciar la afectación existente en cuanto a la eficiencia así como al factor de potencia de la fábrica.
A partir de estos resultados se analizo cada transportador y se recomendó un plan de medidas concretas que tiende a acercar la capacidad y potencia instaladas a las reales necesarias lo cual ha contribuido a un menor consumo de energía eléctrica y a un mejoramiento del factor de potencia en ambos Centrales.

CONCLUSIONES Y REFERENCIAS:

Conclusiones:

- La automatización de estos procesos de cálculo es de gran utilidad en el trabajo de los técnicos relacionado con la temática, ya que permiten obtener los resultados necesarios en un tiempo infinitamente menor que por medio del cálculo manual, así como con una mayor fiabilidad.
- En las industrias analizadas existen motores instalados en muchos transportadores con una potencia muy por encima de la que necesita para su funcionamiento así como que la capacidad máxima de transportación está muy por encima de la capacidad real necesaria. Todo lo anterior trae consigo una disminución del factor de potencia y de la eficiencia de fabril.
- Es posible el mejoramiento del factor de potencia así como el aumento de la eficiencia, a partir de un análisis de cada equipo donde se tomen medidas que tiendan a acercar la capacidad de transportación y la potencia instalada a los valores reales necesarios.

Referencias:

- Castro Díaz-Balart, F. (2001), Ciencia, innovación y futuro, (Ediciones especiales, Instituto Cubano del Libro), La Habana, Cuba.
- García Abreu, D. (1987), Transporte de Materiales de la Industria Azucarera, (Ed. ISPJAM.), La Habana, Cuba.
- Herrera E. (1995), Criterios Actuales de la Industria Azucarera Cubana (MINAZ), La Habana, Cuba.
- Hidalgo Reina, P., Pérez Castellanos, E. (2001), Equipos de Transporte Industrial, (Universidad Central, Marta Abreu de Las Villas), Santa Clara, Cuba.
- Hugot E. (1986), Handbook of Cane Sugar Engineering, 3ra. Ed. (Editorial Elsevier), New York.
- Pérez Castellanos, E. (1998), Equipos de Transporte Continuo, (Universidad Nacional de Ingeniería), Managua, Nicaragua.
- Reyes, T., Jáuregui Rigó, S., Rubio González, A. (2003), Estudio de la eficiencia energética de las empresas azucareras y su impacto en el redimensionamiento industrial, (Premio CITMA Provincial en Villa Clara 2003), Villa Clara, Cuba.
- Spivakovsky, J. (1980), Conveyors and Related Equipment, (Editorial Mir), Moscú.
- V Congreso del P.C.C. (1995), Resolución Económica, La Habana, Cuba.

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE DESEMPEÑO DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS CAÑEROS PARA SU USO CON FINES ENERGÉTICOS EN UNA EMPRESA AZUCARERA.

EVALUATION OF THE LEVEL OF PERFORMANCE AT THE SUPPLY CHAIN OF THE CANE STRAW FOR THEIR USE WITH ENERGY PURPOSE IN A SUGAR MILL.

Autores**:** MSc. José Knudsen González
Dr. Fernando Marrero Delgado
Dr. Roberto Cespón Castro

Centro: Departamento Ingeniería Industrial. Facultad de Ciencias Empresariales. Universidad Central de Las Villas. Teléfono: 28 1058. E-mail: knudsen@fce.uclv.edu.cu

Palabras claves: Cadena de suministro, residuos agrícolas cañeros, diversificación, energía.
Key words: Supply chain, cane straw, level of effectiveness, diversification, energy.

Resumen

Una de las vías para lograr la eficiencia en las empresas azucareras y que a la vez contribuye a la diversificación de sus producciones es la utilización de los residuos agrícolas cañeros con fines energéticos. Tradicionalmente esta actividad no ha tenido el enfoque logístico que requieren los procesos de manipulación, almacenamiento y transporte enmarcados en esta cadena de suministro; y es por esto que el objetivo fundamental de este trabajo es diseñar e implementar un indicador integral que permita evaluar el desempeño de la cadena de suministro de los residuos agrícolas cañeros en una empresa azucarera. En el diseño se emplearon las técnicas multicriterios (Método de las Jerarquías Analíticas de Saaty) y métodos de expertos, como herramientas fundamentales. El indicador permite conjugar integralmente criterios relacionados con: la disponibilidad, la calidad, la utilización de las instalaciones y los recursos, los costos logísticos, el medio ambiente y el nivel de servicio al cliente. Como principal resultado del indicador se obtiene las reservas existentes en los diferentes procesos de la cadena de suministro, a partir de comparar el estado actual y después de diseñar la cadena de suministro. Estas reservas deben convertirse en estrategias de trabajo para elevar el nivel de desempeño, y a la vez contribuir a elevar la eficiencia en estas empresas.

Abstract

One of the ways to achieve the efficiency in sugar mills and that, at the same time contributes to the diversification of their productions is the use of cane straw as source of energy. Traditionally this activity has not had the logistical focus that the processes of handling, storage and transport framed in this supply chain required. The main objective of this work is to design and to implement an integral indicator that allows evaluating the effectiveness in the operation of the supply chain of cane straw to the sugar mill. For the design, technical multicriterias (Method of the Analytic Hierarchies) and experts' criteria were used as fundamental tools. The indicator allows conjugating integrally approaches related to the readiness, the quality, the use of the facilities and the resources, the logistics costs, the environment and the level of service to the customer. The main result is obtained the existent opportunities in the different processes of the supply chain, which should become work strategies to elevate the levels of performance, and at the same time to contribute to elevate the efficiency in these sugar mills.

Introducción

La industria azucarera cubana cuenta anualmente con grandes reservas de biomasa residual cañera, la cual entre otros usos puede destinarse a la satisfacción de las necesidades energéticas de las fábricas de azúcar y contribuir en gran medida a la entrega de energía eléctrica al Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Esta biomasa residual la componen el bagazo y los residuos agrícolas cañeros[1], los cuales se definen como el conjunto formado por las hojas secas, las hojas verdes y el tallo verde del cogollo; todo lo cual comúnmente en Cuba recibe el nombre de paja de caña.
Los residuos agrícolas cañeros constituyen un potencial energético que se está desaprovechando, ya que debido a su baja densidad es necesario manejar grandes volúmenes y de esta forma se dificulta su abastecimiento, constituyendo esto un obstáculo para la generalización de su empleo, por lo que se requiere estudiar las combinaciones de los procesos en el sistema logístico para el aprovechamiento energético de los residuos agrícolas cañeros en una empresa azucarera en los marcos de una estrategia de cadena de suministro con el objetivo de evaluar el desempeño en su funcionamiento, la cual responda a menores gastos en la cadena, mejor control sobre la gestión ambiental, mejor utilización de las instalaciones y los recursos y a la satisfacción del nivel de servicio al cliente demandado.
El **objetivo fundamental** de este trabajo es mostrar como a través de un indicador integral se puede evaluar el funcionamiento de una cadena de suministro de los residuos agrícolas cañeros en una empresa azucarera, y a la vez detectar cuales son las vías para mejorar los resultados productivos y económicos en función de las reservas internas.
Para lograr lo anterior el trabajo se estructuró en dos partes. La primera abarca algunas consideraciones teóricas sobre el indicador y la segunda muestra los resultados de la implementación del mismo en dos empresas azucareras de la provincia de Villa Clara.

Indicador integral para evaluar el Nivel de Desempeño de la Cadena de Suministro (NDCS)

Este indicador permite valorar integralmente elementos relacionados con: requerimientos de capacidad, de almacenamiento, de manipulación, de transporte, de costo y de servicio. Su función principal es controlar o auditar el funcionamiento de la cadena. Para esto se deben seguir los pasos siguientes:
1. Determinación del indicador NDCS.
2. Análisis del comportamiento de cada factor respecto a su valor teórico.
3. Elaboración del plan de medidas para corregir desviaciones.
4. Divulgación y ejecución del plan de medidas.

A continuación se comentan estos pasos.
Determinación del indicador NDCS.
El procedimiento para determinar el indicador se muestra en la Figura 1.
Determinación de los criterios que componen el indicador NDCS
Se plantean, a partir de un trabajo en grupos, como criterios a analizar en el indicador, los siguientes:
- Disponibilidad (factores que denotan la disponibilidad del objeto de trabajo).
- Calidad (cualidades del producto).
- Utilización de instalaciones y recursos (aprovechamiento de las capacidades).
- Costo (gastos incurridos en los procesos de la cadena de suministro).
- Medio ambiente (índices evaluadores de la significación de los impactos ambientales).
- Nivel de servicio al cliente (factores de fiabilidad del cumplimiento de la misión).

Determinación de los factores que componen cada criterio
Utilizando un método de trabajo en grupo y teniendo en cuenta los elementos componentes de la auditoria del sistema se definen los factores que componen a cada criterio. Una vez definidos estos, se hace necesaria la determinación de la importancia relativa (peso relativo) de cada uno de los factores y de los criterios, teniendo en cuenta que los mismos forman una jerarquía, donde, en el nivel superior, se encuentra el indicador NEFCS, en un nivel intermedio, los criterios y en el nivel inferior, los factores.

[1] En lo adelante se utilizarán las siglas RAC para referirse a los residuos agrícolas cañeros.

Dadas estas características, para la determinación de la importancia relativa, de los factores y criterios, se emplea el Método de las Jerarquías Analíticas (AHP) [1], útil por su capacidad para medir el grado de consistencia presente en los juicios subjetivos de los expertos. Las etapas desarrolladas fueron las siguientes:

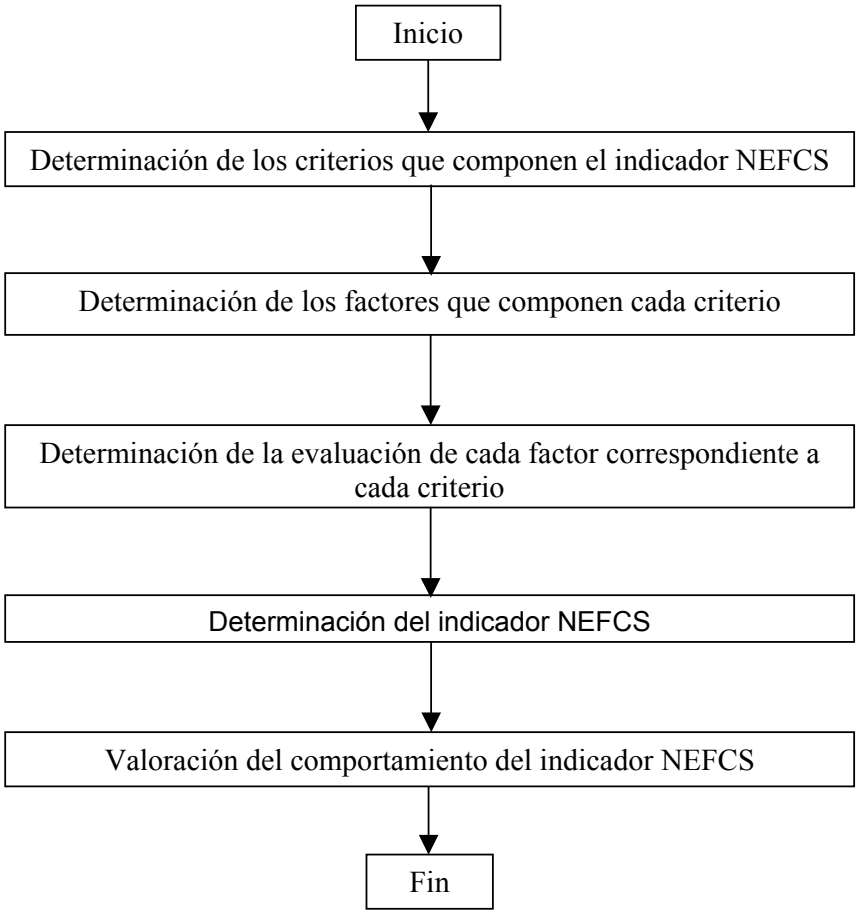


Figura 1: Procedimiento de cálculo del indicador Nivel de Desempeño de la Cadena de Suministro [Fuente: Elaboración propia].

a. Construcción de una jerarquía de decisión.

Consiste en separar el problema de decisión en una jerarquía de sus elementos. Se establecen dos niveles: el nivel 1, perteneciente a los criterios y el nivel 2, perteneciente a los factores.

b. Determinación de la importancia relativa de los atributos y subatributos.

El método AHP [2], se ajusta muy bien al tipo de problema a resolver, ya que las ponderaciones de los atributos se valoran en forma independiente de las alternativas a considerar. La determinación de la importancia relativa de los atributos y subatributos, se realiza según la escala siguiente:

1: el criterio i es igual de importante que el criterio j.
3: el criterio i tiene una débil predominancia con respecto al criterio j.
5: el criterio i predomina sobre el criterio j.
7: el criterio i tiene una fuerte predominancia sobre el criterio j.
9: el criterio i es absolutamente predominante sobre el criterio j

Quedando los valores 2, 4, 6 y 8 para situaciones de compromiso.

Para la determinación de la importancia relativa de los atributos (criterios) y subatributos (factores), se utiliza el método de grupos nominales, para lo cual, se escogen expertos que comparan por parejas de criterios o de factores cuánto es más importante uno que otro, según la escala antes mencionada.

Primeramente, el procedimiento se aplica a los 6 grupos de criterios y luego a los factores contenidos dentro de cada grupo. En este procedimiento se aplica el método del coeficiente "W" de Kendall [3] para probar si existe o no, concordancia entre las opiniones emitidas por los diferentes expertos sobre la importancia entre criterios y entre factores de un criterio.

c. Determinación de la razón de inconsistencia.

Si razón de inconsistencia no es mayor que 0.1 (Consistencia igual o superior al 90%), Saaty [4] sugiere que la consistencia, por lo general, es aceptable.

Determinación de la evaluación de cada factor correspondiente a cada criterio

En este paso se determinan los valores plan y real para cada factor definido.

Determinación del NDCS

Para la determinación del Nivel de Desempeño de la Cadena de Suministro se emplean las expresiones que se muestran en el Cuadro 1 y en la Tabla 1. Las escalas a emplear, en la evaluación de los criterios y factores, por los expertos se muestran en el Cuadro 2.

La evaluación la significación de los impactos se hace a través de los índices evaluadores de los impactos ambientales. Estos son: la severidad del impacto, el índice de no ocurrencia diaria y el índice de no afectación anual. Sus expresiones también aparecen en la Tabla 1.

Cuadro 1: Expresiones para la determinación del Nivel de Desempeño de la Cadena de Suministro [Fuente: Elaboración propia].

$$\textbf{NDCS} = \sum_{j} = Wj * cj \qquad j = 1(\wedge)n \qquad (1)$$

$$\textbf{Cj} = \sum_{i} = Wji * (Eji - práctico / Eji - Teórico) \qquad j = 1(\wedge)n \text{ y } i = 1(\wedge)mj \qquad (2)$$

$$\textbf{Cij} = Eji(práctico) / Eji(teórico) \qquad (3)$$

$$\textbf{Eij práctico} = Eij(real) / Eij(plan) \text{ para factores a maximizar} \qquad (4)$$

$$\textbf{Eij práctico} = Eij(real) / Eij(plan) \text{ para factores a minimizar} \qquad (5)$$

Donde:

NDCS: Nivel de Desempeño de la Cadena de Suministro

Wj: Importancia relativa del criterio j (obtenida a través del Método AHP)

C_j: Calificación del criterio j

W_{ji}: Peso relativo del factor i correspondiente al criterio j. Se calculan por el método de AHP.

C_{ji}: Nivel de acercamiento del comportamiento del factor i correspondiente al criterio j a su nivel teórico.

Eji (real): Valor real del factor i correspondiente al criterio j

Eji (plan): Valor plan del factor i correspondiente al criterio j

$C_{j\text{-teórico}}$ – Calificación teórica del criterio j. Se determinan usando Métodos de Expertos

$E_{ji\text{-práctico}}$ – Evaluación real del factor i correspondiente al criterio j

$E_{ji\text{-teórico}}$ – Evaluación teórica del factor i correspondiente al criterio j

n – Cantidad de criterios a utilizar en la evaluación

m_j – Cantidad de factores correspondientes al criterio j

Valoración del comportamiento del indicador NEFCS

En este paso se realizan las valoraciones correspondientes al comportamiento del indicador. La escala a utilizar [5] es la siguiente: Muy bueno (1,00-0,91); Bueno (0,90-0.81); Regular o Medio (0,80-0,71); Malo (0,70-0,61); Muy malo (inferior a 0,61).

Una vez obtenido el indicador, se estará en condiciones de evaluar las potencialidades de la cadena de suministro de los RAC para su aprovechamiento con fines energéticos en una empresa azucarera en los niveles táctico y operacional.
Seguidamente se pasa al segundo paso de la auditoria.
Análisis del comportamiento de cada factor respecto a su valor teórico.
A partir del comportamiento se adopten las posibles medidas de mejoramiento.
Elaboración del plan de medidas para corregir desviaciones.
Se elabora el plan de medidas teniendo en cuenta las fechas de cumplimiento y los responsables.
Divulgación y ejecución del plan de medidas.
Se le da a conocer a cada integrante de la cadena las medidas que debe adoptar en cada momento para mejorar el funcionamiento de la cadena de suministro.
Cuadro 2: Aspectos incluidos en las valoraciones de los criterios por los expertos [Fuente: Elaboración propia].

Para la **disponibilidad** (días de secado natural) la escala a emplear es la siguiente:
1: Muy mal (0 días)
2: Mal (1 día)
3: Regular (2 días)
4: Bien (3 días)
5: Excelencia (4 días)
Para evaluar el **tamaño de las partículas** (menor e igual a 50 mm) se propone hacer un muestreo aleatorio sistemático de los RAC a la salida del centro de preparación, tal y como se expone en el Cuadro 2.7. Las puntuaciones son:
5: Más del 70 % (Excelencia)
4: De 65 – 69 % (Bien)
3: De 60 – 64 % (Regular)
2: Igual a 59 % (Mal)
1: Menos de 59 % (Muy mal)
Para evaluar el **nivel de servicio al cliente** se utilizó una escala ordinal para valorar el comportamiento de cada factor con los valores:
5: Muy bueno
4: Bueno
3: Regular
2: Malo
1: Muy malo
Para evaluar el **medio ambiente** se determinan los índices evaluadores de la significación de los impactos ambientales que son:
a) Severidad del impacto: con los valores:
5: Muy fuerte
4: Fuerte
3: Severo
2: No severo
1: Leve
b) Índice de no ocurrencia diaria de los impactos: incluye las emisiones al aire, el ambiente laboral ruidoso y la contaminación de los suelos. La expresión esta en el Anexo 1
c) Índice de no afectación anual: (Ver Tabla 1)

Resultados de la determinación del indicador

Para implementar el indicador se seleccionaron las dos empresas de la provincia de Villa Clara que tradicionalmente utilizan los residuos agrícolas cañeros en la cogeneración de energía eléctrica durante la zafra. En las Tablas 2 y 3 se muestran los resultados obtenidos [6] en la Empresa Azucarera "Quintín Banderas" y en las Tablas 4 y 5 la Empresa Azucarera "Chiquitico Fabregat" [7]. Es de destacar que ambas empresas obtienen una calificación de regular en el funcionamiento de las cadenas de suministro antes de ser diseñadas y gestionadas con un enfoque logístico; sin embargo una vez diseñadas y gestionadas las cadenas de suministro se lograron elevar hasta la excelencia en ambos casos. Las reservas internas están referidas a la calidad a través del tamaño de las partículas, a la utilización de los recursos a través del aprovechamiento de los medios de transporte y a los indicadores de nivel de servicio que aunque están en niveles adecuados aún pueden ser mejorados.

Conclusiones

1. Quedó demostrado que el indicador integral permite controlar el desempeño de las cadenas de suministro de residuos agrícolas cañeros en las empresas azucareras evaluando parámetros relacionados con la disponibilidad, la calidad, el aprovechamiento de las instalaciones y los recursos, el medio ambiente y el nivel de servicio al cliente.
2. El Método de las Jerarquías Analíticas (AHP) de Saaty es factible de emplear en el indicador diseñado ya que permite conjugar criterios objetivos y subjetivos en un mismo indicador a evaluar.
3. Ambas empresas analizadas deben trabajar sobre la base de las reservas detectadas para poder alcanzar mejores resultados económicos en el uso energético de los residuos agrícolas cañeros como combustibles en los marcos de las cadenas de suministro estudiadas.
4. El cálculo del nivel de desempeño de la cadena de suministro de los residuos agrícolas cañeros para su utilización con fines energéticos permite comparar el estado actual con la proyección de la cadena una vez implementado el procedimiento general para su diseño y gestión; lo cual permite, en primera instancia, conocer las reservas que posee la cadena y sobre las cuales se debe trabajar para llegar a la sincronización total de todos los procesos. Los resultados obtenidos en este sentido muestran una elevación del indicador NDCS de un 67,1 % hasta un 97,6 % en la Empresa Azucarera "Quintín Banderas y de un 71,6 % hasta un 93,5 % en la Empresa Azucarera "Chiquitico Fabregat".

Referencias

1. Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill.
2. Saaty, T. L. (1995). Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. RWS Publications, 3´d edition. Pittsburgh.
3. Siegel, S. (1972). Diseño experimental no paramétrico. Editorial Revolucionaria, La Habana.
4. Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill.
5. Marrero Delgado, F. (2001). Procedimiento para la toma de decisiones logísticas con enfoque multicriterio en la cadena de corte, alza y tiro de la caña de azúcar. Aplicaciones en la provincia de Villa Clara. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.
6. Knudsen González, J. et al (2003). Diseño y gestión en los niveles táctico y operacional de la cadena de suministro de los residuos agrícolas cañeros para su aprovechamiento con fines energéticos en la Empresa Azucarera "Quintín Banderas". Informe de Investigación Terminada. UCLV. Santa Clara.
7. Knudsen González, J. et al (2003). Diseño y gestión en los niveles táctico y operacional de la cadena de suministro de los residuos agrícolas cañeros para su aprovechamiento con fines energéticos en la Empresa Azucarera "Chiquitico Fabregat". Informe de Investigación Terminada. UCLV. Santa Clara.

Tabla 1: Expresiones de cálculo para cada factor correspondiente a cada criterio del nivel de desempeño de la cadena y valor teórico de cada factor [Fuente: Elaboración propia].

Factor	**Valor teórico (E_{ji} teórico)**	***Plan***	Real
Disponibilidad			
1. Índice de RAC en caña	1	0.10	Índice de RAC obtenido
2. Días de secado natural	1	5	Evaluación dada por los días de secado
Calidad			
1. Tamaño de la partícula	1	5	5 - | 5-Evaluación dada por el muestreo |
Utilización de instalaciones y recursos			
1. Aprovechamiento de la capacidad en centros de beneficios.	1	$\frac{\sum \text{t de caña estimadas}}{\text{Días de zafra * Promedio tareas diarias}}$	$\frac{\sum \text{t de caña beneficiadas}}{\text{Días de zafra * Promedio tareas diarias}}$
2. Aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento	1	$\frac{\sum \text{área útil prevista}}{\sum \text{área total de almacenamiento}}$	$\frac{\sum \text{área útil real utilizada}}{\sum \text{área total de almacenamiento}}$
3. Aprovechamiento promedio de la capacidad de medios de transporte	1	$\frac{\sum \text{t previstas a transportar}}{\sum \text{capacidad medios de transporte}}$	$\frac{\sum \text{t transportadas}}{\sum \text{capacidad medios de transporte}}$
4. Aprovechamiento de la capacidad en la casa de bagazo	1	$\frac{\text{t de combustible equivalente previstas}}{\text{Capacidad casa de bagazo}}$	$\frac{\text{t de combustible equivalente almacenadas}}{\text{Capacidad casa de bagazo}}$
5. Aprovechamiento de la capacidad en centros de preparación de los RAC	1	$\frac{\text{t de RAC a procesar}}{\text{rendimiento}}$	$\frac{\text{t de RAC procesados}}{\text{rendimiento}}$

Tabla 1: Continuación

Factor	**Valor teórico**	***Plan***	Real
		Costo	
1. Costo en el centro de preparación	1	$/ t * t a procesar	$/ t * t procesadas
2. Costo del beneficio de la caña	1	$/ t beneficiada * t estimadas	$/ t beneficiada * t beneficiadas
3. Costo de manipulación de los RAC	1	$/ t * t a manipular	$/ t * t manipuladas
4. Costo del transporte de los RAC	1	$/ t * t a transportar	$/ t * t transportadas
5. Costo de almacenamiento de los RAC	1	$/ t * t a manipular	$/ t * t manipuladas
		Medio ambiente	
1. Severidad del impacto	1	5	5 - | 5-Evaluación dada por los expertos |
2. Índice de no ocurrencia del impacto diaria	1	$Io = 1 - \frac{\sum \text{Duración prevista de los procesos que provocan los impactos}}{\text{Horas del día}}$	$Io = 1 - \frac{\sum \text{Duración real de los procesos que provocan los impactos}}{\text{Horas del día}}$
3. Índice de no afectación ambiental anual en la cadena de suministro	1	$Ia = 1 - \frac{\text{Días planificados de trabajo al año}}{\text{Días totales del año}}$	$Ia = 1 - \frac{\text{Días reales de trabajo al año}}{\text{Días totales del año}}$
		Nivel de servicio al cliente	
1. Tiempo de entrega	1	5	Evaluación dada por el grupo de expertos
2. Tiempo de ciclo pedido-entrega	1	5	Evaluación dada por el grupo de expertos
3. Información sobre la situación del pedido	1	5	Evaluación dada por el grupo de expertos
4. Flexibilidad para hacer frente a las situaciones inusuales	1	5	Evaluación dada por el grupo de expertos
5. Respuesta a las emergencias	1	5	Evaluación dada por el grupo de Expertos

Tabla 2: Resultado del nivel de desempeño actual de la cadena de suministro de RAC en la Empresa Azucarera "Quintín Banderas" [Fuente: Elaboración propia].

Criterios	Factores	Wj	Eji-Teorico	Eji-Plan	Eji-Real	Eji-Practico	Wji*(Eji-pract/Eji-teor)	Cj	Wj*Cj
a) Disponibilidad		0,167					0,65	0,65	0,108
	1. Índice de RAC en caña	0,25	1	0,1	0,08	0,8	0,2		0
	2. Días de secado natural	0,75	1	5	3	0,6	0,45		0
b) Calidad		0,199					0,6	0,6	0,119
	1. Tamaño de la partícula	1	1	5	3	0,6	0,6		0
c) Utilización de instalaciones y recursos		0,195					0,698	0,6982	0,136
	1. Aprovechamiento capacidad de los centros	0,143	1	0,85	0,8	0,941	0,135		0
	2. Aprovechamiento capacidad de almacenamiento	0,07	1	1	0,495	0,495	0,035		0
	3. Aprovechamiento promedio de la capacidad de los medios de transporte	0,282	1	0,9	0,27	0,300	0,085		0
	4. Utilización de la capacidad casa de bagazo	0,202	1	1	1	1	0,202		0
	5. Aprovechamiento de la capacidad en el centro de preparación de los RAC	0,303	1	1	0,8	0,8	0,2424		0
d) Costo		0,141					1,0062	1,006	0,141
	1. Costo del centro de preparación	0,237	1	255467,52	255467,52	1	0,237		0
	2. Costo de beneficio de la caña	0,306	1	2666	2666	1	0,306		0
	3. Costo de manipulación en los centros	0,098	1	41987,33	41987,33	0,999	0,0979		0
	4. Costo de transporte de los RAC	0,237	1	14427,07	14058,14	1,026	0,2432		0
	5. Costo de almacenamiento de RAC	0,122	1	29301	29301	1	0,122		0
e) Medio ambiente		0,215					1	0,567	0,122
	1. Severidad del impacto	0,73	1	5	1	0,2	0,146		0
	2. Índice de no ocurrencia del impacto diaria	0,099	1	0,12	0,29	2,381	0,2357		0
	3. Índice de no afectación ambiental anual	0,172	1	0,67	0,73	1,082	0,1860		0
f) Nivel de servicio al cliente		0,083					0,5184	0,518	0,043
	1. Tiempo de entrega	0,276	1	5	3	0,6	0,1656		0
	2 Tiempo del ciclo pedido- entrega	0,142	1	5	3	0,6	0,0852		0
	3 Información sobre la situación del pedido	0,131	1	5	3	0,6	0,0786		0
	4. Flexibilidad	0,411	1	5	2	0,4	0,1644		0
	5. Respuestas a emergencias	0,041	1	5	3	0,6	0,0246		0
				NDCS					**0,671**

Tabla 3: Resultado del nivel de desempeño de la cadena de suministro de RAC después de implementado el procedimiento general en la Empresa Azucarera "Quintín Banderas" [Fuente: Elaboración propia].

Criterios	Factores	Wj	Eji-Teorico	Eji-Plan	Eji-Real	Eji-Practico	Wji*(Eji-pract/Eji-teor)	Cj	Wj*Cj
a) Disponibilidad		0,167					1	1	0,167
	1. Índice de RAC en caña	0,25	1	0,1	0,1	1	0,25		0
	2. Días de secado natural	0,75	1	5	5	1	0,75		0
b) Calidad		0,199					1	1	0,199
	1. Tamaño de la partícula	1	1	5	5	1	1		0
c) Utilización de instalaciones y recursos		0,195					0,8820	0,882	0,172
	1. Aprovechamiento capacidad de los centros	0,143	1	0,85	0,8	0,941	0,1346		0
	2. Aprovechamiento capacidad de almacenamiento	0,07	1	1	0,9901	0,9901	0,0693		0
	3. Aprovechamiento promedio de la capacidad de los medios de transporte	0,282	1	0,9	0,746	0,829	0,2337		0
	4. Utilización de la capacidad casa de bagazo	0,202	1	1	1	1	0,2020		0
	5. Aprovechamiento de la capacidad en el centro de preparación de los RAC	0,303	1	1	0,8	0,8	0,2424		0
d) Costo		0,141					1,3417	1,342	0,189
	1. Costo del centro de preparación	0,237	1	255467,5	255467,5	1	0,237		0
	2. Costo de beneficio de la caña	0,306	1	2666	2666	1	0,306		0
	3. Costo de manipulación en los centros	0,098	1	41987,33	41404,36	1,014	0,0994		0
	4. Costo de transporte de los RAC	0,237	1	14427,07	5935,24	2,431	0,5761		0
	5. Costo de almacenamiento de RAC	0,122	1	8070	7989,30	1,010	0,1232		0
e) Medio ambiente		0,215					0,8817	0,882	0,190
	1. Severidad del impacto	0,73	1	5	4	0,8	0,584		0
	2. Índice de no ocurrencia del impacto diaria	0,099	1	0,29	0,32	1,120	0,1109		0
	3. Índice de no afectación ambiental anual	0,172	1	0,67	0,73	1,086	0,1867		0
f) Nivel de servicio al cliente		0,083					0,7186	0,719	0,060
	1. Tiempo de entrega	0,276	1	5	4	0,8	0,2208		0
	2 Tiempo del ciclo pedido- entrega	0,142	1	5	4	0,8	0,1136		0
	3 Información sobre la situación del pedido	0,131	1	5	4	0,8	0,1048		0
	4. Flexibilidad	0,411	1	5	3	0,6	0,2466		0
	5. Respuestas a emergencias	0,041	1	5	4	0,8	0,0328		0
				NDCS					**0,976**

Tabla 4: Resultado del nivel de desempeño actual de la cadena de suministro de RAC en la Empresa Azucarera "Chiquitico Fabregat" [Fuente: Elaboración propia].

Criterios	Factores	Wj	Eji-Teorico	Eji-Plan	Eji-Real	Eji-Practico	Wji*(Eji-pract/Eji-teor)	Cj	Wj*Cj
a) Disponibilidad		0,167					0,65	0,65	0,108
	1. Índice de RAC en caña	0,25	1	0,1	0,08	0,8	0,2		
	2. Días de secado natural	0,75	1	5	3	0,6	0,45		
b) Calidad		0,199					0,6	0,6	0,119
	1. Tamaño de la partícula	1	1	5	3	0,6	0,6		
c) Utilización de instalaciones y recursos		0,195					0,753	0,753	0,146
	1. Aprovechamiento capacidad de los centros	0,143	1	0,85	0,8	0,941	0,135		
	2. Aprovechamiento capacidad de almacenamiento	0,07	1	1	0,247	0,247	0,017		
	3. Aprovechamiento promedio de la capacidad de los medios de transporte	0,282	1	0,9	0,5	0,556	0,157		
	4. Utilización de la capacidad casa de bagazo	0,202	1	1	1	1	0,202		
	5. Aprovechamiento de la capacidad en el centro de preparación de los RAC	0,303	1	1	0,8	0,8	0,242		
d) Costo		0,141					1,251	1,251	0,176
	1. Costo del centro de preparación	0,237	1	255467,52	255467,52	1	0,237		
	2. Costo de beneficio de la caña	0,306	1	2666	2666	1	0,306		
	3. Costo de manipulación en los centros	0,098	1	33589,86	33589,86	1	0,098		
	4. Costo de transporte de los RAC	0,237	1	13500	6552	2,06	0,488		
	5. Costo de almacenamiento de RAC	0,122	1	8070	8070	1	0,122		
e) Medio ambiente		0,215					0,568	0,567	0,122
	1. Severidad del impacto	0,73	1	5	1	0,2	0,146		
	2. Índice de no ocurrencia del impacto diaria	0,099	1	0,12	0,29	2,381	0,236		
	3. Índice de no afectación ambiental anual	0,172	1	0,67	0,73	1,082	0,186		
f) Nivel de servicio al cliente		0,083					0,518	0,518	0,043
	1. Tiempo de entrega	0,276	1	5	3	0,6	0,166		
	2 Tiempo del ciclo pedido- entrega	0,142	1	5	3	0,6	0,085		
	3 Información sobre la situación del pedido	0,131	1	5	3	0,6	0,079		
	4. Flexibilidad	0,411	1	5	2	0,4	0,164		
	5. Respuestas a emergencias	0,041	1	5	3	0,6	0,025		
				NDCS					**0,716**

Tabla 5: Resultado del nivel de desempeño de la cadena de suministro de RAC después de implementado el procedimiento general en la Empresa Azucarera "Chiquitico Fabregat" [Fuente: Elaboración propia].

Criterios	Factores	Wj	Eji-Teorico	Eji-Plan	Eji-Real	Eji-Practico	Wji*(Eji-pract/Eji-teor)	Cj	Wj*Cj
a) Disponibilidad		0,167					1	1	0,167
	1. Índice de RAC en caña	0,25	1	0,1	0,1	1	0,25		
	2. Días de secado natural	0,75	1	5	5	1	0,75		
b) Calidad		0,199					0,6	0,6	0,119
	1. Tamaño de la partícula	1	1	5	3	0,6	0,6		
c) Utilización de instalaciones y recursos		0,195					0,918	0,918	0,179
	1. Aprovechamiento capacidad de los centros	0,143	1	0,85	0,8	0,941	0,135		
	2. Aprovechamiento capacidad de almacenamiento	0,07	1	1	0,990	0,990	0,069		
	3. Aprovechamiento promedio de la capacidad de los medios de transporte	0,282	1	1	0,96	0,96	0,269		
	4. Utilización de la capacidad casa de bagazo	0,202	1	1	1	1	0,202		
	5. Aprovechamiento de la capacidad en el centro de preparación de los RAC	0,303	1	1	0,8	0,8	0,242		
d) Costo		0,141					1,481	1,481	0,209
	1. Costo del centro de preparación	0,237	1	255467,5	255467,5	1	0,237		
	2. Costo de beneficio de la caña	0,306	1	2666	2666	1	0,306		
	3. Costo de manipulación en los centros	0,098	1	33589,86	28715,98	1,170	0,115		
	4. Costo de transporte de los RAC	0,237	1	6552	2259	2,900	0,687		
	5. Costo de almacenamiento de RAC	0,122	1	8070	7263	1,111	0,136		
e) Medio ambiente		0,215					0,938	0,938	0,202
	1. Severidad del impacto	0,73	1	5	4	0,8	0,584		
	2. Índice de no ocurrencia del impacto diaria	0,099	1	0,29	0,51	1,772	0,175		
	3. Índice de no afectación ambiental anual	0,172	1	0,73	0,75	1,038	0,178		
f) Nivel de servicio al cliente		0,083					0,719	0,719	0,060
	1. Tiempo de entrega	0,276	1	5	4	0,8	0,221		
	2 Tiempo del ciclo pedido- entrega	0,142	1	5	4	0,8	0,114		
	3 Información sobre la situación del pedido	0,131	1	5	4	0,8	0,105		
	4. Flexibilidad	0,411	1	5	3	0,6	0,247		
	5. Respuestas a emergencias	0,041	1	5	4	0,8	0,033		
				NDCS					**0,935**

OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL VAPOR EN EL PROCESO

Ing. Emilio P. Díaz García

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras

Resumen

Se realiza un estudio del consumo verdadero de vapor en cada bloque tecnológico, para promover el nuevo desarrollo del equipamiento tecnológico necesario para el objetivo ahorro de vapor.

- Los resultados alcanzados con calentadores de tubos y coraza con tecnología de punta, con eficiencias similares a los de placas, con un 50 % de costo menor.
- Evaporadores de convección natural y flujo ascendente, con similares resultados a los de empaque y película descendente, con máxima fiabilidad operativa.
- Condensadores barométricos, de mínimo tamaño y con máxima eficiencia en el consumo energético equivalente; su pequeño tamaño y alta eficiencia lo hacen competitivo internacionalmente.
- Tachos convencionales, remodelados para consumo de vapores al vacío, rápidos y seguros, con consumos semejantes al tacho continuo, con un 50 % menos de costo, es nuestra opción.
- Introducción de técnicas de ahorro de vapor vivo y agua condensada de alta calidad para alimentar calderas, promueven consumos en fábrica colaterales para brindar esquemas de hasta 32 % de vapor en caña, límites máximos de contenido permisible de agua en meladura; con presiones de vapor en motores primarios de hasta 28 ata.

Palabras claves: vapor, evaporadores, condensadores,tachos

Optimized use of steam and vapor in sugar processes

Eng. Emilio P. Díaz García

Cuban Sugar Research Institute

Abstract

A study was made of true consumption of steam and vapor in each technological block in order to promote improved development of equipment aiming at steam economy:

- The results reached with shell-and-tube juice heaters of advanced-technology with efficiencies similar to those of plate heaters, with a cost 50 % lower.
- Juice evaporators of natural convection and upward flow, with results similar to those of packed, falling film evaporators, with maximum reliability of operation.
- Barometric condensers of minimum size and maximum efficiency with an equivalent energy consumption; their small size and high efficiency make them competitive internationally.
- Conventional vacuum pans, remodeled for consumption of vacuum vapors, quick and reliable, with consumptions similar to those of continuous vacuum pans, with a cost 50 % lower are our option.

Introduction of technologies for saving live steam and high-quality condensates to feed boilers, which can be used for collateral uses outside the sugar house in order to design steam-consumption layouts down to 32 % steam on cane, with maximum limits of water content in syrup; with steam pres.

Key words: Steam, evaporator, condenser, pan

Optimización del uso del vapor en el proceso

Ing. Emilio P. Díaz García

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras

Introducción

Para minimizar la eficiencia energética de una fábrica de azúcar es necesario tres factores imprescindibles.

- ✓ Moler a plena capacidad.
- ✓ Tener un rearreglo energético excelente y presiones de vapor vivo máximos permisibles.
- ✓ Poseer un equipamiento tecnológico adecuado.

Moler a plena capacidad define una operación excelente y un uso adecuado del combustible siempre en función de la producción define, además, la marcha de un sistema tecnológico continuo como la de un reloj. Desde la calidad del agua de alimentar calderas, la calidad de la materia prima y bagazo combustible, hasta cumplir todas y cada una de las normas de calidad del azúcar crudo producido. El tiempo perdido es el opuesto completo al bagazo sobrante y viceversa, y desde luego, de la eficiencia energética.

Tener un rearreglo energético excelente proporciona al ingenio la posibilidad de que, como norma, sea el cumplimiento de la molida y producción de la fábrica, el excedente de bagazo para paradas y limpiezas, y otras producciones, de existir un consumo de energía eficiente. Pero a medida que la presión de trabajo de los motores primarios se incrementan, mejoran las posibilidades de realizar un esquema o rearreglo energético de máxima eficiencia. Es posible entonces dejar la responsabilidad absoluta del consumo de vapor al proceso, para interactuar con la novedosa tecnología, a la vez que permite ahorros de consumo de bagazo en la caldera hasta de un 10 % por la propia eficiencia de combustión-generación de la misma.

Poseer un equipamiento tecnológico adecuado no es necesariamente que ocupe el 3er lugar de la responsabilidad, sino que es cuando sus resultados puedan ser cuantificados en forma real y definida. Es entonces y sólo entonces cuando puede aquilatarse la verdadera función de un sistema de evaporación a múltiple efecto, con sus equipos periféricos importantísimos, como son calentadores de jugo y tachos al vacío. Y se sabe entonces cuando sabemos el valor de un sistema de vacío de máxima eficiencia para dirigir el sistema central de evaporación o múltiple efecto, corazón del rearreglo energético, que opere al máximo de eficiencia, cada minuto, horas y hasta segundos de las 24 horas que opera el ingenio. Es comenzar a pensar en el agua como correo del calor, no sólo en preservar su calidad para la organización y estabilidad de la planta energética, sino también para tratar de erradicar su uso en el proceso. Agua es función directa de bagazo ahorrado, y como tal debe evidenciarse. Sabemos que otros muchos factores hacen realidad la operación energética adecuada. Este nuestro trabajo está encaminado a tratar de que nuestros lectores puedan ver cómo interviene el desarrollo tecnológico del equipamiento del proceso en el consumo y estabilidad operativa del vapor, y en la producción de azúcar, de un ingenio medio de nuestro país.

Desarrollo experimental

- <u>Bloque de purificación</u>

La clarificación del jugo de caña es, sin lugar a dudas, un proceso determinante para la obtención de azúcar de máxima calidad. La operación de calentamiento define la clarificación. El calentamiento del jugo, continuo, sin alteraciones, sobre 103 ºC todo instante.

Pero al calentar el jugo, el detalle energético es cómo lo hago, cómo aseguro su eficiencia, con el mínimo equipamiento y con el mínimo consumo de energía permisible.

Ingeniería del calentamiento de jugo.

Calentamiento inicial

Para el calentamiento del jugo mezclado hemos desarrollado el uso del intercambiador líquido-líquido. Este equipo intercambia agua condensada contaminada a 95 ºC con jugo mezclado que sale del tándem de molinos a 35 ºC a 50 ºC, con la disminución del calor sensible del agua de 95 ºC a 72 ºC. El agua se utiliza en el tándem directamente como agua de imbibición y el jugo mezclado a 50 ºC se convierte en jugo alcalizado. Este desarrollo permite:

- ✓ Ahorro de 1 T de vapor/hora por cada 1,100 T/día de molida.
- ✓ Elimina el uso de agua de fuentes externas para imbibición.
- ✓ Disminuye en un 20 % la capacidad en calentadores.
- ✓ Permite mayor eficiencia en la alcalización en frío.
- ✓ Elimina parte de aguas residuales que se vierten a la zanja, al utilizar 100 % el condensado contaminado (33 % del total).
- ✓ Elimina agua cruda en el proceso.
- ✓ Permite el uso de un calentador obsoleto, modificado o no, a estos fines, que no tiene mantenimiento ni limpieza, sin tener que reponer este equipo.

Cuando examinamos los resultados técnico-económicos en más de 100 ingenios del país en el último quinquenio, ellos definen esta tecnología como indiscutible. Es capaz de financiarse la semana de operación, siendo además el desarrollo energético más popular del país. Produce en una zafra 6,000 T de bagazo sobrante y 1,000 T de petróleo equivalente para un ingenio promedio.

Calentadores de jugo. Calentadores de jugo mezclado.

La clarificación de guarapo depende 100 % del calentamiento perfecto, ajustado siempre a 104 ºC, sin equivocaciones siquiera un minuto, para producir azúcar de calidad. Pero además, este mismo equipo tecnológico debe usar la menor superficie de calentamiento, el mínimo consumo de vapor, y la máxima fiabilidad operativa. Nuestro diseño de calentador Vampiro cumple con excelencia todos estos factores:

	Ventajas
Coeficiente de transferencia de calor máximo de la literatura especializada.	550 Btu/h pie^2 ºF 200 Btu/h pie^2 ºF (los tipificados)
Necesidad de menos de la mitgad del área de calentamiento.	Ocupa mínimo espacio para su montaje.
Un 30 % de la caída de presión lado del jugo y 0 % lado de vapor.	Excelente para operar con vapores del 2do y 3er vaso de un múltiple efecto evaporador.
Diferencia terminal vapor-jugo de 2 ºC igual a los calentadores de placas.	Con la mitad del precio referido a la misma área.

Puede operar con vapores de máximo volumen específico y cualquier rearreglo energético en evaporadores.	Opera con vapores a más de 22” de vacío con máxima facilidad.
Puede operar eficientemente como un condensador de superficie de una planta de fuerza, generando electricidad.	Puede operar en tiempo inactivo operando con turbinas de vapor a cualquier presión de escape.

Este equipo ha sido el propulsor de los mejores rearreglos energéticos realizados en Cuba. Ha sido la fuente de desarrollo de los modelos antiguos a la tecnología de Vampiro con máximo éxito operativo.

En los anexos mostramos sus curvas experimentales comparativas in situ con equipos calentadores tradicionales, con resultados impactantes.

Sus resultados industriales en fábricas del país definen 300,000 US dólares de ahorro por zafra, en un ingenio mediano (5,000 T/día de caña), al materializar rearreglos muy efectivos, que anteriormente jamás se realizaron.

Es el eje fundamental en rearreglos energéticos de 34 % de vapor % en caña.

Existe una familia de calentadores Vampiro de 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 y 4000 pie^2 cuyo precio es 1,5 veces el valor de un calentador común de tubos y coraza, y la mitad de un calentador de placas.

Calentadores de jugo clarificado

La nueva técnica de operar el calentador de jugo clarificado con vapores del propio pre-evaporador define la necesidad de un diseño con el mínimo diferencial vapor-jugo. Este es el Vampiro. Esta tecnología define las ventajas siguientes.

Ahorro del 30 % del consumo de vapor.	En comparación con el calentamiento con escape y un diseño convencional
Uso del 50 % del equipamiento.	Por el máximo coeficiente operando a 10 psig
Elimina la dispersión del condensado, al cerrar el ciclo de escape en la calandria del pre-evaporador. Esta es la primera pérdida de agua condensada que se elimina.	Cuando se opera con escape, este porciento de vapor vivo no regresa a la caldera.

Este rearreglo muy sencillo y seguro define ahorros de vapor y aumento de eficiencia en los evaporadores, al igual que de condensado de alimentar calderas. Los resultados muy eficientes sólo se logran con calentadores de máxima eficiencia.

Bloque de evaporación.

He aquí la razón de ser del rearreglo energético de cualquier ingenio.

Produce dos veces la producción de vapor de las calderas.

Toda la evaporación continua en menos de una hora, del 70 % del agua contenida en el jugo.

No existe equipo termoenergético que produzca más vapor por unidad de área en la unidad de tiempo, con el asombroso ahorro de energía de hasta un 75 % del consumo. El diseño del evaporador define el trabajo central o medular, y el esquema o rearreglo del No. de vasos proporciona el ahorro de vapor requerido.

El diseño del evaporador.

El diseño de convección natural y flujo ascendente de Reilieux data de 170 años. No es obsolescencia, sin rigidez tecnológica de un maravilloso desarrollo mundial. En los últimos 20 años ha sido desarrollado el evaporador de película descendente, y en máximo grado el de cama empacada o de área compactada.

El evaporador de película descendente posee las ventajas del ΔT jugo menor y tiempo de residencia también mucho menor que el equipo convencional, pero su costo comparativo es extraordinariamente mayor. En nuestro criterio personal, sus ventajas no pagan su costo excesivo (más del doble del actual). Existen técnicas operativas en tachos y en clarificadores por flotación que mejoran ostensiblemente los errores de color de un par de enteros. El color del crudo no es un problema técnico para la fabricación de azúcar mundial. El equipo compacto o de empaque, aunque comenzó con éxitos prometedores en la industria remolachera, al bajar los costos de equipamiento, sus problemas de sellaje (kilómetros de soldadura internos de empaque), problemas de limpieza con ácido clorhídrico, y tupiciones de sus conductos de 8 mm de diámetro, llevaron a su fábrica Bakell Durff de Alemania a la quiebra, hace dos años: todavía no ha llegado el equipo que elimine al evaporador de convección natural y flujo ascendente.

Nuestro actual desarrollo se basa en el renacimiento de la tecnología de convección natural y flujo ascendente, con eficiencias y tiempos de retención cercanos a la tecnología de flujo pelicular descendente. Siempre con la fiabilidad operativa y el bajo costo del sistema de convección natural.

El nuevo equipo con tecnología de punta presenta los desarrollos siguientes:

1. Coeficiente de evaporación de 10 lb/hora pie^2.	20 % mayor que el pelicular.
2. Tiempo de retención de 30 minutos.	15 % mayor que el pelicular.
3. Eliminación de la película externa del condensado.	Mejora sustancialmente el diferencial vapor-jugo.
4. Flujo de vapor periférico, con salida perimetral y única de incondensables. El incondensable se aprisiona en un punto único.	Elimina 100 % los incondensables del interior de la calandria.
5. Eliminación de arrastres por separadores especiales de cama húmeda en serie.	A pesar del alto rate de evaporación, elimina los arrastres.
6. Alimentación de jugo con densidad homogénea.	

De esta familia de nuevos evaporadores existen vasos de hasta 25,000 pie^2 y cuádruples evaporadores de 80,000 pie^2 de superficie calórica. Pre-evaporadores desde 25,000 hasta 125,000 pie^2 de superficie calórica.

Rearreglo energético

Siempre que la presión de vapor sea mayor de 250 psig – 17 ata el sistema más indicado es pre y quíntuple, con extracciones en los vasos 2 y 3 a calentadores y a tachos en los vasos segundos. Este esquema se completa con extracción al primer vaso para rectificar la temperatura de guarapo a clarificadores y la temperatura de jugo clarificado con vapores del pre-evaporador. Se usarán intercambiadores líquido-líquido en guarapo mezclado, se limpiarán los tachos con vapores del pre-evaporador y agua contaminada, se harán con meladura el magma de azúcar B y C, y se cuidará que las extracciones continuas de la caldera estén al 2 % del flujo total.

Se utilizará básicamente la tecnología de doble semilla en tachos y se disolverá la semilla sobrante con jugo clarificado, y esta disolución devuelta al tanque de jugo clarificado o de alimentación al cuádruple. Este proceso determina un 32 % de vapor % en caña, el límite del contenido de agua en meladura (70 °Brix y 30 % de agua en peso), con una instrumentación media, para lograr estabilidad total en la presión de operación del vapor producido por el pre-evaporador.

Este esquema básico tiene las siguientes ventajas:

- Mínimo posible de consumo de vapor al menor costo de inversión.
- Operación 100 % fiable las 24 horas de trabajo.
- La variación de consumo en tachos, al ser éstos discontinuos, la asume como pulmón el pre-evaporador, y su presión constante de operación automática.
- Uso de calentadores Vampiro en todos los casos.
- Eliminación del uso del agua en el proceso de tachos.
- Eliminación del uso del vapor vivo (120 psig) en la limpieza de tachos con un 5 % del vapor total consumido en proceso.
- Control por medio del camello con equipo medidor de extracción continua de agua, con ahorros de hasta 8 % del agua de alimentar calderas (4 % de bagazo sobrante).
- Instrumentación completa y automatización media en los evaporadores. Control de nivel en todos los vasos y presión de trabajo del pre-evaporador.

Con este esquema definimos 32 % de vapor en caña, entre 16 y 20 % de bagazo sobrante en función de la presión de trabajo de la caldera y su eficiencia general. Cuando este esquema se acopla a una planta de producción adicional anexa, es necesario un mayor grado de instrumentación que cuando el exceso de bagazo es empleado para cogeneración y venta de electricidad.

En los anexos presentamos un esquema real, propuesto como medio para el máximo ahorro de energía, de mínimo costo y máxima fiabilidad operativa. En este rearreglo la excelencia del sistema la determina el sistema de vacío eficiente y fiable, y un trabajo de tachos de precisión sólo lograda con buenos diseños, y un sistema muy técnico y repetitivo de operación como lo es sin lugar a dudas el de doble semilla. El uso de agua operativa en tachos queda totalmente prohibida, ya que puede alcanzar valores reales normales de 5 % de vapor de consumo en tachos. Este valor significativo es conocido como agua de manejo, que desde luego es oculta e inmedible.

Bloque de tachos

Este bloque es el responsable de un 40 % del consumo de vapor de proceso cuando opera eficientemente. Cuando no es así, y la meladura no está sobre el 62 % en peso, cualquier valor puede definirse. El tener que estar acoplado el tacho como equipo periférico del múltiple efecto lo encadena y define a su vez el consumo de vapor que puede y debe consumir. El sistema de evaporación sufre sus desperfectos operativos y aplaude sus deferencias.

El nuevo tacho

El diseño propuesto de tacho es el diseño Hamill de la Honolulu Iron Works modificado y remodelado en algunos aspectos.

- Se toma la altura de placa a placa de 1,000 mm.
- Se remodela el diámetro del tubo central según su uso.
- Se exige que los tubos sean de acero inoxidable, no por su aporte a la transferencia de calor, sino por su relevancia en conservar su superficie lisa, libre de incrustaciones y corrosiones que sufre el tubo de acero común.
- Remodelación del trazado de la placa, introducción de un bafle posterior de tránsito del vapor, una tercera caja de condensado, y la extracción de gases de excelencia que posee el diseño original.
- Colocación de supresores externos de condensados para mejorar el coeficiente de transferencia de calor total del equipo.
- Los tachos de 2da y 3ra serán siempre aditados con sistema de movimiento ICINAZ, fiable y a prueba de roturas, para permitir el uso de vapores al vacío.

El uso de tachos de múltiples entradas de vapor, aunque sofisticada la movilidad del vapor dentro de la calandria, imposibilita por otra parte la concentración de gases incondensables. Buen arranque, peso enorme, lentitud en liquidar la templa. El diseño del tacho, al igual que el evaporador, depende de la hidrodinámica del vapor dentro de la calandria. El tacho debe y tiene que tener una fiabilidad completa en la extracción de gases.

Sistema de vacío.

La utilización de una ingeniería precisa y adecuada del diseño del enfriadero, y el uso de condensadores barométricos de máxima eficiencia energética, dirigen la buena marcha del rearreglo energético.

En enfriadero con menos de 50 % de eficiencia termodinámica define un mayor uso de agua de enfriamiento y mayor capacidad en bomba de vacío. El agua sólo se enfría en los 4 ó 5 segundo en que el agua se despliega en finas gotas, se eleva en el aire y cae en el estanque o piscina. El aire que la atraviesa tiene que estar seco y frío, de otra manera nuestros resultados serán deficientes. Las distancias entre ramilletes, el número de torres en fila, y el número de sprays por ramillete definen el diseño estático de la piscina. La posición del mismo con los vientos predominantes y el área de paso entre torres cierra esta implementación. Un aire saturado o húmedo jamás enfriará el agua.

El condensador barométrico diseñado está encaminado a obtener el máximo de eficiencia energética, con el mínimo consumo de energía.

La nueva familia de condensadores diseñados presenta un diseño pelicular de mínimo diámetro para operación con mieles y otro diseño de máximo contacto vapor-agua para operar con meladura y licores.

Los nuevos diseños presentan los logros siguientes:

- ΔT vapor-agua, ΔT terminal de 3 °Cpromedio.
- Consumo de un 35 % menos de agua por kg de vapor.
- 50 % menos de chapa de acero y peso general, comparado con equipos estándares.
- Ahorro de 100 kW-h por cada 1,100 T de caña/día de molida entre bombas de inyección y de vacío.
- Máximo vacío y menos temperaturas de evaporación y cocción.
- Enormes facilidades de montaje por su menor tamaño y peso.

Este nuevo equipamiento de punta permitirá la máxima fiabilidad operativa a su esquema energético, el máximo de ahorro eléctrico y un trabajo eficiente en la producción azucarera.

T.L.T. Tecnología para la Limpieza de Tachos.

Nuevo sistema de limpieza de tachos basado en el uso de vapores de baja presión o vapores de jugo, unido con agua contaminada espreyada dentro del tacho. El dejar de utilizar vapor vivo como escoba durante 10-15 minutos después de cada templa por un ciclón interior formado por vapores del pre, con lloviznas de agua caliente, han ahorrado entre un 5 y un 7 % del vapor consumido en el proceso. Además de las ventajas de ahorro, está la de brindar máxima limpieza por la mezcla de vapor-agua durante 20 segundos de operación. Este sistema presenta igual fundamentación que el aumento de 3 % en la eficiencia de generación de una caldera.

Camello

Cuando no existen medios técnicos perfectos para medir la extracción continua de una caldera, existen los problemas siguientes en cualquier sistema de generación:

1. El personal operativo abre indiscriminadamente la válvula de salida para mantener muy bajos los sólidos totales de la caldera.
2. Cuando esto no se detecta por algún medio técnico, las pérdidas de agua pueden situarse entre 10 y 15 % fácilmente.
3. Esto determina perder entre 15 y 20 °C en el agua de alimentar calderas, por adicionar agua fría como make-up.
4. Define la pérdida de 4 % de la eficiencia general de la caldera y la afectación del esquema energético.

Nuestro equipo falsea completamente el agua a extraer a presión atmosférica, recupera el 1 % del total de vapor de la caldera, y mide efectivamente la cantidad efectiva de agua extraída. Sólo lo que se mide y supervisa se controla, no sólo lo dijo Lord Kelvin, sino la vida real en la fábrica se confirma. Este pequeño equipo define pérdidas increíbles, por no ser cuantificadas, de la mejor agua, con máxima temperatura de la fábrica.

BLOQUE TECNOLÓGICO PARA EL AHORRO DE AGUA Y ENERGÍA EN LOS CENTRALES AZUCAREROS

Ing. Benigno D. Escobar Lainque
Ing. Emilio P. Díaz García

División de Ingeniería del ICINAZ
E-mail: ceida@icinaz.co.cu
Palabras clave: agua, energía, sugar factory

Resumen:

Este trabajo comprende un conjunto de soluciones de ingeniería aplicables a fábricas de azúcar tanto a partir de caña como de remolacha, así como en refinerías, las cuales posibilitarán disminuir tanto los consumos de agua de fuentes externas como el consumo de energía térmica y mecánica.

Podrán ser aplicadas indistintamente, según las necesidades y prioridades en cada caso, posibilitando adicionalmente disminuir el volumen de algunas corrientes que se incorporan a los efluentes, con lo que se posibilita incluirlo en el programa de medidas para producciones más limpias.

Las soluciones aquí comprendidas llevan implementadas algunas más de 15 años, y otras, las más recientes, con dos años de resultados positivos en la práctica.

Palabras claves: ahorro de agua, ahorro de energía, centrales azucareros

Technological block for saving water and energy in sugar factories

Eng. Benigno D. Escobar Lainque
Eng. Emilio P. Díaz García.

Engineering Division
ICINAZ
E-mail: ceida@icinaz.co.cu

Summary

This work entails a group of engineering solutions applicable to cane or beet sugar factories, as well as refineries, intended to diminish consumptions of water from external sources, thermal energy and mechanical energy.

They can be applied indistinctly, according to the necessities and priorities in each case, facilitating additionally to diminish the volume of some streams normally forming part of the effluents, so that they can be included in programs of measures for cleaner productions.

Some of these solutions were implemented more than 15 years ago, while others, the most recent ones, have yielded positive results for 2 years in industrial practice.

Key words: Saving water, saving energy, sugar factory

BLOQUE TECNOLÓGICO PARA EL AHORRO DE AGUA Y ENERGÍA EN LOS CENTRALES AZUCAREROS

Autores: Ing. Benigno D. Escobar Lainque
Ing. Emilio P. Díaz García.

División de Ingeniería
ICINAZ, Septiembre 2003

Introducción

La industria azucarera cubana, caracterizada 30 años atrás por el consumo de altos volúmenes de agua de fuentes externas y portadores energéticos, ha venido introduciendo sistemáticamente en el transcurso de estos años un conjunto de medidas tanto de carácter subjetivo como objetivo que han permitido mejorar dichos resultados.

No obstante el avance positivo alcanzado, todavía existen en algunos centrales azucareros situaciones adversas que implican consumos de agua de fuentes externas, máxime cuando sabemos que una fábrica adecuadamente operada y con instalaciones aceptables debe tener un excedente de agua de 93 m^3/día por cada 100 000 @ de capacidad, además de autoabastecerse y disponer de un excedente de portadores energéticos mayor que los actualmente alcanzados.

Entre estas adversidades que aún se confrontan podemos citar:

Entre un 40 y 50 % de los condensadores existentes poseen, como resultado del diseño, elevadas diferencias terminales de temperatura, implicando elevados consumos de agua de inyección y por lo tanto pérdidas en el volumen circulante y elevadas demandas de energía.

La mayoría de los enfriaderos poseen entre un 40 y 50 % de eficiencia (de 60% posible a alcanzar), obteniéndose elevadas temperaturas en el agua de inyección, lo que conlleva al incremento del volumen de agua de condensación y la demanda de energía, equipos e instalaciones.

El agua de relleno al agua de alimentar calderas representa volúmenes entre un 20 y 25 % (make-up), implicando un gasto adicional en tratamiento químico y térmico, consumos de energía e instalaciones, producto ello de:

- Arrastres de azúcar en el Pre-evaporador en algunas instalaciones.
- Utilización indiscriminada e innecesaria de vapor directo para la limpieza (escoba) de tachos.
- Pérdidas de calor y agua a través de la no administrada extracción continua de las calderas.
- Circuitos cerrados de aguas auxiliares para enfriamientos y usos tecnológicos que presentan dificultades por salideros, derrames, inadecuada instalación, etc.

Resultados

El trabajo que les estamos exponiendo contiene un conjunto de soluciones de ingeniería, algunas de ellas implementadas hace más de 15 años y otras, las más recientes, con 2 años de resultados positivos en la práctica, permitiendo todas ellas repotenciar tecnológicamente el proceso azucarero y obtener una

disminución sensible de los costos. Algunas de estas soluciones han sido más propulsadas, formando parte de las políticas impulsadas por el MINAZ para incrementar la eficiencia, por lo que pretendemos que todas sean incluidas en la medida en que posibiliten incrementar los buenos resultados de un central azucarero.

Los temas abordados en este bloque tecnológico son los siguientes:

Familia de condensadores

Aplicada a través de dos principios de diseño (condensación pelicular y condensación por multicontacto), se obtiene la gama necesaria de capacidades, desde 4,5 hasta 45 Ton/hora de vapor a condensar con mínimas diferencias terminales de temperatura, utilizando la mitad del laminado y costos que los equipos tradicionales. Sus resultados se comprueban desde sus patrones de diseño: condensador pelicular con Δt entre 2 y 4 ^{0}C y condensador 8 PM con Δt entre 4 y 5 ^{0}C. Logra disminuir las pérdidas de agua y excedentes de energía por menores volúmenes en la manipulación de agua circulante.

Calentador líquido-líquido

Permite una ganancia calórica adicional por obtener un incremento de 10 ^{o}C en el calentamiento del jugo crudo a partir de un agua que se enfriaba por contacto directo con agua de fuentes externas, cambiándose en este caso por enfriamiento de superficie a través del jugo frío y el agua condensada a 95 ^{o}C que cae hasta 75 ^{o}C, lista para ser utilizada como imbibición. Logra el doble propósito de ahorro de agua y energía, evitando el incremento del volumen de efluentes.

Tecnología para la limpieza de tachos: T.L.T.

De más reciente aplicación, logra disminuir entre un 4 y un 7% la generación total de vapor de un ingenio, además de reducir en esa magnitud las necesidades de relleno de agua de alimentación de calderas y disminución de tratamientos en dicha agua, como efecto de evitar la pérdida de vapor directo utilizada para la obligatoria limpieza de tachos. Su efecto incide en el ahorro de agua, insumos para tratamiento, aprovechamiento energético, estabilidad en la presión de vapor directo, adecuación en minimizar rellenos por desmineralización total, a elevadas presiones e incremento de la cogeneración.

Equipo para la recuperación de agua y calor de la extracción continua

El agua procedente de la extracción continua de las calderas, normalmente desperdiciada y vertida al medio, con algunas excepciones, con un flujo que corresponde entre 2 y 15 % entre los valores extremos, es introducida a este equipo, el cual posee excelentes condiciones de diseño para conseguir buen comportamiento en la expansión y evaporación a menores presiones. Logra recuperar e incorporar al proceso 0,7 al 1,0 % del vapor total generado, como vapor y como agua de magnifica calidad, además de medir, concentrar en un solo punto el agua de todas las extracciones y propiciar la utilización del resto del agua nuevamente al proceso tecnológico en diversos usos, evitando su vertimiento al medio.

Separador de arrastres de cama empacada húmeda

La introducción de pre-evaporadores en la industria como necesidad de obtener esquemas de evaporación más eficientes, han provocado en algunas situaciones arrastres de azúcar conjuntamente con el vapor, alcanzando valores tales que inutilizan el agua obtenida en la condensación de dichos vapores como agua de relleno para alimentación de calderas, reposición de circuitos cerrados, incrementando con ello el volumen de residuales. Se elabora una ingeniería capaz de dar soluciones en cada caso, consiguiendo en el

diseño de estos separadores de arrastres eficiencias de un 98.0%, válido ello para eliminar el uso de agua de fuentes externas para presiones de generación de hasta 400 psig.

Remodelación de enfriaderos

La ingeniería aplicada correctamente en la obtención de los menores volúmenes posibles de agua para condensación como vía de disminuir las pérdidas y necesidades adicionales de agua como relleno, así como disminución de energía mecánica necesaria para el manejo de los altos volúmenes del agua circulante de condensación, hacen posible alcanzar volúmenes entre el 40 y 50 % del inicial. Los actuales enfriaderos con una baja eficiencia real, permiten después de la implementación de un adecuado esquema de evaporación e instalación de condensadores eficientes, introducir la remodelación a su vieja instalación, sin aumentos en dimensiones, e incrementar entre un 15 y 20 % su eficiencia logrando con ello completar el ciclo de la óptima utilización del agua de condensación y los beneficios que ello conlleva en materia de ahorro del agua e incremento de la cogeneración.

Uso eficiente del agua en circuitos cerrados y uso tecnológico

El ordenamiento y selección de la distribución de aguas contaminadas según prioridades de uso por medio del tanque elevado para casa de calderas y el adecuado manejo de aguas libres de contaminaciones para su uso en agua de alimentar calderas y rellenos de circuitos cerrados de enfriamiento, permiten obtener el uso más racional posible del agua y del calor contenido en ella, conllevando con una adecuada administración y disciplina la eliminación de utilización de agua de fuentes externas para estos menesteres.

COGENERACIÓN

Parámetros de los ingenios	Consumo propio de cada ingenio, kW/TC	Potencial de cogeneración eléctrica con el bagazo (20 % tiempo perdido total), kW/TC	Posible cogenera-ción, kW/TC	Incremento de la cogenera-ción debido a la introducción del bloque tecnológico, kW/TC	Posible cogenera-ción total futura, kW/TC
400 psig, 370 ^{o}C, 25 psig, totalmente electrificados	30.0	44.0	14.0	10.22	24.22
250 psig, 320 ^{o}C, 25 psig, totalmente electrificados	26.0	36.0	10.0	8.52	18.52
250 psig, 320 ^{o}C, 25 psig, parcialmente electrificados	16.0	24.0	8.0	8.52	16.52
150 psig, 260 ^{o}C, 10 psig, totalmente electrificados	21.0	26.0	5.0	6.63	11.63
125 psig, 260 ^{o}C, 10 psig, parcialmente electrificados	12.0	16.0	4.0	6.63	10.63

AGUA

	Ahorro de agua, m^3/TC				Disminución del volumen de residuales, m^3/TC	Aporte económico (*)		Costo inicial de la instalación (*)
		400 psig	250 psig	150 psig		Por disminución consumo agua fuentes externas	Por incremento cogeneración eléct., a 0,03 USD/kWh	
Familia de condensadores	0.18	0.90	0.90	0.90	-	19,872 MN	9,936 USD	15,000 USD
Remodelación enfriadero	0.20	0.40	0.40	0.40	-	22,080 MN	4,416 USD	4,000 MN 500 USD
Separadores de arrastres	0.12	3.33	2.51	2.20	0.36	13,248 MN	27,710 USD	1,200 MN 7,000 USD
Tecnología para limpieza de tachos	0.03	4.55	3.93	3.73	-	3,300 USD	43,387 USD	3,600 MN 4,000 USD
Eq. recuperador de agua y calor de la purga continua	0.04	0.41	0.31	0.28	0.04	4,416 MN 700 USD	3,422 USD	1,300 MN 4,600 USD
Intercambiador líquido-líquido	0.08	0.63	0.47	0.42	0.08	8,832 MN	5,189 USD	800 MN 500 USD
Acondicionamiento de circuitos de agua	0.05	-	-	-	0.05	5,520 MN	-	
Total	0.70	10.22	8.52	6.63	0.53	73,968 MN 4,000 USD	94,060 USD	10,900 MN 31,600 USD

(*) Para un ingenio 4,600 TCD, zafra 100 días, 20 % tiempo perdido,

Conclusiones y recomendaciones:

- La División de Ingeniería del ICINAZ tiene la posibilidad de brindar la ingeniería básica y de detalles, además de la asesoría necesaria que permitan implementar este trabajo tanto parcial como totalmente en los centrales azucareros y alcanzar los resultados expuestos.

- Las soluciones propuestas representan la forma más sencilla y la utilización más racional posible de los recursos, haciendo su implementación factible y económica, lográndose recuperar la inversión inicial en menos de dos meses de zafra, además de atenuar la incidencia ecológica que causan los vertimientos al medio.

- El trabajo aquí presentado es producto del esfuerzo personal continuado de 20 años en la búsqueda e implementación de las soluciones más eficientes y económicas, habiéndose aplicado todas ellas en la práctica, resultando de por sí tecnologías novedosas y de punta, aplicadas a los ingenios desde los más viejos y obsoletos hasta los más modernos, incluyendo refinerías y producciones de azúcar a partir tanto de caña como de remolacha.

- Este bloque tecnológico permite llevar cualquier central azucarero a un punto de balance más favorable tanto de agua como de energía, ya que de implementarse las medidas: Familia de

condensadores, Tecnología para limpieza de tachos, Equipo para la recuperación de agua y calor y Remodelación de enfriaderos, permiten en su conjunto adicionar a los buenos resultados ya obtenidos, 0,45 m^3 de agua/TC como sobrante adicional y de 5,31 - 8,70 kW/TC como cogeneración adicional.

- Un central azucarero con producciones de azúcar crudo, con adecuada disciplina tecnológica e instalaciones acordes a una aceptable eficiencia, que además de poseer un buen esquema de evaporación disponga del conjunto de medidas aquí expuestas, puede obtener un sobrante de agua de buena calidad en el orden 0.2 a 0.3 m^3/ton caña para molidas estables.

CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL ALMACENAMIENTO DE BAGAZO CON FINES ENERGÉTICOS.

GENERAL CONSIDERATIONS FOR THE OF STORAGE OF BAGASE FOR ENERGY PRODUCTION.

Pérez Hernández, J.A. , Valdés M., Moreda C., Pérez O., Fernández J

UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba 9, Pablo Noriega Apdo 8, C.P. 33500 Quivicán, La Habana e-mail direcc9@enet.cu

Palabras claves: Almacenaje del bagazo, Energía Renovable, Conservación de Biomasa
Key words: Store of bagasse, Renewable Energy, Strow conservation.

RESUMEN

La biomasa procedente del proceso de producción de azúcar es una fuente potencial de energía renovable, que en la mayoría de los casos se quema en las propias instalaciones azucareras mediante tecnologías con muy baja eficiencia energéticas

El desarrollo de tecnologías más eficiente para la utilización del bagazo con fines energético requiere de nuevas concepciones en cuanto a su almacenamiento, por que este trabajo esta dirigido a definir las condiciones de almacenamiento óptimo del bagazo para su utilización con fines energéticos durante todo el año en termoeléctrica a partir de biomasa, además de brindar un esquema tecnológico que garantice que la materia prima bagazo posea los parámetros adecuados para lograr la combustión con los mayores rendimientos.

Existen esquemas de almacenamiento en otros países que difieren de los propuestos en este trabajo, motivado por las condiciones especificas de cada país, ya sea tecnológicas, climatológicas o ambas a la vez.

SUMMARY

The biomass coming from the process of production of sugar is a potential source of renewable energy that burns in the own sugar facilities by means of technologies with very low energetic efficiency in most of the cases.

The most efficient development of technologies for the use of the bagasse for energy ends requires of new conceptions in order to storage this raw material. This work is directed to define the conditions of good storage of the bagasse for its use with energy ends during the whole year in thermoelectric from biomass, besides it gives a technological outline that guarantees that bagasse possesses the appropriate parameters to achieve the combustion to the biggest yields.

Storage outlines exist in other countries that differ of those proposed in this work, motivated by the conditions specified in each country, either technological, climatological or both at the same time.

INTRODUCCIÓN Y DESARROLLO

Perspectivas del bagazo.

Las fuentes renovables de energía constituyen las principales alternativas futuras en la producción de energía en el mundo; esto ha provocado que con el transcurso de los años se ha ido incrementando la producción de energía utilizando las fuentes renovables; esto ha sido motivado por:

1. Los combustibles fósiles son recursos energéticos no renovables que se formaron durante millones de años, los cuales tienen existencia limitada. Además con las reducciones de las reservas mundiales, el costo de los mismos se ha ido incrementando y llegará el momento en que los precios de venta de la energía de los combustibles fósiles sea igual a los precios de venta de la energía producida por fuentes renovables; a partir de ese momento será competitiva y se desarrollaran con mayor rapidez las tecnologías para la producción de energías renovables que en la actualidad aun no tienen un margen de rentabilidad atractiva.
2. Las emisiones de CO_2 han contribuido al efecto invernadero lo cual provoca un aumento de la temperatura en el planeta que puede dar lugar a una catástrofe mundial. Esto favorece al desarrollo de las inversiones en el campo de las producciones limpias.

Entre las biomasa renovables una de las de mayor potencialidad por los volúmenes de producción de biomasa y por la conservación de CO_2 es el bagazo, el cual constituye un residuo de la producción azucarera que hacen de esta biomasa una excelente materia prima para la producción de energía.

En la actualidad existen 3 variantes de producción de energía.

1. La combustión del bagazo para la generación de energía por el ciclo turbina de vapor. Este es el método más difundido en el mundo y el aplicado en todos nuestros centrales azucareros.
2. La gasificación del bagazo para la generación de energía por el ciclo turbina de gas. Este es un proceso muy eficiente, con el cual utilizando ciclos combinados se pueden alcanzar eficiencias en el entorno del 75 %. El empleo del bagazo como combustible, en esta tecnología aun no ha alcanzado niveles comerciales, debido a que aun no se han resuelto las deficiencias con la purificación del gas que debe pasar a la turbina.
3. La pirolización del bagazo para la obtención del bio-diesel o producción de alcohol en destilerías. Esta alternativa es de utilidad, ya que es validad como complemento de la alternativa anterior.

Para sistemas estacionarios de consumo de energía la variante óptima es el uso de energía eléctrica y esta puede ser utilizada por los sistemas de alta eficiencia generados en los ciclos combinados, pero se necesita adicionalmente un combustible para los equipos no estacionarios (fundamentalmente motores de vehículos automotor), que pueda ser producido por la tecnología # 3 que posee una elevada relación de valor calórico contra volumen.

Se considera que las tres formas de producción de energía pueden convivir, pero con el creciente desarrollo tecnológico, las variantes # 2 y # 3 señaladas anteriormente deben predominar con respecto a la variante # 1 por ser aquellas las más eficientes.

ALMACENAMIENTO Y CONSERVACIÓN DEL BAGAZO.

Desde el punto de vista conceptual, almacenamiento consiste en guardar un producto durante un espacio de tiempo para ser empleado en un momento determinado, sin sufrir transformaciones en cuanto a calidad que impidan su uso posterior, todo esto debe lograrse con el menor costo posible.
Lo anteriormente expuesto es valido para la conservación del bagazo entre los períodos de molienda de la caña de azúcar.
Existen varios métodos de almacenamiento para el bagazo y al decidir entre ellos deben considerarse la humedad y el gran volumen del mismo. Usualmente es necesario que el bagazo sea embalado en fardos de alta densidad o amontonados en pilas altas apretadas para su almacenaje y manipulación, reduciendo así el área de espacio requerida para su almacenamiento.
Se ha reportado que en los métodos vigentes de almacenamiento las perdidas entre periodos de zafra oscilan alrededor del 10 %. Sin embargo, si no se emplea métodos apropiados estas perdidas pueden llegar hasta 20 – 30 % y al mismo tiempo ocurren grandes afectaciones de la calidad de la fibra.
Como índice de la calidad de la fibra durante el almacenamiento suele utilizarse el método de solubilidad en N_aOH al 1 %. Por esta vía se ha determinado que el mayor deterioro se produce en las primera 16 semanas.
Estudios realizados con bagazo compactado y no compactado y variando el pH entre 3.5 y 4.5 arrojaron que el menor deterioro del bagazo se obtiene con el mayor pH en el almacenaje, y con la compactación del bagazo.

TIPOS DE ALMACENAJE

De forma general existen diferentes tipos de conservación de bagazo entre los que se tienen:

- Sistemas de almacenamientos a granel.

En estos sistemas, el bagazo se deposita suelto sobre plataformas construidas para ese fin
En los métodos de almacenamiento a granel, el bagazo se puede o no compactar con medios mecánicos, formándose grandes pilas que alcanzan alturas de hasta 25 m y más, la compactación en estos casos se logra con el propio peso del bagazo con la ayuda de la adición de líquidos (agua, licor microbiológico u otras soluciones acuosas)o por el empleo de equipos pesados, como cargadores frontales con rueda de goma o esteras. Este sistema es frecuentemente utilizado cuando se producen manipulación de bagazo de centrales tributarios cercanos a la planta cercana al consumidor. La manipulación de bagazo para el almacenaje en el propio central generalmente se realiza por transportadores de banda o rastrillos.

- Sistema de almacenamiento mediante compactación.

La baja densidad del bagazo dio origen a la idea de su compactación como forma de facilitar su manipulación, transportación y almacenamiento reduciendo consecuentemente los costos y áreas de almacenamiento.
En general el sistema se basa en compactar el bagazo en prensa adecuadas para estos objetivos.
Los estudios de compactación de bagazo han demostrado que para lograr densidades de hasta 700 kg/m^3 no existen diferencias significativas en la relación fuerza especifica contra densidad, tanto para el bagazo húmedo a 50 % de humedad y presecado a 13.2 % de humedad. Para presiones mayores la curva de fuerza especifica contra densidad se comporta de forma exponencial siguiendo la siguiente ecuación ($Y = 1.343 * e^{4.7*X}$), esto nos indica que para densidad elevadas es necesario presecar el bagazo porque los consumos de energía por este concepto crecen exponencialmente en función de densidad. Para bagazo a

13.2 % de humedad la curva es ($Y = 79.43 * X^{2.310}$), donde: Y es la fuerza especifica aplicada a la paca en kg/m^2, y X es la densidad de la paca en g/cm^3

La compactación puede realizarse de varias formas:

1. Almacenamiento en pacas. Estas pueden ser formadas en húmedo o presecadas. Esta depende de la calidad del bagazo que se desea almacenar.
2. Almacenamiento en briquetas.
3. Almacenamiento en pellets.

En la conservación del bagazo es evidente que el hecho de presecar bagazo para ser almacenado, tiene sus ventajas desde el punto de vista de calidad de la fibra, pero lógicamente conducen a un aumento del costo de inversión y operación por el combustible requerido.
Sin desconocer algunas posibilidades del sistema de almacenamiento en pellets o briquetas, como el elevado grado de mecanización que pueden utilizarse, actualmente las variantes más utilizadas en los sistemas compactados son los de pacas húmedas y pacas presecadas

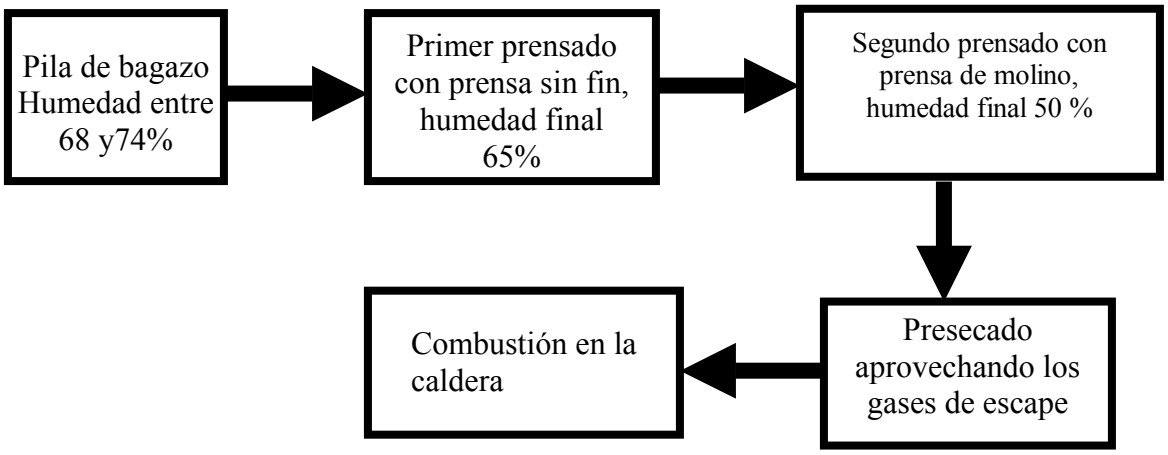
CRITERIOS DE ALMACENAJES PARA UTLIZACION DEL BAGAZO CON FINES ENERGÉTICOS.

La humedad es un elemento muy importante porque el mismo define el valor calórico del bagazo y la posibilidad tecnológica para su combustión en la caldera. La humedad esta definida por el tipo de almacenamiento.
Se ha reportado el empleo de bagazo compactado en briqueta pero al mismo tiempo se ha señalado que las fuerzas de compresión para el briqueteo son muy grandes, además de que estas máquinas requieren un constante mantenimiento por lo que la briqueta no es considerado un método efectivo para el almacenaje con fines energéticos.
El método de almacenamiento más reportado por la literatura para la generación de electricidad es el de bagazo compactado, no obstante al decidir este aspecto en una nueva inversión deben tenerse otros factores de índole económica, según las condiciones especificas de cada región.
Sí el bagazo es tributado por otros centrales se ha recomendado que el mismo sea empacado para reducir los costos de almacenaje.
Si el bagazo es producido por el mismo central que se montara la planta, teniendo en cuenta las condiciones del lugar en cuestión podría valorarse la posibilidad de almacenaje en húmedo compactadas por medios mecánicos similares a las pilas que se forman en el complejo de papeles blanco Uruguay, el cual contempla un control adecuado de la degradación del bagazo con buenos resultados. La densidad de almacenaje en pilas de altura de 20 m puede alcanzar valores superiores a 125 kg/m^2 base seca.
Este sistema conllevaría menor costo de energía comparado con los de empaque de bagazo presecado.
Bajo esta tecnología de almacenamiento la humedad de la pila oscila entre 68 y 74 %, como se observa esta valor es muy elevado para el proceso de combustión, donde se requiere un bagazo con menor cantidad de humedad con vista a la no afectación de su valor calórico y facilitar el proceso de combustión.
A continuación se proponen un sistema para reducir la humedad del bagazo hasta el valor adecuado de alimentación a caldera mediante la propuesta anterior de almacenado:

1. Medios mecánicos. Este es la forma más económica de extracción de agua; la misma consiste en pasar el bagazo por una prensa sin fin provista de un cono en su parte delantera, lo cual posibilita compactar el bagazo mediante extracción de agua. Este sistema es capaz de entregar una materia prima con una humedad en el entorno de 60 %..

2. Medios térmicos. La temperatura de salida de los gases de escape de la caldera es la principal pérdida que presenta un generador de vapor, motivada por la alta temperatura y volúmenes de las emisiones de los gases. La reducción de temperatura está limitada por la temperatura del roció ácido del azufre que deteriora la superficie de intercambio. En el caso de la combustión con bagazo no existe esta dificultad, por lo tanto podemos utilizar la temperatura de los gases de escape para secar el bagazo que se va a alimentar a caldera, o sea, esta pudiera ser la reserva de energía para secar bagazo. Esto pudiera reducir el tiro de la caldera, lo cual puede ser compensado con el tiro inducido de la caldera y un adecuado diseño de la misma.

Esquema en bloque del recorrido del bagazo desde la pila hasta la caldera.



BAGAZO PARA COMBUSTIÓN.

El desarrollo de una planta generadora de electricidad empleando bagazo como combustible debe ser considerando éste como producto sobrante y no en base a sustitución por petróleo.
Una alternativa posible puede ser aquélla en que varios centrales tributen su bagazo sobrante y el receptor, o sea, donde se instale la planta generadora de vapor, se convierta en productor de mieles a fin de tener un gran excedente de bagazo.
Con relación a los centrales que tributarán, es necesario que los mismos se encuentren a distancias que hagan rentable su transportación. Estudios realizados sobre la transportación y manipulación del bagazo han demostrado que para el bagazo empacado es económicamente factible el transporte ferroviario hasta 112 km de distancia y en transporte automotor hasta 24 km de distancia.
El punto de equilibrio para el bagazo empacado transportado por ferrocarril está en el entorno de 116 km y para el transporte automotor alrededor de 34 km.
La influencia en porciento del costo de transporte del bagazo empacado tiene una alta influencia en función de la distancia de transportación.
En la siguiente tabla puede apreciarse como la distancia a recorrer entre el suministrador y el receptor influye como componente del costo de transportación. Obsérvese que para distancias alrededor de 100 km, el % del costo por transportación del bagazo se acerca al 50 %.

Tabla 1. Influencia del costo de transportación por ferrocarril en porciento del bagazo empacado.

Distancia km	31	56	120	203
Costo de transportación (%)	31.9	39	46.5	52

NECESIDAD DE BAGAZO PARA LA GENERACIÓN DE POTENCIA

El proceso de combustión de sólidos presenta mayor complejidad que el de combustibles líquidos fósiles. Adicionalmente, el bagazo tiene bajo valor calórico y baja densidad lo cual motiva que se requiera manipular grandes volúmenes de biomasas en una planta de generación de potencia, sin embargo, la eficiencia que se puede obtener en cada una de las etapas del proceso de conversión de la energía es muy similar en ambos procesos.

Atendiendo a lo anterior, en el proceso de conversión de la energía del bagazo a 50 % de humedad en energía eléctrica es de aproximadamente **0.97 KWh/kg** de bagazo a 50 % de humedad. Esto nos indica que para una producción de un MW de potencia se requiere disponer en el patio de almacenaje aproximadamente **1375 kg** de bagazo a 50 % de humedad, considerando 25 % de pérdida total almacenamiento y manipulación).

CONCLUSIONES.

- Para la selección de un sistema de almacenamiento de bagazo para fines energéticos deben tenerse en cuenta las condiciones existentes en cada región y aquellas alternativas de mayor beneficio económico, considerando siempre el empleo de bagazo sobrante y no en base a sustitución por petróleo.

- Es factible que el central donde se instale la central termoeléctrica tenga un balance energético eficiente con el objetivo de elevar la producción de energía eléctrica y amortizar más rápido la inversión.

- En el costo del bagazo la transportación tiene una alta influencia. En caso que se decida que otros centrales sean tributarios de bagazo empacado, los mismos deben estar a una distancia menor de 24 Km para la transportación por camiones y menor de 112 Km para la transportación por ferrocarril.

- Por los niveles de pérdida globales de almacenaje y transportación de un 25 % y la eficiencia de los diferentes etapas de conversión de la energía, se requerirán aproximadamente 1375 kg de bagazo a 50 % de humedad para generar un MW de potencia eléctrica.

EVALUACIÓN DEL SISTEMA TERMO ENERGÉTICO DE LA REFINERÍA "MANUEL MARTÍNEZ PRIETO"

Dr. C. Ing. Osvaldo Gozá León[1✞], Ing. Dunieskys Jiménez Martínez[1], Ing. Yosbel Alvarez Suveaut[1], Tec. René Banderas Corrales[2]

[1] Grupo de Investigaciones Azúcar, Facultad Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", ISPJAE, Cuba, ✞ ogoza@quimica.cujae.edu.cu
[2] Empresa Diversificada Manuel Martínez Prieto

Resumen: En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la evaluación del sistema termo energético de la refinería "Manuel Martínez Prieto" durante la campaña del 2002. Para la identificación de los problemas que afectan la eficiencia energética se utilizó como base de cálculo el programa de simulación modular secuencial TERMOAZUCAR y módulos de cálculo en Microsoft Excel que hubo que desarrollar. Se realizó un estudio técnico económico de 11 alternativas de solución que abarcaron las áreas de generación del vapor, distribución del vapor, uso del vapor y recuperación de condensados. Como resultado se logró realizar una caracterización rigurosa de los problemas energéticos existentes en la fábrica, y plantear un grupo de medidas y recomendaciones que conllevan a un mejor uso de la energía y a una disminución del impacto ambiental que ocasionan las emisiones provocadas por la combustión de fuel oil.

Palabras claves: Sistema termo energético, simulación, refinería.

EVALUATION OF THE ENERGY SYSTEM AT "MANUEL MARTÍNEZ PRIETO" SUGAR REFINERY

Abstract: In this paper the results obtained in the evaluation of the energy system at "Manuel Martínez Prieto" sugar refinery during the campaign of 2002 are presented. To detect problems affecting the energy efficiency of the factory TERMOAZUCAR modular-sequential simulation program and calculation modules developed in Microsoft Excel were used. Technical and economic evaluation for 11 alternatives were performed, which involved steam generation, steam distribution, steam use and condensate recovery. This evaluation allowed a rigorous characterization of energy problems at the factory, and the definition of a set of measures and recommendations to make a better use of energy, and to reduce emissions due to the combustion of fuel oil.

Keywords: Energy system, simulation, refinery.

Introducción

La eficiencia en el uso de la energía constituye un elemento imprescindible para la reducción de los costos de producción de la mayor parte de las industrias, y tiene un impacto favorable no sólo desde el punto de vista económico sino también medio ambiental, en especial cuando la industria es consumidora de combustibles fósiles. Problemas a gran escala como son, el efecto invernadero y las lluvias ácidas, tienen como causantes principales las emisiones de dióxido de carbono y óxidos de azufre y nitrógeno que se producen al quemar combustibles fósiles.

La refinería "Manuel Martínez Prieto" hasta el año 1997 trabajó anexa a un central de azúcar crudo, del cual se abastecía de azúcar, vapor, agua, y electricidad, pero a partir de ese año opera de forma independiente siendo alta consumidora de fuel oil, combustible caro y fuertemente contaminante.

Existe un gran potencial para un mejor uso de la energía en nuestras fábricas, configurando y operando mejor el equipamiento que se tiene y realizando sólo pequeñas inversiones. Dada la situación económica que atraviesa nuestro país, esta vía adquiere especial connotación y se vuelve indispensable.

Este trabajo persigue como objetivo evaluar las condiciones del sistema termo energético en la refinería "Manuel Martínez Prieto" durante la campaña del 2002, con vistas a proponer mejoras en el uso de la energía y reducir su impacto en el medio ambiente.

Materiales y métodos

Descripción de los esquemas tecnológico, termo energético y de utilización de aguas y condensados

La refinería "Manuel Martínez Prieto" tiene una capacidad de producción de azúcar refino de 330 t/d y trabaja de forma independiente recibiendo azúcar crudo de cuatro centrales tributarios.

La fábrica cuenta con un equipamiento que permite obtener azúcares de diferentes calidades: Refino A, Refino B y Azúcar Amorfo.

El esquema tecnológico para la producción de Refino A consta de las etapas de Afinación, Disolución, Primer Tratamiento (Fosfodefecación), Segundo Tratamiento (Filtración, Decoloración con columnas de carbón granular), Concentración, Cristalización, Centrifugación, Secado y Envase.

El esquema del sistema termo energético se muestra en la Figura 1.

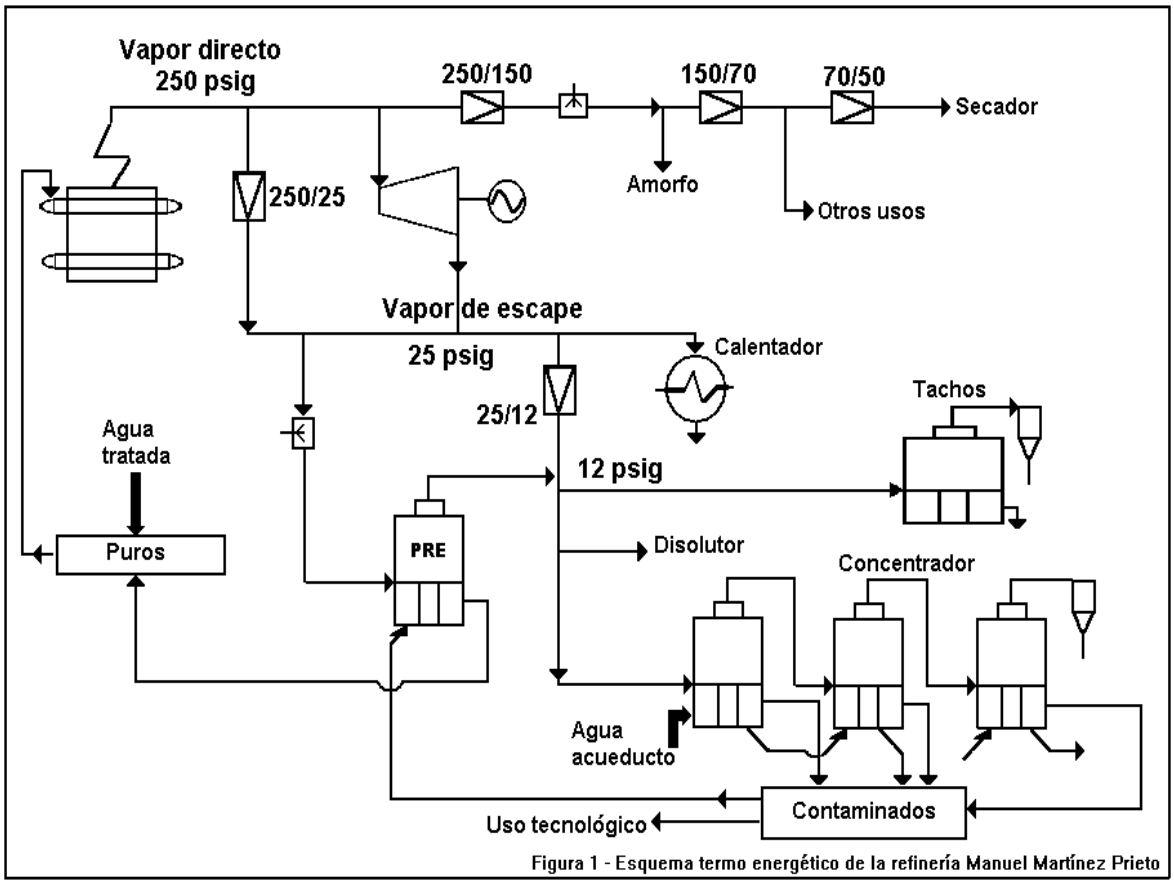


Figura 1 - Esquema termo energético de la refinería Manuel Martínez Prieto

El área de generación de vapor cuenta con dos calderas tipo RETO, con capacidad nominal de 45 t/h. Estas producen el vapor a 250 psig (1724 kPa) y 320°C, de las que solamente opera una y la otra se tiene lista en caso de fallo, usándose ambas indistintamente. Ambas calderas quemaban bagazo obtenido en la antigua sección de crudo y están preparadas también para quemar petróleo. Cuentan con sobrecalentador y precalentador de aire como superficies recuperativas de calor. Se utiliza como combustible fuel oil, el que es precalentado con vapor directo.

La planta de generación eléctrica cuenta con un turbogenerador Marca ALLEN de nacionalidad inglesa y capacidad nominal 3 MW.

En la línea de alta presión está situada una válvula reductora que disminuye la presión del vapor directo hasta 150 psig (1034 kPa). Este vapor es atemperado para ser consumido en la planta de amorfo y posteriormente reducido hasta 70 psig (482 kPa) para ser consumido en el calentador del sirope de afinación, en el tanque de calentamiento de agua de lavado de los filtros y otros usos, como la escoba de los tachos y tanques de retorno contaminado. El secador es Yugoslavo y consume vapor de 50 psig (344 kPa) para el calentamiento del aire en la estufa. La válvula reductora 250/25 compensa las fluctuaciones en la demanda de vapor de escape, cuyos consumidores son el Pre-Evaporador una vez atemperado, el calentador de licor tratado y la válvula reductora de 25/12.

El Pre-Evaporador es un vaso tipo Robert que anteriormente se usaba como evaporador del jugo claro, y que se ha aprovechado para cumplir funciones de permutador: producir vapor de 12 psig (83 kPa) para el proceso, y suministrar la mayor parte del condensado puro a las calderas. El agua que se alimenta se evapora totalmente y es condensado contaminado obtenido en el proceso.

El vapor de 12 psig es consumido por el disolutor, los tachos de refino y de reproceso y el primer vaso del concentrador. El concentrador es triple efecto. Los dos primeros vasos, evaporan agua de acueducto y sólo el tercer vaso es el que concentra el licor.

La válvula reductora de 25/12 se utiliza sólo cuando existen problemas con el Pre-Evaporador.

El esquema de utilización de las aguas y los condensados se muestra en la Figura 2.

Se obtienen **aguas dulces** del desendulzado de los filtros de licor y las columnas de carbón, la disolución del polvillo y los terrones de azúcar del secador, la planta de amorfo, y del tratamiento de la cachaza; y se emplean en el disolutor para disolver el azúcar crudo.

El **agua de acueducto** se utiliza como alimentación al primer vaso del concentrador y para suplir el déficit en los tanques de condensados contaminados.

Como **condensados puros o no contaminados** se recolectan sólo los del Pre-Evaporador, y una parte de los condensados de los tachos, previa comprobación de su calidad. Estos condensados se usan solamente como agua de alimentación a las calderas, y al no ser suficientes son mezclados con **agua tratada**.

Las fuentes de **condensados contaminados** la constituyen los vasos del concentrador y los tachos. Estos condensados se utilizan fundamentalmente como alimentación al Pre-Evaporador, y para otros usos, como el desendulzado y lavado de los filtros, el lavado de las centrífugas, la preparación de la lechada de cal en el primer tratamiento, la dilución de licores y siropes, y la disolución de azúcar en el disolutor cuando las aguas dulces son insuficientes.

Cálculo de la situación actual

Para la evaluación del sistema termo energético se utilizó como base de cálculo principal el programa de simulación modular secuencial TERMOAZUCAR, el que permite evaluar los sistemas termo energéticos de fábricas tanto de azúcar crudo como de azúcar refino y que cuenta con múltiples aplicaciones [Gozá (1999a), Gozá (1999b), Gozá (2002), Gozá (2003a), Gozá (2003b)]. También se utilizó el Microsoft Excel para cálculos no implementados en TERMOAZUCAR relacionados con las tuberías de distribución de vapor (módulo TUBERIA) y con la eficiencia en la generación del vapor (módulo GENERADOR DE VAPOR); así como para el cálculo de los flujos de caja en la evaluación económica [Jiménez (2002)]. Para estimar la dispersión de los contaminantes CO2 y SO2 emitidos en la combustión del fuel oil se utilizó el programa CONTAMIN [Martín (2003)].

La estrategia que se siguió consistió en conformar el Caso Base y a continuación realizar un estudio de alternativas de solución.

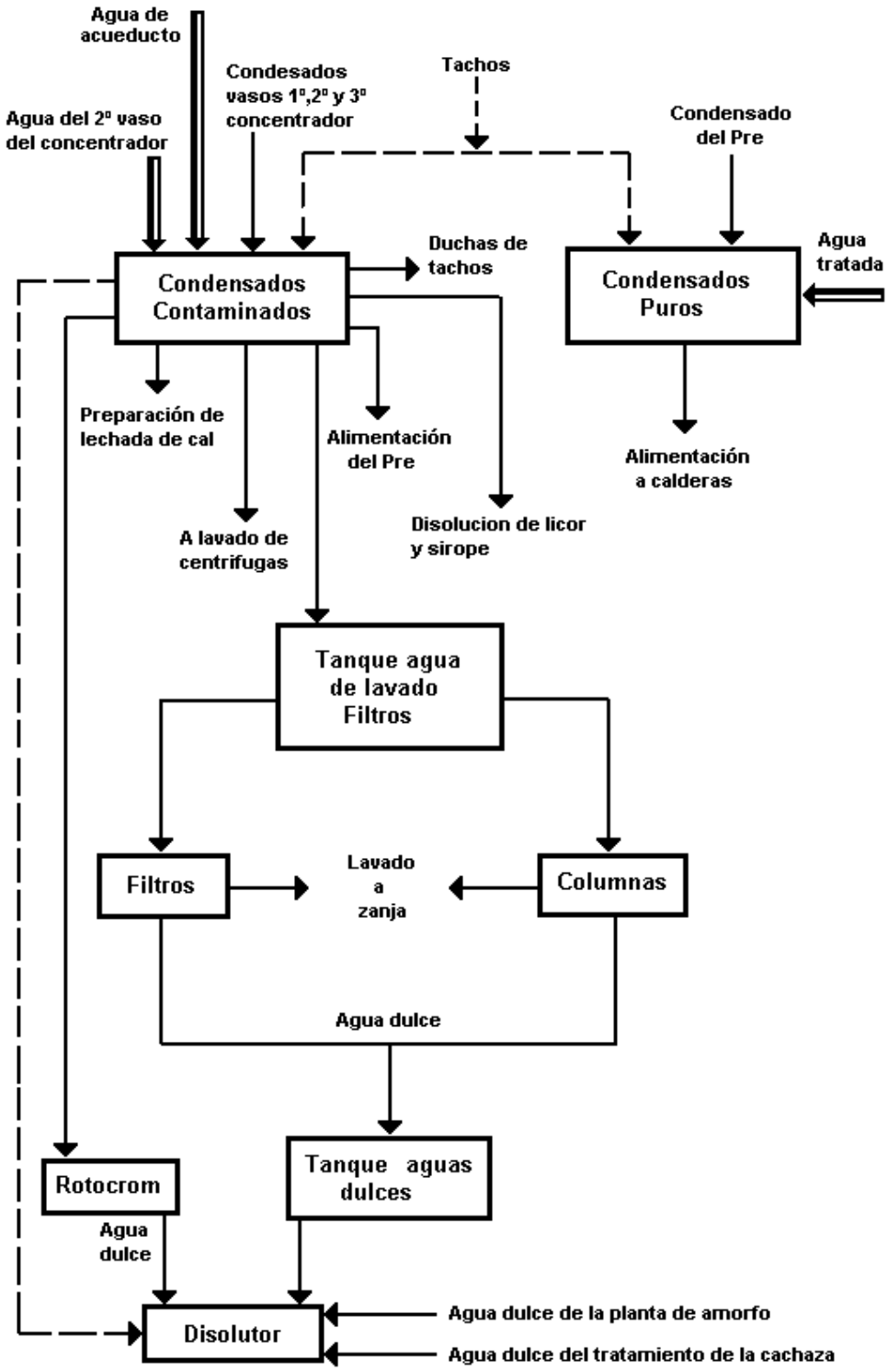


Figura 2 - Esquema de utilización de las aguas y los condensados

En el Caso Base, que representa las condiciones de operación más frecuentes en la fábrica, la refinería tiene una producción de 330 t/d de azúcar Refino B, no se llevan a cabo los procesos de Afinación, Concentración y Reproceso, y el sistema de cocción es de cuatro masas cocidas.

Resultados y discusión

Análisis de la situación actual

En la Tabla I se muestran algunos indicadores calculados a partir de los resultados de la simulación del Caso Base.

Tabla I – Indicadores calculados para el Caso Base

Indicador	Valor
Consumo de fuel oil	514.8 gal/h, 37 gal/t refino
Consumo de vapor de la fábrica	21 t/h, 1.52 t vapor/t refino
Producción eléctrica de la fábrica	0.87 MW, 63.7 kW-h/t refino
Demanda eléctrica de la fábrica	1.5 MW Diurna, 1.3 MW Nocturna
Consumo de agua tratada de reposición	1 t/h (4.8 %)
Consumo de agua de acueducto	37.8 t/h
Consumo de vapor de los tachos	13.6 t/h, 0.99 t vapor/t refino

La identificación de los problemas que afectan la eficiencia energética se organizará por las siguientes áreas: Generación de vapor, Distribución de vapor, Uso del vapor, Recuperación de aguas y condensados y Planta de tratamiento.

Generación de vapor

La fábrica presenta un consumo de petróleo de 37 gal/t refino, lo que es elevado. Esto está motivado fundamentalmente por dos factores:

- Baja eficiencia en la generación de vapor (Rendimiento térmico 78 %, índice de generación 11.2 t vapor/t petróleo).
- Alto consumo de vapor en la fábrica (1.52 t vapor/t refino).

El valor de 78 % para el rendimiento térmico es conservador, fue estimado con el módulo GENERADOR DE VAPOR utilizando mediciones poco confiables y puede ser menor.

Existen un conjunto diverso de factores que influyen en el rendimiento térmico bajo y que se mencionan a continuación:

- No existe un control adecuado de la combustión, pues no se mide la composición de los gases de chimenea ni se determina el coeficiente de exceso de aire que se utiliza; además no se determinan las características del combustible. Esto conlleva a que no se realicen cálculos del rendimiento térmico ni se precisen las causas de las distintas pérdidas.
- Cálculos realizados con el módulo GENERADOR DE VAPOR para condiciones de operación de la fábrica permitieron estimar valores de coeficiente de exceso de aire mayores que 1.3, lo que es alto y favorece un incremento de las pérdidas de calor sensible en los gases de combustión.
- Se observan valores altos de la temperatura de salida de los gases de combustión (entre 250 y 270 ^{o}C). Aunque se realizan las mediciones, éstas no son monitoreadas en el tiempo, lo que pudiera revelar incrustaciones por el lado del agua. Estas incrustaciones se encuentran favorecidas por la mala calidad del agua de reposición proveniente de la planta de tratamiento (dureza mayor que 37 ppm).

- No se tiene un control adecuado del vacío en el horno, lo que puede favorecer las infiltraciones de aire y con ello aumentar el exceso de aire.
- Las pérdidas por incombustión química se encuentran favorecidas por la falta de revisión sistemática y rigurosa de las características del combustible, y del funcionamiento y estado de los quemadores. Con frecuencia en los gases de salida de la chimenea se observa un humo muy negro, indicador visual de estas pérdidas.
- Las pérdidas de calor al exterior se ven favorecidas durante la operación por la baja tasa de utilización con que se suele trabajar. Se está generando 21 t/h y la capacidad nominal es de 45 t/h, para una tasa de 46%.
- No se realiza un control adecuado del flujo de la purga continua, la que además no se aprovecha y es botada a la zanja.

El bajo índice de generación se debe al bajo rendimiento térmico del generador de vapor y a una temperatura del agua de alimentación baja (90 ºC).

La baja temperatura del agua de alimentación está dada por la necesidad de reponer el déficit de condensados puros con agua tratada (1 t/h, 4.8 %), la que es un agua de baja temperatura. Un valor de presión del vapor de escape que es menor que el nominal (22 psig) y deficiencias con el aislamiento de las tuberías de retorno de condensado son otros factores que influyen. Un valor adecuado de esta temperatura es especialmente conveniente en esta fábrica teniendo en cuenta que sus generadores no tienen economizador.

Otro aspecto a señalar en esta área es que no se realizan determinaciones de la calidad del vapor entregado por la caldera.

Al ser alto el consumo de fuel oil, es alta la emisión de contaminantes. De éstos, con el módulo GENERADOR DE VAPOR se pudo estimar las emisiones de CO_2 y SO_2, y con el programa CONTAMIN se pudo estimar su dispersión; obteniéndose que para las dos chimeneas existentes el punto de máxima concentración del contaminante se alcanza a menos de 1 kilómetro, radio en el que residen poblaciones. En caso de tener un comportamiento similar las emisiones de partículas, este aspecto requiere mayor connotación por sus efectos dañinos en la salud humana.

Distribución de vapor

Con el objetivo de evaluar térmicamente e hidráulicamente las tuberías principales de distribución de vapor, se confeccionó en Excel el módulo de cálculo TUBERIA. En la evaluación realizada con este módulo para las tuberías de vapor directo, salieron a relucir los siguientes problemas:

- Existe sobredimensionamiento de las tuberías, evidenciado por una baja velocidad del vapor (14 m/s) en comparación con el intervalo 50-60 m/s recomendado para vapor sobrecalentado [IDAE (1982)].
- Existe un caída apreciable de temperatura del vapor entre la salida del generador de vapor y la entrada del turbogenerador (27 ºC), motivada por ausencia de aislamiento en una parte de la tubería, por la baja eficiencia del aislamiento existente (75 %) y el sobredimensionamiento existente que agrava las pérdidas de calor.
- Adicionalmente se detectó, por las mediciones de la fábrica, una apreciable caída de presión del vapor entre el generador y el turbogenerador. Esta caída no se debe a un dimensionamiento inadecuado de las tuberías, pues están sobredimensionadas. Las caídas tanto de temperatura como de presión en esta línea provocan un aumento significativo del consumo específico de vapor del turbogenerador.
- Aunque la evaluación se realizó sólo en las tuberías de vapor directo, se observó un mal estado del aislamiento en otras tuberías del sistema de distribución, así como fugas de vapor por piteras

que incrementan el consumo de vapor de la fábrica. Estas fugas fueron estimadas en 9 t/h considerando sólo las líneas de 250 psig , 150 psig y 12 psig.

Uso del vapor

La fábrica tiene un alto consumo de vapor (1.52 t vapor/t refino) comparado con valores reportados en la literatura [0.96 – 1.15 t vapor/t refino, Feijoó (1994)], máxime considerando que no tienen lugar los procesos de Afinación y de Reproceso.

El consumo de vapor de la fábrica es medido pero no reconciliado con un balance de vapor riguroso, ni comparado con indicadores de eficiencia de otras fábricas.

Existen un conjunto de factores que influyen en este consumo de vapor:

- El consumo de vapor en los tachos es alto (0.99 t vapor/t refino) comparado con la literatura [0.15-0.69 t vapor/t refino, Feijoó (1994)], en esto influye el bajo brix del licor que se está alimentando a la estación de tachos (63 %), pues se produce una caída de brix en los filtros y columnas, y adicionalmente no se usa el concentrador. Las adiciones incontroladas de agua tecnológica en los tachos aumentan este consumo.
- Se presentan con frecuencia inestabilidades en la operación de los tachos, que provocan expulsiones de vapor a la atmósfera.
- El consumo del calentador del licor tratado se ve incrementado por la alta presión del vapor de calentamiento, lo que se corrobora por la baja efectividad de dicho equipo (0.25) y por la alta diferencia de temperaturas entre el vapor y el licor de salida (46 ºC). Otro factor que conspira contra el coeficiente de transferencia de calor es el uso de un vapor sobrecalentado y no saturado.
- Existen fugas de vapor por piteras, ya mencionadas en el área anterior.
- Un consumo adicional de vapor que ha surgido como resultado de la desactivación de la fábrica de crudo, es el que se utiliza para calentar los condensados contaminados de uso tecnológico en sus tanques receptores con vapor de 70 psig. El faltante de condensado contaminado se debe suplir con agua de acueducto, que es de baja temperatura y contribuye a este consumo (área de recuperación de aguas y condensados). Al no trabajarse con el concentrador la ausencia de sus condensados es un factor que contribuye también al aumento de este consumo.
- Dimensionamiento inadecuado del atemperador del Pre-Evaporador.
- El precalentador de fuel oil tiene un consumo que es proporcional al consumo de petróleo de la fábrica. Este equipo dispone de una trampa de vapor a la que no se le monitorea su funcionamiento y mantenimiento, y su condensado se bota a la zanja.

Electricidad

La fábrica para satisfacer sus necesidades, tiene que comprar electricidad en una magnitud que se ve incrementada por los siguientes factores:

- La demanda eléctrica específica de la fábrica es alta (de 95 a 109 kW-h/ t refino) en comparación con el intervalo 60 - 100 kW-h/t refino reportado en la literatura para fábricas de este tipo [Karen (1984)].
- Bajo estas condiciones la fábrica está trabajando con un rendimiento efectivo de 0.095, es decir sólo el 9.5 % del valor calórico total del combustible se está transformando en electricidad, cuando las centrales termoeléctricas tienen rendimientos efectivos superiores al 30 %. Este bajo rendimiento efectivo en la generación de electricidad es consecuencia de las ineficiencias planteadas anteriormente en las áreas de generación de vapor (bajo rendimiento térmico) y distribución de vapor (caídas apreciables de temperatura y presión) en la línea caldera – turbo.
- El consumo específico de vapor del turbogenerador también se encuentra incrementado por su bajo porciento de carga (29 %).

Recuperación de aguas y condensados

Agua tratada

La fábrica presenta un elevado consumo de agua tratada (1 t/h, 4.8 % del total alimentada a las calderas) que viene determinado por los siguientes factores:

- Existe un alto consumo de vapor ya analizado.
- Existe una baja recuperación de los condensados de los tachos (30 %), debido a los problemas de contaminación que se manifiestan.
- Por concepto de fugas por piteras se pierde una cantidad apreciable de vapor.
- Existen condensados puros que no se recuperan como son los del secador, el calentador de licor tratado y el precalentador de fuel oil.
- El sistema de tratamiento no garantiza una adecuada calidad del agua tratada que se usa para reponer, la que está estrechamente relacionada con la magnitud del flujo de purga continua en el domo superior.

Agua de acueducto

El consumo de agua de acueducto necesaria para suplir el faltante de condensado contaminado de uso tecnológico es alto (37.8 t/h), representando un 70% de la demanda total de uso tecnológico. En este consumo inciden los siguientes factores:

- La fábrica no cuenta con los condensados que contaba con la antigua sección de crudo.
- No se recupera el agua de lavado de los filtros, la que se bota a la zanja.
- No se recircula agua dulce para el densendulzado de los filtros, lo cual disminuiría el consumo.
- Existe un consumo apreciable de agua tecnológica para la dilución de licor y siropes en el área de los filtros, columnas y en el área de tachos y centrifugas.

Planta de tratamiento

La fábrica no cuenta con un sistema de tratamiento efectivo, lo que se evidencia con las características del agua tratada que se obtiene. Cuando la dureza máxima permisible debe ser de 20 ppm, en la planta se logran valores que oscilan entre 23 y 76 ppm.

Esta problemática tiene influencia apreciable en dos factores importantes en la operación de los generadores de vapor, por una parte se propicia la formación de incrustaciones por el lado del agua en los tubos y con ello se incrementan las pérdidas de calor sensible en los gases de combustión, y por otra parte un incremento de la concentración de los sólidos solubles en el domo superior puede provocar arrastres en el vapor y presencia de sales en el mismo.

La desfavorable situación desde el punto de vista energético anteriormente expuesta que presenta la fábrica, se corrobora con los resultados obtenidos por la hoja de cálculo "Steam System Scoping Tool" [D.O.E. (2000)] que se utiliza en los Estados Unidos para establecer el nivel de eficiencia en las fábricas con sistemas de vapor, con la que se obtuvo el 30 % de la puntuación.

Estudio de alternativas de solución

Una vez conformado el Caso Base con las condiciones actuales de la fábrica, e identificados los principales problemas que afectan la eficiencia energética, se emprendió un estudio de alternativas de solución, que permitió precisar las tendencias de comportamiento del sistema termo energético y definir las mejores vías para aumentar su eficiencia.

Atendiendo a los problemas identificados, y a la situación del equipamiento en la fábrica, se estudiaron 11 alternativas que a continuación se exponen.

Alternativa 1 - Buscar satisfacer la demanda eléctrica diurna y entregar electricidad a la red en horario nocturno (turbogenerador generando 1500 kW).

a) Expulsando todo el vapor sobrante a la atmósfera.

b) Recuperando parte del vapor sobrante (5 t/h, que es menor que el total) con un tacho evaporando agua.

Alternativa 2 - Reducir las caídas de temperatura y presión que existen en la línea caldera - turbogenerador. Para estimar los nuevos valores de temperatura y presión del vapor a la entrada del turbogenerador se utilizó el módulo TUBERIA.

Alternativa 3 - Operar con el concentrador de licor.

Alternativa 5 - Trabajar el calentador de licor con vapor de 12 psig.

Alternativa 6 - Eliminar todas las fugas de vapor por piteras.

Alternativa 7 - Incrementar la recuperación de los condensados de los tachos de refino. En esta situación es posible lograr una temperatura en el agua de alimentación a caldera de 100 ^{o}C.

Alternativa 8 - Recuperar agua de lavado de los filtros que se bota a la zanja, teniendo en cuenta la posibilidad planteada por Haces (1988) de disminuir el agua caliente de lavado de los filtros en un 50 % de su valor normal, mediante la adaptación de algún equipamiento existente para la instalación de un sistema de circuito cerrado.

Alternativa 9 - Aumentar el rendimiento térmico del generador de vapor. Se plantea un incremento conservador en el rendimiento térmico del generador de vapor de un 3 %.

Alternativa 10 - Combinación de las Alternativas 2, 3, 6, 7, 8 y 9 que introducen mejoras en el proceso.

Alternativa 11 - Combinación de las Alternativas 10 y 9 que introducen mejoras en el proceso y en el área de generación del vapor.

Los resultados de la simulación de las alternativas estudiadas se presentan en la Tabla II.

Tabla II - Resultados de la simulación de las alternativas estudiadas

Alternativa	Fuel oil (gal/h)	Producción eléctrica (MW)	Agua tratada (t/h)	Agua de acueducto (t/h)
Caso Base	514,8	0,87	1,02	37,84
1a	649,6	1,50	6,57	37,84
1b	645,7	1,50	1,54	37,84
2	517,1	1,02	1,11	37,84
3	442,6	0,67	1,68	31,90
5	515,9	0,89	0,58	38,77
6	504,2	0,87	0,68	37,84
7	507,0	0,88	0	38,90
8	504,9	0,87	0,62	33,79
9	495,7	0,87	1,02	37,84
10	427,0	0,76	0,24	28,60
11	411,2	0,76	0,24	28,60

Para la evaluación económica de las alternativas, se estableció una comparación de cada una con el Caso Base, fundamentada en el método del Valor Actual Neto. Como no se consideraron inversiones o estas fueron de poca magnitud, los cálculos se limitaron sólo al flujo de caja.

Se calcularon los ingresos y egresos variables de las alternativas, los que se presentan en la Tabla III.

Como egresos, se consideraron el costo del petróleo consumido, el costo del agua tratada usada como reposición para calderas, el costo del agua de acueducto consumida con fines tecnológicos y el costo por concepto de electricidad comprada a la red. Como único ingreso, se consideró el obtenido por concepto

de venta de electricidad, lo que se presenta sólo en la Alternativa 1. En todas las alternativas y el Caso Base, se tienen los mismos flujos másicos de azúcar crudo y azúcar refino.

Tabla III - Ingresos y egresos de las alternativas.

Alternativa	CE	IVE	CFO	CAT	CAA	FC	Ahorro
Caso Base	248307,6	0,0	1756909,4	1101,6	49040,6	-2055359,3	0,0
1a	0,0	24124,3	2216954,9	7095,6	49040,6	-2248966,9	-9,4
1b	0,0	24124,3	2203645,0	1663,2	49040,6	-2230224,5	-8,5
2	182439,7	0,0	1764827,1	1198,8	49040,6	-1997506,3	2,8
3	345924,7	0,0	1510505,3	1814,4	41342,4	-1899586,8	7,6
5	241673,4	0,0	1760834,2	626,4	50245,9	-2053379,9	0,1
6	251150,8	0,0	1720733,8	734,4	49040,6	-2021659,6	1,6
7	246412,1	0,0	1730460,2	0,0	50414,4	-2027286,7	1,4
8	248307,6	0,0	1723327,5	669,6	43791,8	-2016096,5	1,9
9	248307,6	0,0	1691725,0	1101,6	49040,6	-1990174,8	3,2
10	303276,4	0,0	1457265,6	259,2	37065,6	-1797866,8	12,5
11	303276,4	0,0	1403309,2	259,2	37065,6	-1743910,5	15,2

CE ($/año): Egreso por concepto de electricidad comprada a la red; IVE ($/año): Ingreso por concepto de venta de electricidad a la red en horario nocturno; CFO ($/año): Egreso por concepto del fuel oil consumido; CAT ($/año): Egreso por concepto de agua tratada consumida; CAA ($/año): Egreso por concepto de agua de acueducto consumida; FC ($/año): Flujo de caja anual; Ahorro (%): Ahorro del flujo de caja.

Como posibilidades de **disminuir el consumo de vapor de la fábrica** se tienen:

- Uso del concentrador de licor (Alternativa 3). Se logra reducir el consumo de vapor en un 14 %.
- Eliminación de las fugas de vapor (Alternativa 6). Se reduce el consumo de vapor en un 2 %.
- Combinación de las mejoras del proceso (Alternativa 10). Se logra disminuir el consumo de vapor de la fábrica en un 17 %.

De estas posibilidades planteadas la que resulta económicamente más conveniente es la Alternativa 10 donde se ahorra un 12.5 %.

Como posibilidades de **disminuir el consumo de petróleo** y con ello el **flujo de gases contaminantes** se tienen las siguientes:

- Implementación de las posibilidades anteriormente expuestas (Alternativas 3, 6 y 10) de disminución del consumo de vapor de la fábrica y de aumento en la eficiencia de generación de vapor (Alternativas 9 y 11).

De estas posibilidades la más factible económicamente es la Alternativa 11, en la que se logra una reducción del consumo de fuel oil y de las emisiones de CO_2 y SO_2 de un 20 %, y un ahorro de 15.2 %.

Como posibilidades de **disminuir el consumo de agua tratada de reposición** se tienen:

- Eliminación de lasa fugas de vapor por piteras (Alternativa 6). Se obtiene una disminución de un 33 %.
- Incremento de la recuperación de condensados puros de los tachos de refino (Alternativa 7). Se logra eliminar el consumo de agua tratada de reposición.
- Mejoras en el proceso (Alternativa 10). Se obtiene una disminución de un 76 %.

De estas posibilidades de disminuir el consumo de agua tratada de reposición la más conveniente económicamente es la Alternativa 7, lográndose un ahorro de 1.4 %.

Como posibilidades de **disminuir el consumo de agua de acueducto** se tienen:

- ☐ Uso del concentrador de licor (Alternativa 3). Se logra reducir el consumo en un 16 %.
- ☐ Recuperación del 50 % del agua de lavado de filtros (Alternativa 8). Se reduce en un 10.7 %.
- ☐ Mejoras en el proceso y en la generación de vapor (Alternativas 10 y 11). Se logra disminuir el consumo en un 24 %.

De estas posibilidades de disminuir el consumo de agua de acueducto la que resulta más económicamente conveniente es la Alternativa 11, donde se logra un ahorro de 15.2 %.

Como posibilidades de **disminuir la compra de electricidad** se tienen:

- ☐ Disminuir la demanda eléctrica de la fábrica.
- ☐ Reducir las caídas de temperatura y presión en la línea caldera - turbo (Alternativa 2). Se logra un incremento de la producción eléctrica de 139 kW (16%).

De las alternativas estudiadas las únicas que resultaron económicamente no convenientes fueron la 1a y 1b, en las que en el horario diurno se satisface la demanda eléctrica de la fábrica y en el horario nocturno se vende electricidad. Adicionalmente, estas alternativas tienen como inconveniente un aumento sustancial de las emisiones de contaminantes (CO_2 y SO_2). Esto demuestra que no se justifica económicamente ni ecológicamente disminuir la compra de electricidad, ni mucho menos vender electricidad, buscando una mayor generación a expensas de que sobre vapor y se expulse a la atmósfera.

De todas las alternativas estudiadas la más conveniente económicamente y ecológicamente es la que combina todas las mejoras en el proceso y en la generación de vapor (Alternativa 11), en la cual se logra:

Un incremento en el flujo de caja de 15.2 % en comparación con las condiciones actuales, lo que se traduce en un ahorro de 311449 $/año.

Una reducción en la emisión de contaminantes que se traduce en un 20 % para el CO_2 y SO_2.

Como **recomendaciones** del análisis realizado al sistema termo energético se plantearon las siguientes:

⇨ Relativas al **área de generación de vapor**:

- Realizar mediciones periódicas de las características del combustible y de los gases de combustión (composición y temperatura), que permitan establecer un control adecuado de la combustión y evaluar el rendimiento térmico del generador de vapor.
- Revisar sistemáticamente el estado y funcionamiento de los quemadores.
- Establecer un control adecuado del flujo de purga continua y valorar recuperar su energía mediante flasheo.
- Establecer un control adecuado del vacío en el horno.
- Utilizar siempre que sea posible la chimenea de mayor altura.

⇨ Relativas al **área de distribución del vapor**:

- Aislar el tramo desnudo en la línea caldera – turbogenerador y lograr reducir la gran caída de presión existente en el mismo.
- Eliminar todas las fugas de vapor por piteras.
- Revisar el estado del aislamiento del resto de las tuberías.

⇨ Relativas al **área uso del vapor**:

- Implementar medidas que disminuyan el consumo de vapor en los tachos de refino:
- Disminución del agua tecnológica.
- Estabilidad en la operación.

- Uso del concentrador.
- Buscar una disminución en el consumo de vapor de 70 psig, no realizando un calentamiento global de todos los condensados en los tanques sino un calentamiento diferenciado, y buscando una mejor efectividad en el intercambio de calor en los tanques.
- Realizar balances periódicos de vapor en la fábrica.

⇨ Buscar una disminución en la demanda eléctrica de la fábrica.

⇨ Relativas al **área de recuperación de aguas y condensados**:

- Buscar mayor recuperación de los condensados puros de los tachos de refino.
- Valorar la adaptación de equipamiento existente para recuperar mediante un sistema de circuito cerrado agua de lavado de los filtros.
- Recuperar como condensado puro el del primer vaso del concentrador cuando este trabaja.
- Valorar la posibilidad de recuperar el condensado del calentador de fuel oil que es puro.

Conclusiones

1. La situación energética actual de la fábrica es desfavorable y está caracterizada por:

   Un alto consumo de petróleo motivado por una baja eficiencia en la generación y un alto consumo de vapor.

   Un alto consumo de agua tratada y de agua de acueducto.

   Una cantidad apreciable de electricidad comprada a la red nacional, vinculada con una alta demanda eléctrica y un bajo rendimiento efectivo en la generación de electricidad.

   Una alta emisión de contaminantes hacia la atmósfera.

2. Esta situación se ve reflejada en un grupo de problemas existentes, que se distribuyen en las distintas áreas características de un sistema de vapor, lo que brinda amplias posibilidades de mejoras al sistema.
3. Se logró plantear un grupo de medidas y recomendaciones, avaladas técnica y económicamente, las cuales no conllevan inversión o ésta es muy pequeña, y logran un uso más eficiente de la energía en la fábrica. Su implementación puede representar un ahorro de un 15 % y una reducción en la emisión de CO_2 y SO_2 de un 20 % en comparación con las condiciones actuales.

Referencias

D.O.E. (2000), Steam System Scoping Tool, http://www.oit.doe.gov/bestpractices/steam/

Feijoó, A. (1994), Evaluación del sistema termo energético del central refinería José Martí, Trabajo de Diploma, Facultad de Ingeniería Química, ISPJAE, C. Habana.

Gozá O., Pérez de Alejo H. (1999a), Simulación modular secuencial de los sistemas termo energéticos en fábricas de azúcar refino, Revista de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán, México, Número 36.

Gozá, O., Pérez de Alejo H. y otros (1999b), Mejoras de la cogeneración en un central con refinería, Revista ATAC, Julio - Diciembre.

Gozá O., Pérez de Alejo H., Rijckaert M. (2002), Use of Simulation and Expert Systems to Increase the Energy Efficiency in Cane Sugar Factories, Developments in Chemical Engineering & Mineral Processing, Curtin University of Technology, Australia, special issue on Practical Applications of Process Systems Engineering,10(1/2).

Gozá O., Pérez de Alejo H., Frómeta J. (2003a), Simulación y análisis de los sistemas termo energéticos azucareros, Computación Aplicada a la Industria de Procesos, Actas del 6° Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos, CAIP'2003, 20 al 23 de Octubre del 2003, Puebla, México.

Gozá O., Pérez de Alejo H., Frometa J. y otros (2003b), Energy Oriented Simulation in Sugar Factories, 6th. International Conference on Process Integration, Modelling and Optimization for Energy Saving and Pollution Reduction, PRES´03, 26 al 29 de Octubre del 2003, Hamilton, Canadá.

Haces, J. (1988), Medidas de control tecnológico con el equipamiento actual para disminuir la demanda energética en las producciones de refino, alcohol y torula, Mesa redonda 48 Conferencia ATAC, C. Habana.

IDAE (1982), Técnicas de conservación energética en la industria. Tomo I. Fundamentos y ahorro en operaciones. Edición Revolucionaria.

Jiménez, D., Alvarez,Y. (2002), Evaluación del sistema termo energético de la refinería "Manuel Martínez Prieto" en la campaña 2001-2002, Trabajo de Diploma, Facultad de Ingeniería Química, ISPJAE, C. Habana.

Karen B. (1984), Efficiency considerations in the use of process steam, July, Sugar Journal.

Martín S., Pire S. (2003), Taller Estudiantil Internacional de Medio Ambiente TEIMA 2003, Universidad de la Habana.

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD CON BIOMASA DE LA PLANTA LEÑOSA DICHROSTACHYS CINAREA (MARABÚ)

M.Sc. Rafael Salvador Leyva Canavaciolo e Ing.Enrique Calzadilla Méndez,
Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad Electromecánica. Universidad de Camaguey. (UC)
Carretera Circunvalación Norte km 5½ Camaguey, Cuba. E-mail: felo@em.reduc.edu.cu
Ing.Miguel Rivero Vega. Investigador Agregado de la Estación de Investigación Forestal de Camagüey.

RESUMEN.

Este trabajo propone en un proyecto demostrativo, la obtención de biomasa combustible del marabú mediante una cosechadora diseñada al efecto. Se cuenta con el estudio realizado que demuestra la vialidad técnico económica del mismo, utilizando esta biomasa que se ha desarrollado en las áreas cañeras para la producción de electricidad con los equipos energéticos existentes en los centrales azucareros en el tiempo inactivo, utilizando además el sistema de transporte de la cosecha de caña de azúcar el cual es adaptable perfectamente para la cosecha de marabú.
Con una sola cosechadora durante 135 días, se puede obtener biomasa para una generación de electricidad de 7520 MWh en 117 días y de ellos para la venta 5640 MWh equivalentes a un ingreso neto de $133 865.50 USD y $22 573.19 MN además se dejan de emitir a la atmósfera 4 233.75 t de CO_2, 9.98 t de SO_2 y 12.53 t de NO_x . Como resultados se obtiene una cosechadora cubana que elimina importaciones, una nueva tecnología de producción de electricidad con biomasa de marabú y el control de las áreas agrícolas infectadas en dos alternativas, recuperación del terreno para su posterior cultivo o producción de biomasa con fines energéticos de forma estable. Se logra una disminución sustancial de la agresión ambiental al eliminarse el desbroce y la combustión libre de esta biomasa que afecta el hábitat de distintas especies de la flora y la fauna que viven por encima o por debajo de la superficie del terreno.
En cuanto al impacto social se logra una fuente de empleo estable para el personal excedente al finalizar la zafra azucarera.
Palabras claves: Marabú, Dichrostachys Cinarea, Cosechadora, Biomasa, Producción de Electricidad.

ABSTRACTS

These projects make a way to obtain marabu biomass for combustion, by harvesters machines design to do. Include a study of technical economy justify by the use of the marabu biomass grow in MINAZ cane lands, for electric generation in the termoenergetic equipment's of the sugars plants out of the crop time.
Additional the transport equipment's of the sugar cane crop are modified to use in the marabu crop.
Only one harvester can obtained biomass for 7520 MWh of electric generation and for sale 5640 MWh with a net value of $ 133 865.50 USD y $22 573.19 MN in 117 days without an atmosphere emission of (CO_2) 4 233.75 t (SO_2) 9.98 t and (NO_x) 12.53 t. The results are: Cuban marabu harvester without import. New technology of marabu biomass electrical generation. Marabú control in the lands by two ways: Use of the lands in other crops. Use of the lands in marabu biomass for energy generation every time. Reduction of environment impact. Employ increment to social benefy
Keywords: Marabú, Dichrostachys Cinarea, Dichrostachys Cinarea, Harvester, Biomass, Electric Production.

INTRODUCCIÓN:

La producción de energía a partir de la biomasa renovable es una de las opciones con perspectivas más inmediatas de imponerse como variante alternativa suave a la opción energética dura, representada por las fuentes convencionales no renovables y contaminantes del medio.

La utilización masiva de la biomasa de origen agrícola y forestal para la obtención de servicios energéticos útiles es ya un hecho en países de Europa (Dinamarca, Holanda, Suecia, Finlandia con bosques energéticos, y Alemania, Italia y España, con los residuos agrícolas) que han conseguido establecer, a través de políticas estatales bien dirigidas, la conveniencia y, en ocasiones, la obligatoriedad de utilizar alternativas energéticas ecológicas.

Cuba es un país con tradición de producción de energía mecánica y calor (cogeneración) con biomasa de la caña de azúcar, sin embargo existen otra biomasas con aptitudes para este fin. Una de ellas la cual se ha desarrollado espontáneamente y se encuentra considerada como una plaga es el marabú, según el censo de 1990 y 1991, el país tenía algo más de medio millón de hectáreas(37 257.82 caballerías) (21% del área agrícola), cifra que aumentó hasta 1.14 millones de hectáreas (84947.84 caballerías)(47.2%) en 1995. *Pareta (1997)*

Las cifras antes citadas pueden traducirse en áreas con capacidad potencial de biomasa para la producción nacional de más de 18 449 GWh en los sistemas termo energéticos del MINAZ equivalentes a una producción bruta de más de 765 Millones de USD y 687 Millones de pesos M.N.

Vale la pena recordar que solo en Camagüey tenemos 546 000 ha (40685.54 caballerías), MINAZ 8.06%, MINAGRI 85.7%, OTROS 6.22% comparemos estos datos con la provincia de Matanzas que tiene en total 400 000 ha (29806.26 caballerías) de superficie territorial.

Las áreas invadidas por el marabú se clasifican para la mecanización de acuerdo con la densidad de población y el diámetro de tallos y rebrotes de la siguiente forma: *Pareta (1997)*

Densidad de población,

- Ligera (hasta 100 plantas / ha.),
- Media (hasta 250 plantas / ha),
- Pesada (hasta 500 plantas / ha),
- Inutilizable (mas de 500 plantas / ha.),

Según el diámetro de tallos:

- Fino: 1 a 30 mm
- Medio: 31 a 60 mm
- Grueso: mas de 60 mm

Actualmente como resultado de nuestra investigación determinamos que el más abundante en nuestra provincia es de una densidad aproximada de 50000 plantas por hectárea, grueso del tronco entre 20 y 60 mm y altura de 3 a 6 m debido al rebrote por raíces y troncos por el corte sucesivo y la competencia por el sol.

MEDIOS TECNICOS EMPLEADOS EN SU ELIMINACION.

Para su eliminación mecanizada se utilizan cadenas, rolos con cuchillas, abrasador Vanguardia, Caliphax, cortador desmenuzador, etc. Estos medios se agregan a tractores tales como: DT-75M, C-100, FD-20, T130, KOMATZU-D 80 y otros, limitados en la actualidad por la escasez de combustible diesel.

Luego de utilizados los medios mecánicos se quema libremente a la atmósfera toda la biomasa concentrada por los medios mecánicos en forma de cordones, luego los residuos de la primera quema se concentran para quemarlos nuevamente, posteriormente se debe mantener la aplicación de herbicidas hormonales específicos por medios mecanizados tales como: Aviones, moto asperjadoras y moto mochilas. *Pareta (1997)*

MEDIOS TECNICOS EMPLEADOS EN SU COSECHA.

Cosechadora molinadora de marabú

Recientemente se puso a prueba por el MINAGRI una cosechadora molinadora de marabú para consumo como alimento para el ganado, capaz de cortarlo hasta metro y medio de altura y diámetro de 30 mm.

ESTUDIO DE UNA COSECHADORA DE MARABÚ Y MALEZAS.

En una reunión de control del proyecto de la cosechadora molinadora de marabú celebrada el día 3 de Marzo del 2002 en la Delegación del MINAGRI se acordó que la Universidad de Camagüey desarrollaría el diseño de un prototipo de maquina cosechadora que sea capaz de cortar y transbordar el marabú en

áreas con densidades de población Inutilizable (mas de 500 plantas / ha.) y con diámetros de tallos medio (31 a 60 mm), para ser utilizados industrialmente en la producción de electricidad.

ANTECEDENTES

Respondiendo a esta tarea es que surge este proyecto de investigación sobre un tema que con anterioridad se venía trabajando y que parte de las siguientes causas. para lo cual se realizó primeramente un estudio de Patentes Internacionales y de las cosechadoras que actualmente se fabrican en Cuba, dando como resultado que se seleccionara la cosechadora KTP 2 con el fin de modificarla para utilizarla como cosechadora de marabú integral, produciendo biomasa en forma de virutas con un tamaño menor de 50 mm.

PROBLEMAS ACTUALES

1. La provincia de Camagüey tiene en la actualidad grandes extensiones de tierra infectadas por marabú.
2. Ausencia de variedad y número de maquinas para el control y uso del marabú.
3. El país tiene necesidad de generar energía eléctrica con biomasa renovable.
4. La Industria azucarera tiene inactivas sus plantas energéticas por mas de 4800 horas al año.
5. Incosteabilidad de la producción azucarera.

PREMISAS AL PROYECTO.

1. Resolver los problemas n° 2, 3 y 4.
2. Controlar el problema n° 1.
3. Disminuir el problema n° 5.
4. Incrementar fuentes de empleo estable en el período inactivo.
5. Hacer que este proyecto sea rentable.
6. Disminuir la agresión al medio ambiente.

Después de analizar la problemática actual y las premisas formuladas al proyecto desarrollamos la hipótesis de que e*xiste la posibilidad de generar energía eléctrica mediante la combustión de biomasa procedente del marabú.*

Para desarrollar esta hipótesis nuestro trabajo asume la responsabilidad de tomar como objetivo:

Proponer una tecnología de producción de electricidad con biomasa de marabú partiendo del diseño de un prototipo de cosechadora integral de marabú como primer eslabón en la cadenºa cosecha – transporte - producción.

El cumplimiento de este objetivo dará como resultado la conversión del marabú de enemigo invasor en un cultivo amigable, pues además de favorecer los terrenos donde se desarrolla en la actualidad mediante la fijación de nitrógeno en el suelo, así como de la protección del mismo y de la fauna que habita en su interior, brindara una fuente energética estable debido a su calidad como biomasa combustible renovable.

INSERCIÓN EN PROGRAMAS NACIONALES DE ENERGIAS RENOVABLES.

En el Programa de Desarrollo Energético Sostenible del CITMA se establece, entre otros, los siguientes objetivos: *Gozá, (1996)*

- *"Desarrollar y asimilar equipos y tecnologías que amplíen las aplicaciones ventajosas desde el punto de vista técnico-económico de las fuentes renovables de energía, como la biomasa.*
- *"Alcanzar un adecuado nivel de actualización en las tecnologías energéticas de avanzada, que permita la toma de decisiones sobre su introducción en el país.*

El presente proyecto se adecua completamente a las prioridades del Programa referido del CITMA y con las del Ministerio de la Industria Azucarera, expresadas en el documento correspondiente emitido por el MINAZ en octubre de 1995. Lo expresado anteriormente demuestra la total coincidencia entre los objetivos del presente proyecto, con el Programa "Desarrollo Energético Sostenible", así como su adaptación a las prioridades definidas por el CITMA y el MINAZ en cuanto a esta temática científica.

RENOVABILIDAD DEL PROYECTO

La planta de marabú cuendo crece con alta densidad de población, tiene un crecimiento aproximado de 0,45 cm por día como promedio, por lo que después de cosechado tendrá de nuevo una talla aproximada de 3,29 m en 2,5 años renovabilidad con la cual se justifica la sustentabilidad de este proyecto.

En este contexto, el presente proyecto se propone alcanzar los siguientes objetivos específicos:

1. *Diseñar y construir las modificaciones previstas a una cosechadora KTP-2 para su conversión a cosechadora de marabú.*

2. *Desarrollar un esquema adecuado para la cosecha y transporte del marabú con el equipamiento existente utilizado para la zafra azucarera.*
3. *Determinar el esquema más adecuado para la generación del vapor con biomasa de marabú y la producción de electricidad con los turbogeneradores de contrapresión existentes en la Industria Azucarera.*
4. *Proponer la estrategia futura para el desarrollo de la producción de electricidad con biomasa de marabú en Cuba.*

INTERRELACIÓN CON OTROS PROYECTOS NACIONALES E INTERNACIONALES

Se planeaba realizar inversiones en tres centrales azucareros Hector Molina (Habana), Mario Muñoz Monroy (Matanzas) y Melanio Hernández (S. Spiritus) para instalar sendos turbo grupos de extracción condensación con una potencia de 30 a 40 MW para los cuales este proyecto puede ser la solución para el segundo combustible durante el tiempo inactivo.

CAPITULO 1

EL MARABU EN CUBA

No existe dato alguno preciso que permita fijar la fecha exacta de la introducción del marabú en Cuba, más indudable parece ser de que su introducción fuera anterior a la Guerra de los 10 Años.

Ninguna obra botánica ni de agricultura menciona al marabú, no aparece en "*La Flora*" de la British West Indian Islands de Grisebash, editada en 1864, ni en su catálogo "*Plantarum Cubensium*" publicado en 1866, ni en "*La Flora Cubana*" que vió la luz en 1873, ni Gomez de la Maza en su *"Diccionario Botánico de Nombres Vulgares Cubanos y Puertorriqueños"*.

Tampoco se encuentra en el *"Diccionario Provincial de Voces Cubanas*" de Pichardo y otras obras de la agricultura.

Se dice que en Camagüey, la señora Monserrate Canalejo viuda de "El Lugareño", que fue muy aficionada a las plantas introdujo el marabú como ornamental, sembrándolo en su finca "La Bola" situada en las afueras de la capital provincial, que en aquella época estaba invadida por el marabú, siendo uno de los focos de propagación. agregan algunos que un señor residente en Sibanicú solicitó a la señora Canalejo unas semillas de la planta y que ella se las negó, deseosa de ser la única poseedora de tan bella especie y que entonces él encontró la forma de sustraerle algunas semillas que sembró en su finca de Sibanicú donde se propago la planta de un modo extraordinario, causándole su propia ruina, esto ultimo tiene características de fábula.

Más razonable es la creencia de que fueron las tropas españolas las propagadoras inconscientes de la plaga, pues según se cuenta durante "La Guerra del 95" en la finca "La Bola" y sus alrededores acamparon varias veces las fuerzas de caballería españolas, las que después cambiaban de campamento o salían de operaciones a distintos lugares de la provincia y los caballos que habían comido los frutos del marabú iban esparciendo las semillas en sus deyecciones por todos los caminos y potreros. Esto parece comprobarse por el hecho de que el marabú en aquella época se encontraba en las fincas situadas a lo largo de los caminos, carreteras y curso de los ríos luego el abandono de las fincas en la ultima guerra facilitó su rápida propagación.

En Taco-Taco Pinar del Río se atribuye la introducción del marabú a Don José Blaín Decano de la Botánica Cubana, dicho señor formó en su finca "El Retiro" situada en el camino de Rangel, un verdadero jardín botánico, en donde aún hoy sobreviven algunas especies exóticas muy interesantes, créese que él la introdujo como una especie botánica curiosa.

Una tercera versión no tan expandida parece estar sin embargo mejor fundada.

Según esta versión fue el ganado vacuno extranjero introducido en Cuba después de la Guerra del 68, para repoblar las fincas ganaderas el introductor y propagador del marabú. *Roig (1915)*

En aquella época se importó mucho ganado procedente de Colombia, Argentina y Uruguay, donde existía esta plaga y sabido es que el ganado vacuno gusta de los frutos del marabú, cuyas vainas o envolturas digiere devolviendo las semillas en sus deyecciones como sucede con las guayabas.

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS.

Nombre científico------ Dichrostachys Cinerea (antes Glomerata). Wight

Nombres Vulgares: Marabú (nombre original camagüeyano) Aroma, (en Trinidad) Aroma Francesa, (en la antigua provincia de Las Villas y en Taco-Taco. Pinar del Río) Espina del Diablo (en Capdevila) y Weyler (en distintas regiones del país)

Árbol o arbusto de ramas espinosas, perteneciente a la familia de las leguminosas originario de África del Sur, florece desde Abril y todo el verano, desarrolla los frutos en el Otoño y entrega los frutos secos en el invierno, se reproduce en todo tipo de terreno pero prefiere los pardos fuertemente arcillosos y los cursos de los ríos, fija en el terreno hasta 150 kg de Nitrógeno /ha.

Propagación por semillas arrastradas por las corrientes de agua en especial los ríos o en las deyecciones del ganado vacuno y caballar pero su propagación principal es por las raíces que penetran varios metros de profundidad y donde quiera que queden expuestas a la luz del sol o se les practique el corte aun insignificante brotan hijos o retoños de tal modo que lo peor que se le puede hacer a un campo de marabú es chapearlo y dejarlo abandonado.

La reproducción por semillas no es muy rápida y tiene un elevado por ciento de germinación

UTILIZACIÓN Y PARTES EMPLEADAS:

El tronco se emplea fundamentalmente en la fabricación de carbón y puede proporcionar postes de cerca y horconcillos de casas rústicas. *Fors (1965)*

La utilización del marabú para uso directo en la producción de carbón es muy apreciado por la población rural y peri urbana para resolver los problemas de suministro de energía para necesidades domésticas y productivas. El carbón presenta un poder calórico valorado en 4646 kc / kg, semejante al de la yana y la casuarina. Además brinda un producto de encendido fácil y de una braza duradera, por lo que es muy apreciada por la población. El marabú es una madera no durable, por lo que requiere de tratamiento de preservación para alargar su vida útil .*Manzanares (1996)*

En Camagüey usan , la corteza de esta planta como antiséptico, probablemente es un buen astringente por la gran cantidad de tanino que contiene toda la planta. *Roig (1974)*

Existen antecedentes en Camagüey del uso de sus hojas y frutos tiernos para la fabricación de pienso.

La madera de corazón es de color rojo subido como la del Caguairán, de textura fina y grano recto, dura y pesada, pero no durable. Su peso es de 1100 kilos por metro cúbico. *Manzanares (1996)*

La albura es estrecha y de color blanco amarillo. *Fors (1965)*

Su rendimiento maderero es de 80 m^3/ha *Pisonero (1989)*

Antes del triunfo revolucionario los datos existentes de la propagación del marabú por el territorio nacional son:

- 1932 --------- 33000 caballerías *Acuña (1974)*
- 1958 --------- 30000 caballerías *Escuela de Ingeniería Agronómica UH (1962)*

Camagüey con una superficie de 160000 km^2 y 792000 habitantes para 4.95 hab./km^2 por lo que es una provincia bastante despoblada. La ganadería en Camagüey tiene 452400 ha (29000 caballerías) de terrenos infectados de marabú lo cual ha hecho decrecer la población a cerca de 1000000 de cabezas de ganado, el 37,6 %.

El MINAZ en la provincia de Camagüey tiene un nivel de infección en sus terrenos de 32805 ha (2444.5 caballerías). *Censo de marabú (2000)*

Esto cual da un resultado total de 421985 ha (31445 caballerías), el 26,37 % de la superficie territorial de la provincia, lo que ha traído como consecuencia además de las pérdidas económicas, el desarrollo de varias ofensivas de maquinaria pesada, sustancias químicas, contingentes de hombres voluntarios y aportados por distintas organizaciones (PCC, UJC, CTC) así como de habituales vinculados a los resultados con lo que se ha recuperado terrenos pero de una forma muy discreta no con los resultados esperados pues la capacidad reproductiva de esta planta es superior a las posibilidades actuales de preparación y cultivo de los terrenos recuperados siendo importante destacar que es en los terrenos donde se ha desarrollado estas ofensivas donde mas densidad ha tenido el rebrote del marabú convirtiéndolos en unos bosques impenetrables de mas de 5 plantas / m^2 (50000 plantas / ha) y mas de 4 m de altura ideales para cortar con máquinas pues el diámetro de sus troncos no supera los 50 mm.

Sin embargo el destino de la biodiversidad es uno de los temas claves para el manejo integrado de los recursos naturales tanto en tierras agrícolas como forestales, ya que el poco respeto de la biodiversidad ha erosionado la calidad de la vida del hombre, por el seguimiento de patrones de uso y manejo de los recursos naturales de manera no sostenible. En este sentido, se desarrolló durante años una campaña de lucha contra el marabú por tratarse de una plaga invasora de nuestros campos y muchas comunidades agotan su medio ambiente a fin de poder sobrevivir sin desarrollar sistemas de producción y de explotación que sostengan o mejoren la biodiversidad, atendiendo a este enfoque, el objetivo de este trabajo es manejar el marabú por practicas agroecológicas, en sustitución de las actividades no sostenibles de eliminación como son la lucha mecánica basada en el desbroce con rolo, buldózer, implementos Vanguardia y la quema, el pase de grada y subsulador o los métodos químicos dirigidos a la aplicación de herbicidas hormonales, así como campañas de corte manual.
Ante esta situación cabe preguntarse:
¿Es realmente el marabú ese arbusto tan indeseable de que se comenta ?
¿Se pueden desarrollar métodos de manejo del marabú que no deterioren la biodiversidad ?*Manzanares (1996)*
A lo cual podemos agregar la siguiente pregunta.
¿Tenemos condiciones en Cuba para aprovechar el marabú como un cultivo energético?
A lo que añadimos como respuesta, lo siguiente.
Analizando los problemas actuales de nuestra provincia que a su vez son extrapolables al País llegamos a la conclusión de que si la provincia de Camagüey tiene en la actualidad grandes extensiones de tierra infectadas por marabú y. el país tiene necesidad de generar energía eléctrica con biomasa renovable, siendo el marabú una de las biomasas mas renovables y de alto potencial energético, entendemos que si existe la posibilidad de utilizar las plantas energéticas de la Industria azucarera, las cuales están inactivas por mas de 4800 horas al año deteriorándose por corrosión, y que están diseñadas para trabajar con biomasa, se puede cumplir esta hipótesis y al mismo tiempo diversificar los centrales mejorando su balance económico
Para el logro de esto solo se necesita resolver el problema de la ausencia de variedad y número de maquinas para el corte y recolección del marabú lo cual va a ser el objetivo principal de este trabajo.

CAPITULO 2
MATERIALES Y METODOS.

Como primera tarea se realizo una revisión de patentes nacionales e internacionales donde se pudo concluir que en Cuba solo hay patentado un diseño del CEDEMA de un prototipo de chapeadora de marabú la cual no se llegó a construir
Existe una patente *USPTO 4338985 (1982)*de una maquina cosechadora de malezas para limpiar las calles entre las poblaciones de arboles maderables. Esta cosechadora reduce las malezas a virutas y las deposita en una caja de carga de volteo que arrastra, tanto la cosechadora como la caja de carga están montadas sobre esteras pues fue diseñada para trabajo en terrenos pantanosos.
Como segunda tarea del proyecto se realizo un muestreo en campos donde se cortaba marabú con 2 años y mas de 10 años, para ello se tomaron datos de la cantidad de troncos y sus diámetros por unidad de superficie que en este caso fue el cordel cuadrado, arrojando el siguiente resultado:

Tabla Nº I Resumen final de la prueba de cordel[2]

	Plantas de mas de 10 años		
UBPC	Réplicas	Plantas/cordel [2]	Diámetro medio
El Clavel	5	125,4	53,4
Juan Galvan	5	139,7	70,7
Camilo Cienfuegos	5	103,8	60,9
La Julita	5	107,4	64,5
Promedios		119,1	62,4

Después de consultadas distintas bibliografías logramos una caracterización del material desde el aspecto físico mecánico en un trabajo presentado por *Manzanares(1996)*

El examen de la caracterización físico-mecánica reveló ser una madera de alta densidad, dura, pesada y resistente, presentando una estabilidad dimensional bastante buena ante los cambios del estado higrométrico, ya que la contracción volumétrica total registra valores medios, muy cercanos a los limites de bajos.

Los valores de los esfuerzos mecánicos son altos, especialmente los ligados a la industria constructiva, ya que dada su resistencia al madera es apta para vigas, pilotes, columnas, cerchas y otros elementos estructurales.

La madera de marabú es posible transformarla en virutas como en astillas tecnológicas para utilizarla como refuerzo en hormigones ligeros o en otras soluciones constructivas locales basadas en fibras naturales. Sin embargo, la operación de desfibración principal en cortadora de disco para la formación de virutas, es un proceso muy tenso debido a la alta resistencia de la madera a la penetración por ser muy dura y a los esfuerzos cortantes.

En cuanto a la transformación secundaria en molinos de martillo, el proceso transcurre con menos tensión, por cuanto la madera tiene una tenacidad y resistencia a la flexión media. Esta propiedad representa una ventaja para la formación de astillas con relación a las virutas, ya que la desintegración se efectúa por la acción concentrada del efecto dinámico (choque) y estático (flexión) del martillo contra el material procesado. *Manzanares(1996)*

Tabla NºII Propiedades físico-mecánicas del marabú *Manzanares(1996)*

Ensayo	**U. de medida**	**Valor medio**	**Clasificación**
Densidad W=15 %	g / cm^3	1,11	Muy pesada
Contracción volumétrica total	%	11,02	Media
Punto de saturación fibra	%	34,09	Alto
Coeficiente de contracción volumétrica	%	0,32	Medianamente nerviosa
Resistencia al choque	kg / cm^2	0,66	Medianamente tenaz
Flexión estática modulo ruptura	kg / cm^2	1337,61	Media
Compresión axial	kg / cm^2	732,06	Alta
Cizallamiento	kg / cm^2	188,93	Alta
Hendido	kg / cm^2	22,81	mediana
Tracción perpendicular	kg / cm^2	25,31	Media
Dureza janka	kg	1000	Muy dura

Después de analizados los datos decidimos determinar algunos de necesarios para nuestro trabajo, y que no aparecen en la bibliografía, siendo los seleccionados: La fuerza de corte por cizallamiento,y la fuerza de corte por desprendimiento por virutas.

Como tercera tarea se acometió el diseño y construcción de un dispositivo para el ensayo de la fuerza necesaria para el cizallamiento del marabú con diferentes diámetros de tronco arrojando el siguiente resultado:

Tabla Nº III Resultados del ensayo de cizallamiento

Ensayo	Diámetro (mm)	Réplicas	Fuerza Promedio (kN)
1	30	15	30,50
2	40	15	35,60
3	50	15	44,00
4	60	7	55,70

Como cuarta tarea se acometió el diseño y construcción de un dispositivo para el ensayo de la fuerza necesaria para el corte por virutas del marabú con diferentes diámetros de tronco arrojando el siguiente resultado:

Tabla Nº IV Fuerza de corte

Profundidad de corte (mm)	Fuerza de corte promedio (N)
0.25	153.2
0.5	238.7
0.75	363.4
1	538.32
1.25	702.2
1.5	845.98
1.75	994.6

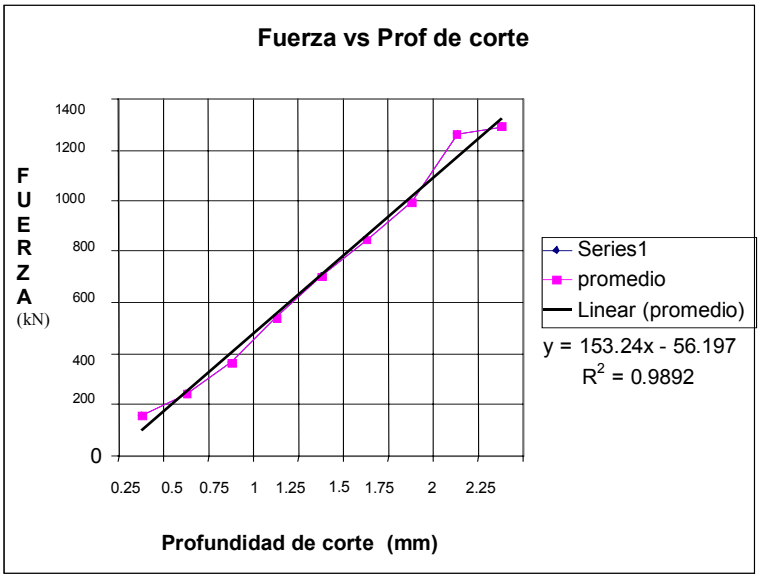


Grafico No 1 Comportamiento de la Fuerza de corte (N) en función de la profundidad de corte en mm

Después de cumplimentar las tareas iniciales detalladas anteriormente se acometió un estudio de las cosechadoras cubanas con el fin de minimizar los costos de fabricación y acelerar el proceso de diseño de la cosechadora, utilizando la máquina automotriz existente en una cosechadora cubana.
En un primer análisis de un grupo de cosechadoras quedaron para su evaluación final las cosechadoras arroceras CUBAR e IMPAG y la cosechadora de caña KTP, con las siguientes ventajas y desventajas:

Tabla Nº V Ventajas y desventajas de las cosechadoras cubanas para su uso en marabú

COSECHADORA	PESO	TRACCIÓN	SISTEMA DE CORTE
CUBAR	MENOR	ESTERAS	NO ADAPTABLE
IMPAG	MENOR	ESTERAS	NO ADAPTABLE
KTP 2	MAYOR	NEUMATICOS	ADAPTABLE

A pesar de superar las cosechadoras arroceras a la cañera KTP 2 en cuanto a peso y tracción el factor decisivo fue la adaptabilidad del sistema de corte en el cual triunfó la cañera KTP 2 debido a ser similares la altura y los diámetros de tronco de las plantas de caña y marabú.
También fueron analizadas las desventajas de mayor peso y neumáticos de la cosechadora cañera KTP 2 y de los pinchazos en los neumáticos por espinas y estacas de los troncos cortados.
En estos momentos se encuentran realizados los estudios, los cálculos y los diseños preliminares de las modificaciones necesarias a la cosechadora cañera KTP-2 para su conversión en cosechadora de marabú, faltando solamente la ejecución del prototipo.

CAPITULO 2

TRANSPORTE DE LA BIOMASA DE MARABU

Después de terminado el estudio de la modificación de la cosechadora surge la tarea de transportar esa biomasa hasta el central que va a encargarse de generar por combustión el vapor necesario para la producción de electricidad en su turbogenerador. Para ello se acomete el estudio de los equipos de cosecha transporte de la caña de azúcar y mediante su adaptación y/o modificación lograr cumplimentar esta tarea minimizando inversiones y costos, además de darle un uso continuado a los equipos que intervienen en la zafra azucarera.
Se comenzó por el tractor y las carretas utilizados para la cosecha de caña mecanizada, los cuales ya están familiarizados con la cosechadora KTP 2 y solo se necesita al igual que la cosechadora sustituirle los neumáticos por ruedas metálicas para evitar los pinchazos de los mismos.
Sin embargo dentro de los terrenos de cosecha estos equipos pueden moverse sin ningún problema pero en cuanto al transporte por carretera las ruedas metálicas se lo impiden por lo que se hace necesario transbordar la biomasa hacia camiones que se encarguen de esta actividad al igual que se realiza en la caña por los camiones de volteo.
Para dar solución a esta problemática se diseño una estación transbordadora de las carretas a los camiones la cual consiste en una plataforma constituida por una zorra TAINO a la que se le adiciona una estructura de vigas que por medio de un cable, roldanas, un cabrestante y un perchero que es el encargado de levantar la tela metálica que forra las carretas, vacía su contenido dentro de la caja de carga de los camiones de volteo.
Actualmente están realizados los estudios, los cálculos y los diseños preliminares del sistema de transbordo portátil, de las carretas a los camiones de volteo que transportarán la biomasa hacia el central, faltando solamente la ejecución del prototipo.

GENERACION DE VAPOR Y ELECTRICIDAD.

Posterior al arribo de la biomasa al central solo faltará preparar la recepción a los transportadores de arrastre utilizados para el bagazo de caña, esto puede realizarce mediante un transportador de arrastre adicional relativamente corto o mediante una tolva en el mejor de los casos, el resto del proceso es similar al de bagazo de caña, lo cual se ha probado en varias ocasiones generando electricidad con bagazo después de terminada la zafra azucarera o antes de comenzar la próxima zafra.
Se encuentra realizada la selección del esquema adecuado de generación de vapor y de electricidad en el central también de la condensación del vapor de escape de los turbogeneradores en intercambiadores de calor, para su retorno como agua condensada para alimentación de los generadores de vapor.
Se trabaja actualmente en el estudio de tres variantes para el sistema termo energético azucarero.

1. La adición de un cilindro condensante al turbogenerador de contrapresión existente.
2. La adición de un turbogenerador condensante al sistema termo energético azucarero.
3. La sustitución de un turbogenerador de contrapresión por uno de extracción condensación

ESTUDIO DE MERCADO

El marabú como combustible posee un poder calorífico de: 4 250 kcal / kg (seco), 3 250 kcal / kg (verde) (promedia 3750 kcal / kg)y para que se tenga una idea de comparación, el bagazo (50 % de humedad) , 1800 kcal / kg ; Cáscara de arroz 3300 kcal / kg; Paja de caña seca 3100 kcal / kg, por lo que puede asumirse que con la misma cantidad de biomasa de marabú puede producirse 2.08 veces la cantidad de vapor que con bagazo pudiéndose alcanzar un índice de generación de 4.37 t. vapor / t. biomasa, sin aumentar el flujo volumétrico de gases en el generador de vapor.

En el caso de nuestra provincia el MINAZ posee, el 8.06% de las tierras infectadas de marabú equivalentes a 2444.5 caballerías (32805.19 ha) manteniendo estas áreas fuera de cosecha con una perdida anual de producción de 126 497.81 toneladas de azúcar equivalentes a $ 13 750 311 U.S.D. (a razón de 45 000 @ /cab, de rendimiento agrícola, 10 % de rendimiento industrial y 108.7 $/ tonelada de azúcar), también posee una infraestructura energética diseñada para la producción de electricidad con biomasa.

OPORTUNIDAD.

Utilizando la biomasa que se ha desarrollado en estas áreas cañeras del MINAZ para la producción de electricidad, con un rendimiento de biomasa de 497 t. / caballería (15 t/acre), se puede obtener en esas 2444.5 caballerías infectadas de marabú 1 214 916.5 toneladas de biomasa, capaces de generar por combustión 4 859 666 t. de vapor y este a su vez una generación de electricidad de 485966 MWh equivalentes a:

$ 17 494 776.0 USD y $16 036 878.0 MN (de producto bruto.)

Además el sistema de transporte utilizado en la cosecha de caña de azúcar es adaptable perfectamente para la cosecha de marabú adaptándole a los equipos ruedas metálicas y utilizando un sistema de trasbordo portatil, por lo que el único problema a resolver técnicamente es el de la cosecha mecanizada, para lo cual desarrollamos una tarea técnica consistente en la modificación de los órganos de trabajo de la cosechadora de caña KTP 2 para obtener una cosechadora de marabú y malezas.

Después de realizado los cálculos y diseños preliminares necesarios, llegamos a la conclusión que a partir de una cosechadora KTP 2 podemos desarrollar una maquina cosechadora con las características adecuadas para el trabajo con marabú de hasta 60 mm de diámetro de tronco y 4 m de altura, con una productividad de 16 t / h de biomasa, un despeje de terreno de 0,43 ha / hora y una velocidad de traslación de 2,15 k.p.h, sin tener que construir la máquina automotriz y de la cual existe bastante experiencia en la provincia y una planta capaz de modificarlas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS A OBTENER CON EL PROYECTO

1. Obtención de una máquina cubana para la cosecha de marabú que sustituya importaciones.
2. Desarrollo de una tecnología de producción de electricidad a partir de la biomasa del marabú.
3. Control de las áreas agrícolas afectadas por el desarrollo del marabú en dos alternativas:
   - Recuperación del terreno para su posterior cultivo.
   - Producción de biomasa de marabú con fines energéticos de forma estable.
4. Disminución de la agresión ambiental al eliminarse el desbroce y la combustión libre de esta biomasa que afecta el hábitat de distintas especies que viven por encima o por debajo de la superficie de estos terrenos.
5. Impacto social al lograrse una fuente de empleo estable para el personal excedente.

ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO DEL PROYECTO

Los clientes potenciales inmediatos de los resultados a obtener con este proyecto son los centrales azucareros (7) y mieleros(2) del territorio de Camagüey en tiempo inactivo aunque puede ser generalizable a cualquier central del país.

La factibilidad técnico-económica de la generación de electricidad en la industria azucarera ha sido estudiada intensamente en los últimos años en varios países, en particular por el grupo de Energía y Medio Ambiente de la Universidad de Princeton N. J., y por la corporación brasileña COPERSUCAR siempre con bagazo y R.A.C. como subproductos de la zafra azucarera.

En el caso de la cogeneración en tiempo inactivo nuestros estudios y los realizados por el IPROYAZ de la provincia, arrojan que con el costo de la caña no es factible económicamente ni siquiera comprando el bagazo debido al alto costo de producción de la materia prima sin embargo la biomasa del marabú puesta en la casa de bagazo del central con un período de recuperación de la inversión de dos años tiene un costo de 4.46 USD y $ 2.57 MN la tonelada y produce ganancias de 7.84 USD y 1.31 MN por cada tonelada.

JUSTIFICACION ECONOMICA DEL PROYECTO.

Costo del Proyecto de modificación de una cosechadora.

Tabla Nº VI Resumen de los gastos de la inversión principal

Concepto	Importe	
	U.S.D.	M.N.
Modificación del aparato receptor acomodador frontal.	230.00	480.10
Modificación del aparato de corte inferior.	314.23	760.46
Modificación del aparato alimentador por tambores	330.00	580.10
Construcción del molino de dos cilindros.	1297.50	965.52
Construcción del molino de martillos	1317.57	724.88
Modificar transportadores 1 y 2	144.31	125.75
Fabricar las ruedas de la cosechadora.	486.50	389.76
Costo de la cosechadora KTP2	0.00	48000.0
Traslado de la cosechadora hacia Talleres Lenin	100.00	1000.00
Gastos del personal que se traslada con la cosechadora	125.00	2022.72
Medios básicos necesarios.	8411.38	841.14
Materiales gastables.	5199.19	519.92
Ensayos de los molinos.	147.53	588.88
Montaje, pruebas y ensayos de los molinos.	80.00	525.10
Sub Total	18183.21	57524.33
Gastos Indirectos (10 %)	1818.52	5752.43
Costo total de la inversión (A financiar)	20001.73	63276.73

Efectuando el proyecto con este financiamiento, no se recuperará la inversión relizada, simplemente sería igual que las campañas que se realizan para combatir el marabú mediante desbroce con topadoras frontales o implementos Vanguardia sin beneficio alguno, solo se obtendría la biomasa en forma de virutas para cualquier uso.

Para recuperar la inversión y los gastos operacionales de esta etapa es necesario incurrir en otros gastos adicionales de inversiones y operaciones en:

- Recolección, transbordo, y transporte de la biomasa hacia el central
- Generación de vapor y electricidad en el central.

Gastos de Inversiones adicionales.

Tabla Nº VII Total de gastos de inversiones adicionales

	Importe	
Concepto	U.S.D.	M.N.
Modificación de las ruedas de 2 tractores	536.00	524.00
Modificación de las ruedas de 4 carretas	1360.80	1161.20
Diseñar y construir el sistema de trasbordo portatil	16205.00	1520.50
Modificar tuberias del sistema termoenergético	1765.00	1867.50
Sub total de gastos por inversiones adicionales	19866.80	5073.20
Gastos Indirectos. (10 %)	1986.68	507.32
Costo total de la inversión adicional (A financiar)	21853.48	5580.52

Tabla Nº VIII Total de gastos de inversiones (Inicial + adicional)

Concepto	Importe

	U.S.D.	M.N.
Costo inversión principal.(sin recuperación)	20001.73	63276.73
Costo inversión adicional (para lograr la recuperación)	21853.48	5580.52
Total de gastos de inversión	41855.21	68857.25

COMO SE PROPONE LA RECUPERACION DEL FINANCIAMIENTO.

Se realizará una prueba de campo a la cosechadora y el sistema de trasbordo durante 30 días almacenando la biomasa en la casa de bagazo del central y luego se realizará la prueba general del sistema en operación conjunta, con una duración de cosecha y transporte 105 días y de la industria durante 117.5 días, para recuperar las inversiónes realizadas, en un período menor de de dos años.

Tabla Nº IX Gastos de operación para 135 días de cosecha y 117.5 días de generación en la industria.

Concepto	Importe	
	U.S.D.	M.N.
Cosecha de marabú (1 cosechadora, 2 tractores y 4 carretas)	34972.00	7192.80
Trasbordo de la biomasa de las carretas a los camiones.	11664.00	1057.50
Transporte de la biomasa hacia el central	5832.00	1836.00
Operación del sistema termoenergético	13332.34	193482.85
Gastos de mantenimiento y materiales auxiliares	6260.57	20308.71
Sub total de gastos de operación.	72060.91	223887.86
Gastos indirectos	7206.09	22388.79
Total de gastos de operación	79267.00	246276.64

BENEFICIOS DEL PROYECTO.

Si tomamos como referencia una prueba del prototipo de cosechadora de marabú, asumiendo que la misma despejará un área de 0.43 ha / h, lo que equivale a 3.44 ha cada 8h que con un rendimiento de 37.07 t / ha según la Patente Norteamericana USP 4338985 15 t / acre es el rendimiento para matorrales similares al marabú, (según nuestro criterio con marabú es mayor de 45 t / ha) dará una producción de 127.5 t / 8h diarias de biomasa de marabú. Si la prueba de campo para la cosecha, trasbordo y transporte dura 30 dias se pueden producir 3825.34 t de biomasa y para 105 días de prueba del sistema completo se producirán 13387.5 t , para los 135 días en total será de 17212.8 t

Teniendo en cuenta que el poder calórico del marabú promedio es de 3750 kcal / kg comparado con el del bagazo con 50% de humedad que es de 1800 kcal / kg el primero es 2.08 veces superior, si además tomamos como base que los generadores de vapor de los centrales trabajan con un índice de generación con bagazo de 2.1 t vapor / t de bagazo como promedio entonces el índice de generación aumenta en la misma proporción a 4.37 t vapor / t de biomasa de marabú.

Con este índice de generación tendremos para 135 días, 17212.8 toneladas de biomasa, con una producción de 75218.62 toneladas de vapor, equivalentes a 7522.0 MWh en 117.5 días con un turbo grupo compuesto por un generador de vapor de 45 t / h y un turbogenerador de 4 MW. con una entrega neta de 5641.5 MWh y un insumo de 1880 MWh

Planificando racionalmente esta entrega a la Red del S.E.N. de la forma mostrada, obtendremos el siguiente beneficio económico:

Tabla Nº X Entrega de energía eléctrica a la RED Nacional durante 117.5 días.

Entrega al S.E.N.				$ U.S.D.		$ M.N.	
Horario	de	a	MWh	Precio	Importe	Precio	Importe
Normal	3 p.m.	6 p.m.	1057.50	36.00	38070.00	33.00	34897.50
Pico	6 p.m.	10 p.m.	1410.00	58.00	81780.00	50.00	70500.00
Normal	10 p.m.	7 a.m.	3172.50	36.00	114210.00	33.00	104692.50
Total	3 p.m.	7 a.m.	5640.00		234060.00		210090.00

Además por la limpieza del área se cobrará el precio oficial que es de 2685.27 $/cab.

Como se limpiarán (0.43 ha / h * 8h / día * 135días) / (13.42 ha / cab.)

= 34.61 cab * 2685.27 = $92923.88 M.N.

Autor: M.Sc Rafael Leyva Canavaciolo felo@em.reduc.edu.cu

Tabla Nº XI Balance económico del Proyecto. (Para dos años de recuperación de la inversión.)

Concepto	Importe		
Egresos		U.S.D.	M.N.
Costo de la inversión inicial		20001.53	63276.73
Costo de la inversión adicional		21853.48	5580.52
Costo total de la inversión (A)		41855.01	68857.25
Total de gastos de inversiones A/2		20927.51	34428.63
Total de gastos de operación		79267.00	246265.65
Total de gastos		100194.51	280694.28
Ingresos			
Limpieza del área			92923.88
Venta de electricidad al S.E.N.		234060.00	210090.00
Total de ingresos.		234060.00	303013.88

Tabla Nº XII Beneficios del proyecto. (Para dos años de recuperación de la inversión.)

ACTIVIDAD	**U.S.D.**	**M.N.**
Limpieza del área agrícola		92923.88
Venta de electricidad	234060.00	210090.00
Total de ingresos (D)	234060.00	303013.88
Total de gastos del Proyecto (E)	100194.51	280694.28
Ganancia del Proyecto (F) = (D-E)	133865.49	22319.60
Rentabilidad sobre los gastos totales F / E	1.34	0.08
Rentabilidad sobre la Inversión F / A	3.20	0.32

Como podemos apreciar los indicadores de rentabilidad son favorables.

NOTA.

Los gastos totales en divisas que aparecen en ambas tablas como $ 100194.51 para un período de recuperación de la inversión de dos años, tiene solamente un componente de 5434.62 U.S.D. La diferencia de $ 94759.88 respectivamente está categorizado como Capacidad de Compra ($C.U.Z.)

Como indicadores de eficiencia del proyecto tendremos:

- Un despeje de la cosechadora mayor del esperado que es de 0.43 ha / h.
- Un rendimiento agrícola mayor del esperado que es de 37.07 t / ha.
- Un índice de generación mayor del esperado que es de 4.37 t vapor / t de biomasa.
- Un consumo específico de vapor menor del esperado que es de 10 t / h vapor / MWh.

ANALISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL

Para llevar a cabo el proyecto completo es necesario consumir 99344 litros de combustible diesel en la cosecha, transbordo, transporte de la biomasa y en su manipulación en el central, emitiéndose a la atmósfera un total de 266.25 toneladas de CO_2 sin embargo de generarse los 7520 MWh en el Sistema Electroenergético Nacional con fuel oil se emitirían a la atmósfera 4500 toneladas de CO_2 por lo que con la implementación de este proyecto se dejan de emitir 4233.75 toneladas de CO_2 en 135 días de trabajo y como no se utiliza fuel oil se dejan de emitir además 10 toneladas de SO_2 y 12.53 toneladas de NOx.

Otro aspecto positivo es que no se afecta la capa vegetal pues no se erosiona con ningún implemento, ni se combustiona la biomasa sobre el suelo, con lo cual se preserva la la flora y fauna que habita sobre la superficie del terreno y la microflora y microfauna que habita debajo de esta.

CONCLUSIONES

1. El desarrollo del diámetro de los troncos de marabú en campos con varios años de antigüedad es aleatorio predominando los troncos de mas de 5 cm de diámetro y la población de menor densidad que en los que se ha cortado mas frecuentemente
2. El desarrollo del diámetro de los troncos de marabú en campos con menos de tres años de antigüedad cortados frecuentemente es bastante uniforme predominando los troncos de menos de 5 cm de diámetro y la población de mayor densidad que en los campos mas antiguos debido al rebrote del marabú por las raíces cuando ven el sol, donde es mayor su poder germinativo.
3. En Cuba no existen máquinas patentadas para la cosecha de marabú.
4. Internacionalmente no existen máquinas patentadas para la cosecha de marabú
5. La madera de marabú posee alta resistencia al cizallamiento como se puede observar en la Tabla No 3, por lo cual concluimos que el sistema de corte por cizallamiento no puede aplicarse en el caso de una cosechadora para diámetros de troncos superiores a 30 mm
6. La madera de marabú posee baja resistencia al corte por virutas como se puede observar en la Tabla No 4, por lo cual concluimos que este sistema de corte puede aplicarse en el caso de una cosechadora para diámetros de troncos superiores a 50 mm
7. La madera de marabú posee resistencia media a la fractura de sus fibras como se puede observar en la Tabla No 2, por impacto por lo cual concluimos que puede diseñarse un molino de martillos con el fin de fracturar las fibras de marabú en sentido transversal y entregar una biomasa con una granulometría menor de 40 mm y aplicarse en el caso de una cosechadora para diámetros de troncos superiores a 50 mm
8. El peso no es una desventaja apreciable debido a que no es decisiva la compactación de los terrenos infectados de marabú, pues si se van a cultivar hay que laborearlos, o en caso contrario, si se dejan crecer de nuevo no influye la compactación.
9. Los pinchazos de los neumáticos por espinas y estacas de los troncos cortados se resuelve con el diseño de ruedas metálicas y su construcción se puede realizar en cualquier taller de pailería y soldadura

REFERENCIAS.

1. Censo de marabú del MINAZ(2000). Delegación de Camagüey
2. Datos de la Escuela de Ingeniería Agronómica UH (1962).
3. Fors, Alberto J. Maderas Cubanas. (1965), Tercera edición. INRA, La Habana .1965
4. Gozá, Osvaldo.(1996) Tesis para la Opción del Grado Científico de Doctor en Ciencias. CUJAE 1966
5. Katia Manzanares.y colaboradores. (1996) Usos tecnológicos del marabú. XI Forum de Ciencia y Técnica. La Habana, Septiembre de 1996.
6. Pareta, Juan J. López, Mirta. Cabrera, Ida. y de la O, Fermín. Programa Nacinal de Control de Leñosas Marabú-Aroma-WeylerCentro de Información y Documentación Agropecuario.(CIDA) Ciudad de la Habana (1997)
7. Pisonero (1989) Amancio Rodríguez.
8. Roig y Mesa, Juan Tomas. Plantas medicinales, aromáticas o venenosas de Cuba. (1974).
9. USPTO (1982). United States Patents and Trademark Office.

Autor: M.Sc Rafael Leyva Canavaciolo felo@em.reduc.edu.cu

COGENERACIÓN EN LA INDUSTRIA AZUCARERA
COGENERATION IN THE SUGAR CANE MILLS

Autores (Authors):
Dr. Juan José Sánchez Jiménez
Universidad de Guadalajara
cheosj@yahoo.com
Mtro. José Salvador Beltrán León
Universidad de Guadalajara
beltran7@prodigy.net.mx
Dr. José Antonio Gómez Reyna
Universidad de Guadalajara
gomezrey@yahoo.com
Ing. José Antonio González Jiménez
Ministerio del Azúcar Provincial
Villa Clara, Cuba
Dr. Alexis Martínez del Sol
Universidad de Guadalajara
alexismds@hotmail.com
Dr. Mariano David Zerquera Izquierdo
Universidad de Guadalajara
mariano_zerquera_izquierdo@hotmail.com
Ing. Eduardo Calderón Reynoso
Universidad de Guadalajara
ecalderon@ccip.udg.mx
Dr. Juan Marcos García Martínez
Universidad de Guadalajara
jgarcia@hotmail.com

Resumen.

En la mayoría de las industrias químicas existen los consumidores de vapor los cuales trabajan a una presión, por lo general muy pequeña, en comparación con la presión obtenida a la salida de las calderas, la que se incrementa aún más si existen sobrecalentadores. El vapor se hace pasar por una válvula reductora cuya función es bajar la presión a la de utilización. Si éste se hace pasar por una turbina de contrapresión y se genera energía eléctrica, se aprovecha la energía que de otra forma se perdería en la válvula reductora constituyendo esto una fuente más de ahorro de energía.

Abstract.

In most of the chemical industries there are the consumers of steam (process). They work to a very small pressure in comparison with the obtained one in the steam boilers which is increased even more if there is over heaters. To obtaining this pressure required one by process it become necessary to pass through a reducing valve to down pressure. If this steam goes by against pressure turbine and generating electric power, it takes advantage energy that would get lost in the reducing valve another way, constituting a source of energy saving.

Introducción.

Una de las medidas de ahorro de energía en las industrias que utilizan vapor en el proceso lo constituye la cogeneración, a partir de la cual se obtiene energía eléctrica a un costo muy bajo en comparación con el de la empresa de suministro, el que se abarata aún más en los centrales azucareros, ya que los mismos utilizan como combustible un subproducto de su producción principal (azúcar), el bagazo para, a partir del mismo, generar el vapor utilizado en este proceso industrial.

El objetivo del presente trabajo consiste en presentar una metodología para el cálculo de la energía eléctrica generada utilizando el bagazo como combustible, la que puede ser aplicada también a otras industrias que utilicen vapor en su proceso, aunque el mismo sea obtenido de la combustión de otro portador energético que no sea el bagazo.

Desarrollo.

En los centrales azucareros, así como en cualquier otro tipo de industria que utilice vapor en su proceso, paralelamente con los consumidores de energía eléctrica, existen los consumidores de calor (proceso). En el generador de vapor éste se produce a una presión elevada y se dirige a la turbina, donde sufre una expansión solo hasta la presión necesaria para el proceso, en el cual se realiza la entrega de calor necesaria y, en forma de condensado regresará por completo o en parte al generador de vapor.

El esquema principal elemental de esta instalación está representado en las *figuras 1 y 2* y, el mismo, se aproxima al ciclo *Rankine*.

En la *figura 1* se muestra como la bomba de alimentación (1) eleva la presión del agua hasta ***Po*** y la introduce en el generador de vapor (2). El proceso de compresión isotrópica del agua

realizado por la bomba a escala exagerada está representado en el diagrama ***TS*** por la línea "aa" de la *figura 2*.

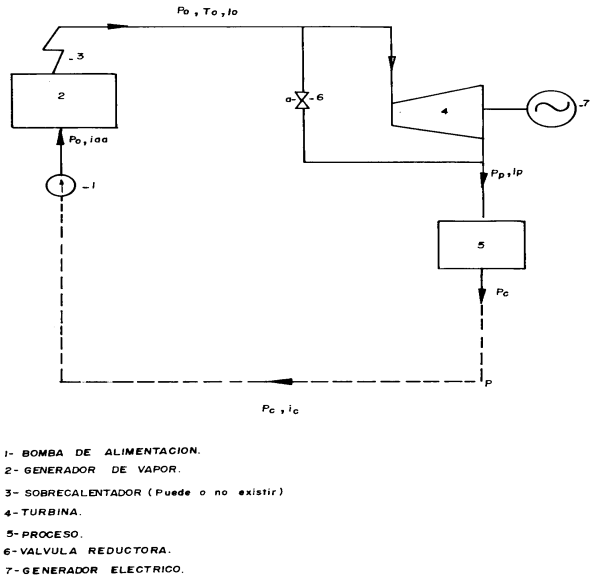


Figura 1. Esquema del proceso de cogeneración.

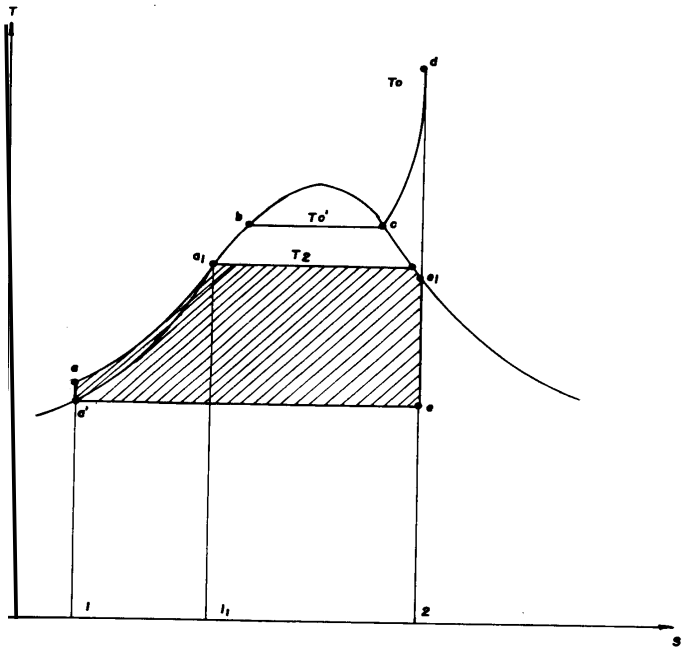


Figura 2. Ciclo térmico ideal para el sistema en el diagrama *TS* (*ciclo Rankine*).

En el generador de vapor el agua se calienta a presión constante hasta la temperatura de ebullición (línea "ab" en el diagrama ***TS***) y se evapora (línea "bc"). Luego, el vapor pasa al sobrecalentador (3) en el caso de existir el mismo, donde la temperatura se eleva a ***To***.

El proceso de entrega de calor en el sobrecalentador está representado por la línea "cd". La generación del vapor, incluyendo el sobrecalentador, se efectúa a presión constante ***Po*** de modo que la cantidad de calor ***qi*** es transmitida al agua y se utiliza por completo en aumentar la entalpía del vapor. Esto puede ser representado para 1 kg de vapor que participa en el proceso como:

$$qi = io - iaa \qquad (1)$$

donde:

io: es la entalpía del vapor que ha salido del sobrecalentador (en caso de existir) o de la caldera (en caso de no existir el primero).

iaa: es la entalpía del agua de alimentación al entrar en el generador de vapor.

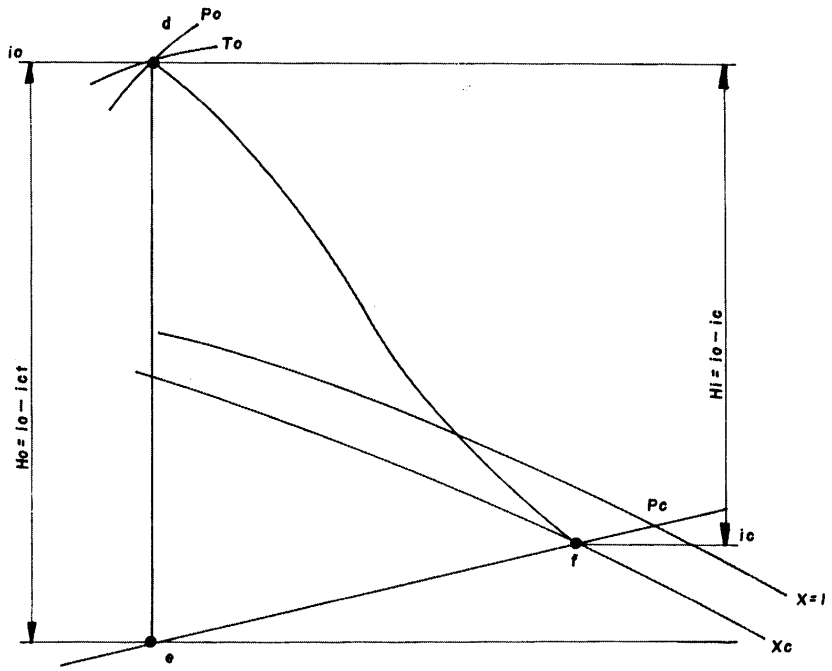
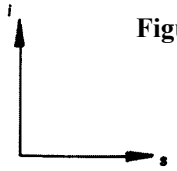


Figura 3. Proceso de expansión del vapor en la turbina.
(Escala exagerada).



El calor del vapor a la salida del sobrecalentador está representado en el diagrama ***TS*** por el agua 1, a, b, c, d, 2, 1. Este calor con entalpía *io* se dirige hacia la turbina (4) y allí sufre una expansión. Para la turbina ideal que funciona sin pérdidas ni intercambio de calor con el medio ambiente, el proceso de expansión es isotrópico y está representado en el diagrama ***TS*** por la línea "de". El proceso verdadero está representado por la línea "df" de la *figura 3*.

En el caso de la industria azucarera la mayoría de las turbinas utilizadas son de contrapresión, por lo que la presión del vapor a la salida de la misma supera la presión atmosférica y sale a la presión exigida por el proceso. El calor que puede transformarse en trabajo en la turbina está representado por el área i_1, a_1, e_1, 2, i_1 el que se puede utilizar en un grado considerable. En el proceso se considera que el vapor de escape una vez utilizado en el proceso y parte del condensado más el agua de reposición son bombeados (*figura 1*) al generador de vapor, lo que cierra el ciclo termodinámico. En la *figura 4* se muestra el ciclo real en el diagrama ***TS*** a escala exagerada. De lo antes expuesto, se deduce que, para la determinación del costo de la energía eléctrica en este tipo de industrias es necesario basarse en datos del balance energético, entre los que figuran: presión y temperatura a la entrada y salida de la turbina, valor calórico del combustible, eficiencia de los equipos, etc. [2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13]

Ecuaciones utilizadas en la determinación del costo de la energía eléctrica. [11, 12, 13]

Los gastos anuales que intervienen en la generación de energía eléctrica, se dividieron en las siguientes partidas:

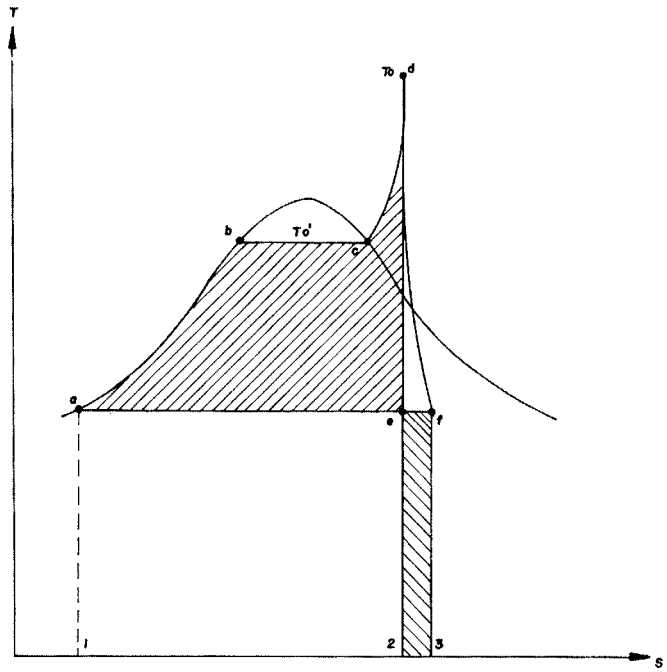


Figura 4. Ciclo térmico real del proceso de cogeneración.

1. Gastos de combustible
2. Gastos de amortización
3. Gastos de salarios (incluye el seguro social)
4. Gastos de reparación
5. Gastos indirectos (solo se aplican en aquellas industrias que venden energía eléctrica)

Gastos de combustible: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13]

Para determinar los gastos de combustible se puede utilizar la ecuación

$$= P \times \frac{Eeléctrica \times 3.6}{Nm \times Ne \times Nc \times Ntub \times VCN} \quad (2)$$

donde.

P: precio del combustible (para los centrales azucareros el precio de tonelada de bagazo) en pesos o miles de pesos

Eeléctrica: energía eléctrica entregada por el generador en kW-h

Ne: eficiencia del generador que a plena carga puede calcularse como

$$Ne = 96 - \frac{2.5}{\sqrt{Pn/1000}} \quad (3)$$

donde:

Pn: potencia nominal del generador en kW

Nc: eficiencia de la caldera (tabla I)

Ntub: eficiencia de la tubería

VCN: valor calórico neto (para los centrales azucareros es la cantidad de Mega joules que tiene una tonelada de bagazo con un porcentaje de humedad determinada).

Para encontrar este valor se puede utilizar la ecuación

$$VCN = 4250 - 4850\ w \quad (4)$$

donde:

w: humedad expresada en por unidad

VCN : valor calórico neto en kcal/kg

Si se desea obtener el valor *VCN* en MJ/ton se divide la *ecuación 4* entre 4.1868 x 10^{-3}.

Para determinar las pérdidas de energía de los generadores a un estado de carga dad, puede emplearse la curva que aparece en la *figura 5*

para, a partir de ese dato y la potencia de entrada, calcular la eficiencia al estado de carga dado.

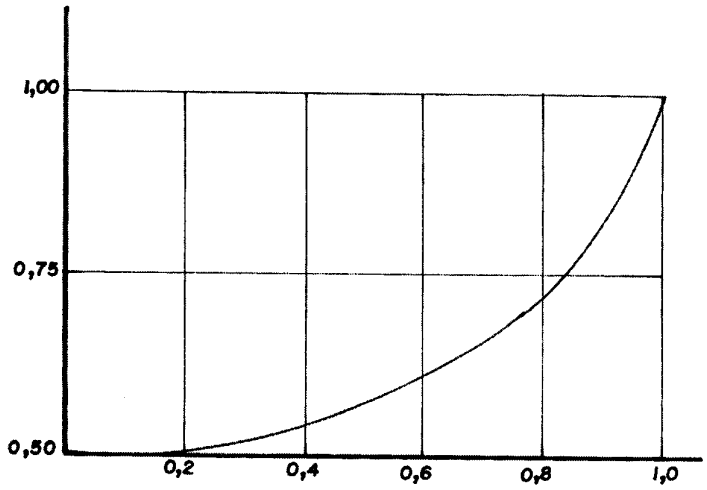


Figura 5. Pérdidas en generadores en función de la potencia.

Gastos de amortización: [7, 11, 12, 13]
Esta información aparece en el flujo de caja de las empresas cuando las mismas realizan sus análisis económicos.

Gastos de salarios:
Esta partida puede ser determinada tomando los datos de salarios totales de los operadores de tableros eléctricos, turbinas, mecánicos, etc., durante el período de zafra en el caso de los centrales azucareros o durante la etapa de generación, mantenimiento, etc., para otro tipo de industria, es decir, en otras palabras, el salario del personal que labora directamente en este tipo de instalaciones incluyendo el porcentaje de seguro social.

Gastos de reparaciones:
Se toma el salario del personal que labora en el desarme y reparación de los equipos (incluye también el porcentaje del seguro social) y se le adiciona el costo de los materiales y componentes utilizados durante este tipo de labor.

Gastos indirectos:
Esta partida solo se tiene en cuenta cuando se vende electricidad, o sea, cuando se comercializa y parte de la generación es un producto mercantil.
Sumando todas estas partidas y dividiéndolas entre la generación total se obtiene el costo del kW-h por cogeneración, el que en la mayoría de los casos oscila dentro del orden de unas décimas de centavos hasta unos pocos centavos.

En la Universidad Central de Las Villas, Cuba se desarrolló un método muy similar al anterior, el que puede ser utilizado en cualquier tipo de industria que necesite vapor en su proceso industrial el cual consiste en:

1. Determinar el consumo de vapor de las turbinas (Dturbo) expresado en kg de vapor /tonelada de caña molida por horas (tc) mediante la expresión [6, 11, 12, 13]

$$Dturbo = \frac{N \times 860}{Ho \times Ne \times Nm \times Ntub \times Nt} \qquad (5)$$

donde:
N: razón de generación promedio por hora, sobre la molida promedio por hora (kW-h/tc)
tc: tonelada de caña molidas por hora
Ho: variación de la entalpía en la expansión ideal (kcal/kg)

$$Ho = i_1 - i_2 \qquad (6)$$

donde:
i_1 e i_2: entalpía a la entrada y la ideal a la salida de la turbina (kcal/kg), ver Tabla II
Nt: eficiencia termodinámica
donde:

$$Nt = \frac{i_1 - i_2'}{i_1 - i_2} \qquad (7)$$

$i_2^{'}$: entalpía real del vapor a la salida de la turbina kcal/kg
Ntub: eficiencia de la tubería

$$Ntub = \frac{i_a - w}{i_a} \quad (8)$$

donde:
i_a: entalpía de vapor a la salida de la caldera (kcal/kg)
w: trabajo perdido (kcal/kg)

$$w = i_a - i_b - i_1 + i_2 \quad (9)$$

i_b: entalpía de la expansión ideal, desde las condiciones de salida de la caldera, hasta las condiciones de salida de las turbinas (kcal/kg)

Todos los valores de las entalpías pueden ser obtenidos en tablas de vapor mediante la utilización del diagrama de Mollier a partir de los datos de presión, temperatura, humedad del vapor, etc.

2. Determinar el combustible necesario para generar el vapor que realiza trabajo en las turbinas (***Bx***). En el caso de los centrales azucareros es kg de bagazo /hora.[11,12, 13]

$$Bx = \frac{Dturbo \times M \times Wr}{VCN - Nc} \quad (10)$$

donde:
M: molida promedio (*tc*/hora)
Wr: trabajo real del vapor en la turbina (kcal/kg)

$$Wr = i_1 - i_1^{'} \quad (11)$$

VCN: valor calórico neto del combustible (kcal/kg de combustible)

$$VCN = 4250 - 4859\ Hb$$

*H*b*:* humedad relativa del bagazo

Los demás pasos son similares a la metodología anterior.

Aplicado el método a varios centrales azucareros, entre ellos el central Héctor Molina ubicado en la provincia Ciudad de la Habana, Cuba. El mismo posee 5 turbogeneradores cuyas capacidades son las siguientes: 3 de 2 MW, 1 de 1.4 MW y 1 de 4 MW. Para ejemplo se tomó uno de los de 2 MW, cuya eficiencia eléctrica *Ne* es 0.95 y se determina para un estado de carga de 1000 kW.

1. **Gastos de combustible**:

La eficiencia a plena carga es

$$\eta = 2000/0.95 = 2105 \text{ kW}$$

Las pérdidas a plena carga son

$$\Delta P = P_{entrada} - P_{salida}$$
$$\Delta P = 2105 - 2000 = 105 \text{ kW}$$

Los datos de los demás turbogeneradores aparecen en la Tabla I.

El coeficiente de carga (*kc*) es

$$kc = 1000/2000 = 0.5$$

Las pérdidas a este estado de carga son

$$Pi = kc \text{ x } Pi/P_N$$

donde:
kc: coeficiente de carga
Pi: Potencia al estado de carga "i" (kW)
P_N: Potencia nominal (kW)

De la *figura 4* se obtienen las pérdidas para este estado de carga:

$$\Delta Pc_{(kc=0.5)} = 0.5625 \text{ x } P_N$$
$$\Delta Pc_{(kc=0.5)} = 0.5625 \text{ x } 105$$
$$\Delta Pc_{(kc=0.5)} \approx 59 \text{ kW}$$

La eficiencia a este estado de carga es

$$\eta = \frac{1000}{1000 + 59} = 0.944$$

Como el gasto del combustible depende del estado de carga de los generadores, un valor representativo se puede calcular a partir de las generaciones promedios de cada uno de ellos, las que aparecen, al igual que los gastos de combustibles, en la Tabla II. El turbo 1 en el período analizado (una zafra) generó 4'831,784 kW-hora aplicando la *ecuación 2* El precio de la tonelada de bagazo se tomó a $ 5.25 pesos /ton (valor obtenido del Depto. de Contabilidad de la empresa) y una generación promedio de 1 491.6 kW-hora (generación total/días de zafra) y se obtiene que el gasto de combustible para este turbogenerador es de $ 30.83 pesos/hora (Tabla II) lo que equivale a un gasto de combustible total durante el período de zafra de $ 99 877.00 (30.83 pesos/hora x 3240 horas de trabajo/zafra).

2. **Gastos de amortización**.

Aparecen tabulados en la Tabla III, según datos ofrecidos por el MINAZ Provincial. [11, 12, 13]

3. **Gastos de salarios durante el tiempo de zafra**.

Se tomó el salario de los operadores de cuadro, turbinas, mecánicos, etc. durante el período de zafra, o sea, el salario del personal que labora

directamente en esta instalación, incluyendo el 10% de seguro social. En el ejemplo objeto de análisis, este valor asciende a $ 13.39 pesos.

4. **Gastos de reparaciones**.

Se tomó el salario del personal que trabaja en el arme, desarme y reparación de los equipos, incluyendo el 10% de seguro social y se le adiciona el costo de los materiales y componentes utilizados. Para el ejemplo analizado este caso asciende a $ 170 pesos.

5. **Gastos indirectos**.

Solo se tiene en cuenta cuando se vende energía al sistema, o sea, cuando se comercializa y parte de la generación es un producto mercantil. Para el ejemplo analizado toda la generación se consume en la fábrica. El costo de la energía será entonces igual a la suma de todos los gastos.

Combustible	$ 99 877
Amortización	$ 100 324
Salarios (zafra)	$ 8 170
Indirectos	$ - - - - - -
Total	$ 221 763

La generación total ascendió a 22'456 861 kW-h durante el período de zafra, lo que implica que el costo del kW-h fuera de:

221 763 / 22 456 861 = 0.0009875 pesos/kW-h

Por lo que se puede apreciar que el costo de la energía generada en las empresas que utilizan vapor en su proceso, como son los centrales azucareros, es menor de 1 centavo, lo que justifica plenamente la generación en las mismas.

En la Tabla IV se muestra el costo de la energía eléctrica obtenida por cogeneración para varios centrales azucareros cubanos.

Conclusiones.

1. El costo de la energía eléctrica obtenida por cogeneración oscila desde décimas hasta unos pocos centavos y éste se abarata si el combustible utilizado es el bagazo.
2. El ejemplo resuelto puede servir de guía para el cálculo del costo del kW-h obtenido por cogeneración.
3. Resulta benéfico cogenerar para las empresas que utilizan vapor en su proceso. Ello representará un considerable ahorro de dinero como consecuencia de la reducción del precio a que se compra a las empresas suministradoras con relación al obtenido por cogeneración.
4. La metodología utilizada para la determinación de la energía eléctrica generada con vapor puede ser aplicada a cualquier tipo de industria, independientemente del tipo de calderas que la misma posea; para ello basta con sustituir en la ecuación correspondiente el precio del combustible utilizado y su Valor Calórico Neto obteniendo resultados deseados.
5. La diferencia entre las metodologías explicadas radica en que, mientras que la primera no considera la eficiencia termodinámica, la segunda sí lo hace.

Recomendaciones.

Se recomienda:

1. Cogenerar a todas las empresas que utilicen vapor en su proceso.
2. Tratar de no pasar vapor por la válvula reductora, es decir, aprovechar todo el vapor que necesita el proceso para generar energía eléctrica.
3. Utilizar cualquiera de los métodos explicados para determinar el costo de la energía eléctrica generada por cogeneración.

Referencias.

1. Díaz, Mora A., (1990), Método para calcular el índice de generación de los generadores de vapor. Instituto de Proyectos Azucareros. Villa Clara, Cuba.
2. Espinosa, R. (1983), Balance termo-energético en los centrales azucareros. Revista Centro-Azúcar No. 2, UCLV.
3. Espinosa, R., Carrillo M. (1985), Sistema de utilización del calor. Apuntes para un Libro de texto. Villa Clara, Cuba.
4. Espinosa, R., Carrillo, M., Machado, S. (1990), Algunas consideraciones sobre la eficiencia de operación de los generadores de vapor en centrales de Villa Clara. Revista Centro-Azúcar No. 15, UCLV.

5. Machado, S., Espinosa, R., (1983), Aplicación de un balance termo-energético integral a un central azucarero. Revista Centro-Azúcar No. 10, UCLV.
6. Ministerio del Azúcar (MINAZ), Departamento de generación eléctrica. (1994), Despiece, parte eléctrica de turbogeneradores. La Habana.
7. Pérez, Oliva I. (1998), Electro-balance en el CAI Mario Muñoz. Los Arabos, Matanzas, Cuba.
8. Portal, E. Alfonso, (1989), Determinación del voltaje racional de generación en centrales azucareros. Trabajo de Diploma. UCLV, Villa Clara, Cuba.
9. Rodríguez, P., (1999), Determinación de las pérdidas de energía en el CAI Mariana Grajales. Trabajo de Diploma. UCLV, Villa Clara, Cuba.
10. Rodríguez, Expósito R., (1999), Electro-balance en el CAI Héctor Molina, Trabajo de Diploma. UCLV, Villa Clara, Cuba.
11. Sánchez, Jiménez J., (1990), Voltaje racional en niveles inferiores a 1000 V en las industrias cubanas. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Villa Clara, Cuba.
12. Sánchez J., Martínez, A. Beltrán, J. (2003), Proceso y cogeneración en industrias que utilizan vapor en su proceso Parte I Estudios. XI Simposio de Ingeniería Eléctrica (SIE-2003), Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba.
13. Sánchez J., Martínez, A. Beltrán, J. (2003), Proceso y cogeneración en industrias que utilizan vapor en su proceso Parte II Aplicación. XI Simposio de Ingeniería Eléctrica (SIE-2003), Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba.

Anexos.

Tabla I. Eficiencia de las calderas más utilizadas en la industria azucarera.

No.	Equipo	Eficiencia % (Respecto a VCN)
1	Caldera piro tubular con horno de parrilla fija	85
2	Caldera de tubos rectos y tres pases con horno Martín sin arcos	67
3	Caldera de tubos rectos y tres pases con horno Martín con arcos	69
4	Caldera de tubos rectos y tres pases con horno Ward	70
5	Caldera tipo Villa Clara con horno Ward	75
6	Caldera Stirling con horno Martín si arcos	64
7	Caldera Stirling con horno Martín de arcos	66
8	Caldera Stirling con horno Ward	67
9	Caldera Evelma de la primera generación con horno Martín de arcos	64
10	Caldera Evelma de la segunda generación con horno Martín de arcos	66
11	Caldera Evelma de la tercera generación con horno de celda	78
12	Caldera Reto de 25 y 40 t/h	78
13	Caldera alemana de 45 t/h	80
14	Caldera Retal	78
15	Caldera Stirling con horno esparcidor y calentador de aire	80
16	Caldera Stirling con horno esparcidor	70

Tabla II. Valores aproximados de la eficiencia termodinámica en turbinas.

Tipo de Turbina	Presión (kg/cm^2)*	Eficiencia termodinámica
Contrapresión	3-7	0.65-0.70
Contrapresión	0.5-3	0.70-0.72

Condensación	-	0.72-0.75
Reacción y condensación	-	0.75-0.80

* Presión manométrica. Si se desea en lbs/pulgs^2 multiplique por 0.3417

Tabla III. Resultados de la aplicación del método al central azucarero Héctor Molina de provincia Ciudad Habana, Cuba.

Turbo Generador	Capacidad MW	Energía Promedio (kW-h)	* Gasto Combustible (pesos/hora)	Costo Inversión (pesos)	Costo de Amortización (pesos)	Ne Nominal	ΔPn (kW)	Nm
1	2.0	1492	6.33957	228 635	15 547	0.95	105.263	0.95
2	2.0	1746	7.39667	228 635	15 547	0.95	105.263	0.95
3	2.0	958	4.26400	320 557	21 798	0.947	112.903	0.92
4	1.4	1236	5.58550	301 820	24 604	0.935	97.320	0.92
5	4.0	1700	7.24051	335 705	22 828	0.96	166.667	0.95
Total	**----**	**7132**	**30.82625**	**1415 352**	**100 324**	**----**	**587.416**	**--**

* En un día característico.

Gasto de combustible.....$ 99 877.00
Gasto de amortización 100 234.00
Gasto de salarios (zafra) . 13 392.00
Gasto de reparaciones..... 8 170.00
Gasto total..... **221 763.00**
Costo de la energía generada $ 0-009875 pesos/kW-h
Días de zafra: 153

Generación total..... 22 456 861 kW-h
Precio tonelada bagazo... $ 5.25

Tabla IV. Costo de la energía eléctrica generado por cogeneración en varios centrales azucareros cubanos. [1, 2, 3, 4, 5, 6]

Nombre del Central	Ubicado en la provincia	Costo energía eléctrica (pesos/kW-h)
10 de Octubre	Villa Clara	0.012
Mario Muñoz Monroy	Matanzas	0.01018
Batalla de Santa Clara	Villa Clara	0.01563
Quintín Banderas	Villa Clara	0.0104
Héctor Rodríguez	Villa Clara	0.012226
Mariana Grajales	Villa Clara	0.01113
Héctor Molina	Provincia Habana	0.009875
Uruguay	Sancti Spiritus	0.0078 0.109**

** utilizando petróleo como combustible.

LOS AUTORES.

Dr. Juan José Sánchez Jiménez. Nació en Placetas, Cuba en 1942. Recibió el grado de Doctor en Ciencias Técnicas en la Universidad Central de Las Villas, Cuba en 1992. Trabajó en dicha universidad ininterrumpidamente desde el año de 1959 hasta el 2001 en que comienza a laborar en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara donde labora actualmente. Fue miembro del Consejo Científico y miembro permanente del Tribunal Nacional de categorías Científicas de la República de Cuba en la especialidad de Electroenergética. Su área de investigación es el diseño, explotación y protección de sistemas eléctricos industriales y el ahorro de energía.

Dr. Alexis Martínez del Sol. Nació en Cienfuegos, Cuba. Recibió el grado de Doctor en Ciencias Técnicas en la Universidad Central de Las Villas, Cuba en 1997. Desde 1999 trabaja como Profesor Investigador Titular C del Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad de Guadalajara. Su área de investigación es el control, diseño y protección de motores eléctricos.

Mtro. José Salvador Beltrán León. Nació en 1956 en la ciudad de Guadalajara, México. Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista emitido por la Universidad de Guadalajara. En 1982 laboró como Ingeniero de Proyectos en la Planta San Cristóbal y en el Complejo Zacapu de la empresa Celanese Mexicana, S. A. de 1989 a 2001 fue Jefe de Conservación en el Hospital General de Occidente de la S.S. A. y desde 1977 es Profesor Titular de la Preparatoria No. 2 en el Sistema de Educación Media Superior de la misma U de G. Recientemente obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la misma universidad.

Dr. Mariano D. Zerquera Izquierdo. Nació en Trinidad, Cuba en 1944. Recibió el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Central de Las Villas, Cuba en el año de 1984. Entre 1969 y 1999 trabajó en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la misma universidad donde fue Profesor Titular, Jefe del Departamento de Electroenergética entre 1972 y 1992, Vicedecano docente entre 1992 y 1994 y Jefe de la Carrera de Ingeniería Eléctrica entre 1994 y 1999. Fue miembro del Consejo Científico de la Universidad Central de Las Villas y del Tribunal Permanente de Grados Científicos de la República de Cuba en la especialidad de Electroenergética. Desde 1999 trabaja como Profesor Titular C del Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad de Guadalajara. Su área de investigación es el diseño, explotación y protección de motores eléctricos.

Dr. José Antonio Gómez Reyna. Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista emitido por la Universidad de Guadalajara en 1981, el grado de Maestro en Ingeniería de Proyectos en 1995 y recientemente obtuvo el grado de Doctor en Ciencia y Tecnología en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara.

Ing. Eduardo Calderón Reynoso. Ocupó el cargo de Secretario Académico del Centro de Ciencias Exactas e Ingenierías y la Secretaría del Colegio de Ingenieros Mecánicos Electricistas de Guadalajara. Actualmente es Jefe del Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías adscrito a la Universidad de Guadalajara.

ANÁLISIS DEL BALANCE ENERGÉTICO EN PEQUENÃS DESTILERÍAS CON PRODUCCIÓN CONYUGADA ALCOHOL/ AGUARDIENTE EN LA REGION SUR DEL BRASIL

(1) Ocácia , C. Gilnei ; (2) Silva, G. Alexandre;(3) Bristoti , Anildo

(1)Ingeniero Mecánico, Dr., Profesor del Programa de PostGrado en Ingeniería ,Energía, Ambiente e Materiales, Universidad Luterana del Brasil; telf/fax (0xx)514779285, email- gilneiocacia@aol.com
(2) Ingeniero Agrícola, Estudiante nivel Magister del Programa de PostGrado en Ingeniería, Energía, Ambiente e Materiales,Universidad Luterana del Brasil; telf/fax (0xx)516624000, email- agsengenheiro@bol.com.br
(3)Ingeniero Químico, Phd, Profesor del Programa de PostGrado en Ingeniería ,Energía, Ambiente e Materiales, Universidad Luterana del Brasil; telf/fax (0xx)514779285

RESUMEN

El objetivo deste estudio es analizar la disponibilidad energética en sistemas de producción conyugada alcohol /aguardiente, debido a lo grande potencial de utilización desta manera de proceso en microdestilerías existentes en el sur del Brasil dirigidas hoy apenas para la produccíon de aguardiente, con posibilidad de ser adaptadas para producción también de alcohol combustible,visando con esto la sustentabilidad energética destas fincas. Así, existe la necessidad de se efecturar un balance energético desta manera de proceso. El objetivo deste balance es encontrar el punto de equilibrio entre disponibilidad energética, (relación producción / consumo) y mayor rendimiento económico. El balance fue efectuado, analisando el sector agrícola y industrial, adaptado a la realidad de producción del sur del país. En el balance energético del sector agrícola fueron analisadas las operaciones necesarias para obtención de materia prima, levando em consideración su consumo de combustible (situación 1), nivel de mecanización y energía consumida para la producción del equipo (situación2), insumos, fertilizantes y defensivos (situación 3), en un sistema con cosecha manual sin aproveitamiento de la paja de la canã. En la análisis del sector "'industrial", se considerou el consumo de energía eléctrica externa, además fue considerada como energía de consumo la energía consumida en la destilación con la queima del bagazo (situación 1). Fue considerado también la energía gasta con edificaciones y equipos (situación 2), y insumos del proceso (situación 3). Con la relación kcal/ºGL, estableceu-se una relación entre graduación alcoholica y energía consumida. Este valor, cambiou en el sistema conforme la proporción alcohol / aguardiente, así como la cantidad de alcohol produzido y bagazo excedente, en una curva que presenta los seguintes puntos:100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, 0/100 em % de alcohol 92.9ºGL / % de aguardiente a 44.9ºGL. El punto de equilibrio de la curva entre disponibilidad energética y retorno económico fue el punto onde la proporción alcohol/ aguardiente fue de 60/40, onde las pérdidas de disponibilidad con relación la producción /consumo fueron de 28.32% y las pérdidas en términos de retorno económico fueron de 30.17%. Es conveniente citar que este punto es un punto genérico, así es necesario ser adaptado para cada situación conforme su sistema productivo y suya análisis de costos. Así, el sistema de producción conyugada alcohol /aguardiente se presenta como una alternativa energética y económica para las fincas, que necesitan tanto de un producto como alternativa de renta , como de una fonte energética para la propia finca.

PALABRAS CLAVE- Disponibilidad Energética; Alcohol; Aguardiente

ABSTRACT

The aim of this paper is to analyze the energetic availability in systems of rum/alcohol conjugated production, due to the great potential use of this process in micro distilleries that take place in the south of the Brazil towards the production of rum, but they can also be adapted to the production of alcohol combustible, aiming the energetic support of these properties. Hence, there is the need to accomplish an energetic balance on this kind of process. The aim of this balance is to find out an equilibrium point between energetic availability (consume/production relationship) and a greater economic profit. The balance was accomplished, analyzing the agricultural and industrial sectors, adapted to the south country production reality. In the agricultural sector energetic balance the necessary operations were done to obtain the raw material, taking into account its combustible consume (situation 1), mechanization level and energy consumed to the production of the equipment (situation 2), fertilizers, insumes and defensives (situation 3),in a system with manual harvest without the utilization of the sugar cane straw. In the industrial sector analysis, the electric power consume was considered, besides considering the bagasse burning as an energy consumed in the distillery process as well (situation 1). The energy spent with buildings and equipments was taken into consideration (situation 2), and process insumes (situation 3). Through the relation kcal/ ºGL, a relationship between alcoholic graduation and energy consumed was established. Nevertheless this value had a variation, according to the proportion alcohol/ rum, as well as the quantity of alcohol produced and excess of bagasse, in a curvature presenting the following points: 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, 0/100 in % alcohol 92.9º GL/ and % rum to 44.9º GL. The curvature equilibrium point between energetic availability and economic return was the one where the proportion alcohol/ rum was 60/40, where the availability losses in relation to production/ consume were 28.32% and the losses in terms of economic return were 30.17%. It is worth quoting that this is a generic point and should be adapted according to each different case according to its productive system and costs analysis. In short, the system of rum / alcohol conjugated production is now an energetic and economic alternative to the rural properties, which need both a product as a profit alternative, as an energetic source to the own property.

KEY WORDS- Energetic Availability; Alcohol, Rum

INTRODUCCIÓN

El presente estudio tién como objetivo principal analizar los balances energéticos en un sistema de producción conyugada alcohol/ aguardiente, con el intuito de encontrar el punto en que la disponibilidad energética y el rendimiento económico sejam equilibrados. Como existem en el sur del Brasil, várias unidades dirigidas para producción y procesamiento de la canã de azúcar en la forma de aguardiente, hay con esto un enorme potencial destas fincas gerarem su própria energía através de la producción de alcohol. Alcohol este, que poderá ser produzido através de la implantación de equipos anexos ou de adaptaciones en los destiladores utilizados, visando con esto, produzir tanto aguardiente quanto alcohol. Así, estas propiedades estariam a lo mismo tiempo gerando renta através de la producción del aguardiente, y energía através del alcohol, visando la suya sustentabilidad energética y económica. Para esta análisis fue efectuado este estudio con intuito de apuntar qual el punto en que estas variables entran en equilibrio**,** considerando la proporción de aguardiente y de alcohol produzido por tonelada de canã. Con esto, estas fincas deberan disponer de ferramientas para direcionar suya producción visando así su equilíbrio, adaptando un sistema general para cada situación. Así, fincas que presentam menor mecanización ou menor uso de insumos e fertilizantes externos conforme su sistema de cultivo, presentam también un menor consumo energético en su sector agrícola, ou fincas que utilizam el bagazo y la paja de la canã en su sector industrial presentam mayor disponibilidad energética neste sector. Por esto fue utilizado un balance genérico fundametado en publicaciones técnicas adaptadas para la realidad de producción del sur del país, considerando la energía consumida en el sector agrícola y en el sector industrial. Allende la energía gerada en el proceso, conforme

la proporción de producción en % de alcohol por % de aguardiente. La importancia deste estudio es proporcionar una manera ou una ferramienta para mejor utilización de energía nesta manera de producción, podiendo la miesma ser una buena opción energética para pequenãs propiedades rurales. Así, el alcohol produzido pode ser utilizado en motores de combustión interna movilizando vehículos ou mismo geradores eléctricos transformando la energía contenida en el alcohol em electricidad para utilización en la finca. Presentando así, una ótima opcíon energética principalmente para la pequenã propiedade rural que todavia no tiene energía eléctrica através de riedes públicas de transmición. Con esto, la análisis basada en un balance general es de grande importancia , aunque no dispensando la analísis individual para mejor ajuste de las proporciones de produccíon de alcohol y aguardiente, para cada finca con base en las suyas prácticas y proceso y su sistema de cultivo visando con esto, una mejor disponibilidad energética y económica para cada propiedade en particular. Así, será presentado en este trabajo la disponibilidad energética y económica de varias situaciones de produccíon, fundamentados en un miesmo balance, tiendo como variável la energía consumida y gerada en el proceso de destilación conforme la proporción alcohol/ aguardiente produzida en cada situación de proceso.

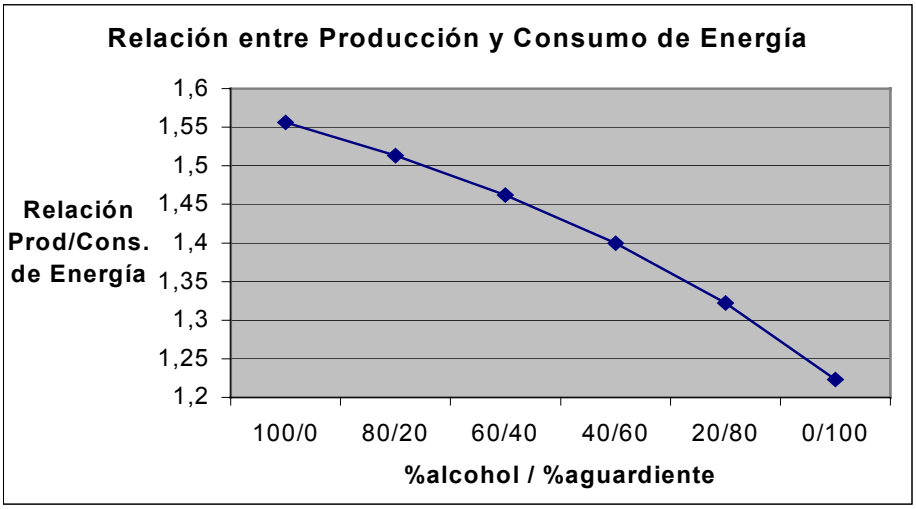
MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de encontrar el punto de equilibrio entre disponibilidad energética, (relación producción / consumo) y mayor rendimiento económico. Los balances energéticos fueram efectuados, analisando el sector agrícola y "industrial", adaptado a la realidad de producción del sur del país. En el balance energético del sector agrícola fueram analisadas las operaciones necesarias para obtención de materia prima considerando su consumo de combustible (situación 1), nivel de mecanización y energía consumida para la producción del equipo (situación2), insumos, fertilizantes y defensivos (situación3). Para la situacíon 1 (combustibles), los consumos de energia relacionados a lo combustible (diesel) podem ser computados en el valor energético del diesel (PCI = 9 235 kcal/l + 2 179 kcal/l para producción, transporte e procesamiento (situación 2) 11 414 kcal/l), conforme CTC(1985). Para la situación 3 fue considerada el valor energético de los fertilizantes y defensivos y suyas respectivas cantidades para 1 tonelada de canã, con base de cálculo en una producción de 60 toneladas de canã /ha ano. En la análisis del sector "'industrial", fue considerado el consumo de energía eléctrica externa, allende considerar como energía de consumo la energía consumida en la destilación através de la queima del bagazo(situación 1). Fue levado em consideración también la energía gasta con edificaciones y equipos (situación 2), energía consumida para la producción del equipo (situación 3) y insumos de proceso (situación 4). Fue estabelecida una relación entre graduación alcóholica y energía consumida. Através desta relación (kcal/ºGL), los valores quanto la disponibilidad energética y rendimiento económico correspondientes la proporción alcohol/aguardiente, así como la cantidad de alcohol produzido y bagazo excedente, fueram relacionados con los seguintes puntos: 100/0, 80/20, 60/40 40/60, 20/80 , 0/100 en % de alcohol 92.9ºgl / y % de aguardiente 44.9ºgl. La energía gerada fue calculada conforme el PCI del alcohol y del Bagazo que fueram respectivamente, 5952 Kcal/Kg de alcohol conforme Penido Filho (1981) y 1672.4Kcal/Kg de Bagazo conforme Mello.G (2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

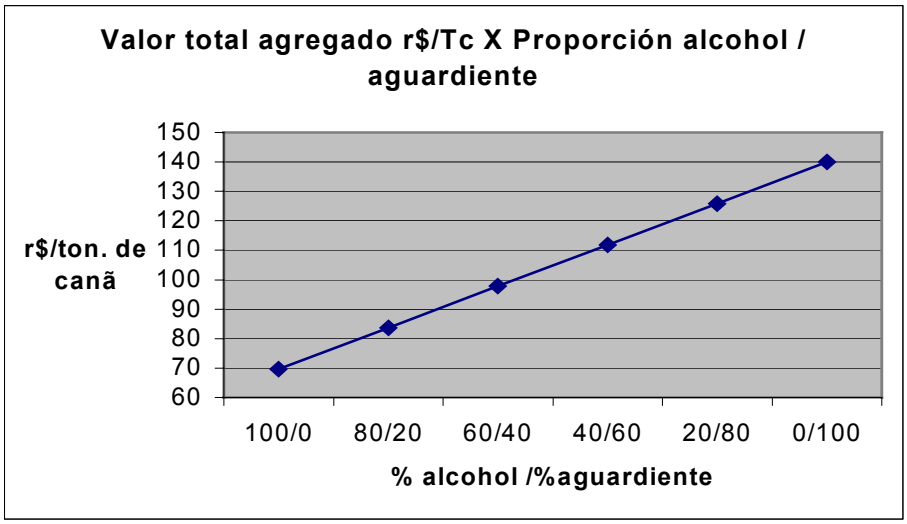
Conforme análisis de los resultados presentados se nota que cuanto mayor la disponibilidad energética, (relación producción de energía / insumo energético), menor el retorno económico, y el contrario también es verdadeiro. Para mejor análisis y discusión los resultados serán presentadas en gráficos separadamiente con sus valores retirados de balances energéticos respectivos, conforme la proporción alcohol/ aguardiente produzidos en cada situación.

GRÁFICO 1-Relación entre Producción y Consumo de Energía



En análisis se verifica la relación entre produccíon y consumo de energía en el sistema, así conforme la proporción de alcohol produzido pela proporción de aguardiente produzido se tiene una mayor ou menor cantidad de energía gerada en forma de alcohol e de energía consumida (insumos energéticos). Así, se verifica que cuanto mayor la producción de alcohol mayor la eficiencia entre la relación produción consumo, presentados en el grafico 1. Quando la producción de alcohol es zero la unica energía disponible es el bagazo excedente. (total de energía consumida con la queima del bagazo en la destilación menos la energía consumida con el total del bagazo produzido).

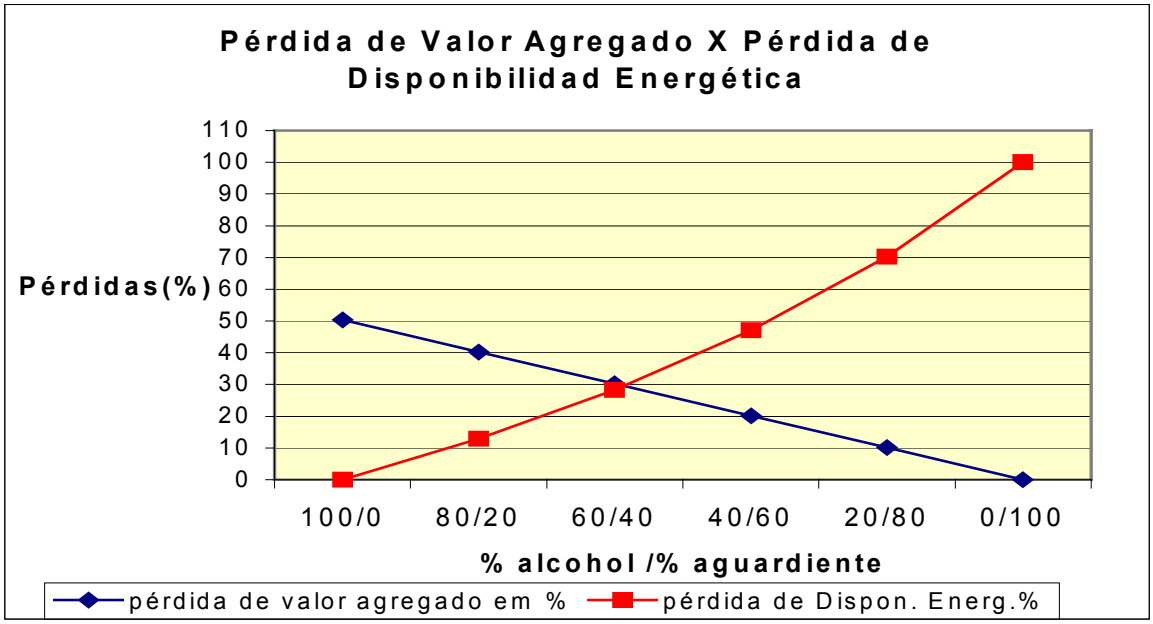
GRÁFICO 2- Valor agregado r$ /Tonelada de canã X Proporción alcohol/aguardiente



En análisis a el gráfico 2 se nota que los resultados de valor agregado varian en una reta proporcionales a la cantidad de aguardiente produzido. Así, como el precio del aguardiente es 75% superior a el precio del

alcohol ,quanto mayor la cantidad produzida mayor el valor agregado por tonelada de canã procesada. Como la curva de disponibilidad energética; relación produción / consumo es inversa a variación de retorno económico, es necesario encontrar el punto de equilibrio entre el rendimiento económico y disponibilidad energética.

GRÁFICO 3- Pérdida de Valor agregado X Pérdida de Disponibilidad Energética



En análisis, el gráfico 3 fue construído visando analisar las pérdidas de disponibilidad energética y valor agregado a lo producto, para haver posibilidad de análisis de el punto de equilibrio entre las pérdidas de las dos variables, visto que, para mejorar la disponibilidad hay pierdas en valor agregado y para aumentar el valor agregado hay pierdas en disponibilidad en el sistema. Así, el punto de equilibrio de la curva entre disponibilidad energética y retorno económico fue el punto onde la proporción alcohol/ aguardiente fue de 60/40, onde las pérdidas de disponibilidad con relación la produción /consumo fueram de 28.32% y las pérdidas en termos de retorno económico fueram de 30.17%. Es importante citar que este punto es un punto genérico debendo ser adaptado para cada caso conforme su sistema productivo y suya análisis de costos.

CONCLUSIONES

En analisis a los resultados obtenidos através de los respectivos balances demostrados en los gráficos 1,2 y3 se concluye que para que el sistema de producción conyugada alcohol/aguardiente presente un equilibrio entre disponibilidad energética (producción de energía / consumo de energía) y retorno económico en el sistema, la proporción a ser produzida de alcohol y aguardiente es de 60% de alcohol y 40% de aguardiente. Convién citar que esto resultado es genérico debendo ser adaptado para cada caso en particular conforme su sistema productivo ,su método de proceso, suya análisis de costos y suya necesidad principal. Esta manera de producción agro-industrial a lo mismo tiempo posibilita la obtención de un producto, como fuente de renta y una fuente de energía para la finca, sindo extremamiente ventajoso y interesante, principalmente para propiedades que no tién aceso a la energía eléctrica y que necessitam tanto de un producto como alternativa de renta , como de una fuente energética para la própia finca. Es importante citar que conforme la necessidad principal, la proporción de producción pode ser cambiada. Sin embargo, se hay una mayor necesidad de

produccíon de energía do que retorno económico, la proporción de producción de alcohol a ser produzida pode ser mayor, así como el contrário también es verdadeiro. Así, considerou-se un sistema trabajando con aproximadamente 70% de eficiencia tanto energética como economicamiente, com pérdidas de disponibilidad con relación la produciόm /consumo de 28.32% e las pérdidas de retorno económico de 30.17%. Así, se concluye que el sistema de produccíon conyugada alcohol /aguardiente se presenta como una alternativa energética y económica para propiedades rurales. Sin embargo, el alcohol produzido pode ser utilizado en motores de combustión movendo maquinas y equipos ou mismo geradores transformando la energía contenida en el alcohol en electricidad para utilización en la finca y el aguardiente utilizado como producto comercial proporcionando alternativa de renta para propiedades rurales. Presentando así, una ferramienta para el auxilio na sustentabilidad de los sistemas productivos agrícolas e agro-industriales de pequenõ porte.

REFERENCIAS

CTC .(1985),**Balanços energéticos da produção de álcool nas usinas da Copersucar**. BTC nº35/85, Centro de Tecnologia da Copersucar .

Mello,G.M.(2001), **Biomassa Energia dos trópicos em Minas Gerais**.Belo Horizonte, Edit. UFMG, 268 p

Penido Filho, P.(1981),**O álcool combustível , obtenção e aplicação nos motores.** São Paulo, Livraria Nobel, 265p.

CONFIGURACIONES CIRCUITALES ÓPTIMAS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA OPTIMAL CIRCUITS CONFIGURATIONS IN THE SUGAR CANE MILLS

Autores (Authors):
Dr. Juan José Sánchez Jiménez
Universidad de Guadalajara
cheosj@yahoo.com
Mtro. José Salvador Beltrán León
Universidad de Guadalajara
beltran7@prodigy.net.mx
Dr. José Antonio Gómez Reyna
Universidad de Guadalajara
gomezrey@yahoo.com
Ing. José Antonio González Jiménez
Ministerio del Azúcar Provincial
Villa Clara, Cuba
Dr. Alexis Martínez del Sol
Universidad de Guadalajara
alexismds@hotmail.com
Dr. Mariano David Zerquera Izquierdo
Universidad de Guadalajara
mariano_zerquera_izquierdo@hotmail.com
Ing. Eduardo Calderón Reynoso
Universidad de Guadalajara
ecalderon@ccip.udg.mx
Dr. Juan Marcos García Martínez
Universidad de Guadalajara
jgarcia@hotmail.com

Abstract.
Among the main problems in the industrial electric circuit design figures the selection of the industrial electric distribution, where the radial and masterful circuits are the principal place. The work was developed in several Cubans sugar mills of different capacities and circuital configurations, to which it was designed its circuit using the radial and masterful configurations. The technician-economic analysis allowed arriving to interesting conclusions that can use as sample in the design of the electric facilities of industrial plants. Several empiric equations of helpfully to design the develop one by this investigation. The empiric equations constitute a work-tool for all personnel dedicated to the industrial electric design.

Resumen.
Entre los principales problemas en el diseño de circuitos eléctricos industriales figura la selección de su circuito de distribución donde los circuitos radiales y magistrales ocupan un lugar cimero. El trabajo se desarrolló en varios centrales azucareros de capacidades y configuraciones circuitales diferentes a los cuales se les diseño su circuito utilizando las configuraciones radial y magistral. El análisis técnico-económico realizado permitió arribar a interesantes conclusiones que pueden servir de guía en el diseño de las instalaciones eléctricas de plantas industriales. Varias ecuaciones empíricas, de gran utilidad práctica en el diseño, son desarrolladas en el presente trabajo las que por su contenido constituyen una herramienta de trabajo para todo el personal dedicado al diseño eléctrico industrial.

Introducción.
Entre los esquemas de alimentación eléctrica más utilizadas en sistemas industriales figuran el ***"radial"*** y el ***"magistral"*** *(ver figuras 1 y 2)*. Se denominan ***radiales*** a los esquemas en que la energía eléctrica se trasmite desde la fuente de alimentación *(planta eléctrica, subestación o punto de distribución)* directamente hacia la subestación del taller, sin ramificaciones en el trayecto para la alimentación de otros consumidores. De lo dicho se desprende que tales esquemas han de poseer una gran cantidad de equipos de interrupción y de líneas alimentadoras, a diferencia de los circuitos ***magistrales*** en los cuales desde una misma línea se alimentan *5* o *6* subestaciones con una potencia global de los consumidores no mayor de *5000-6000 kVA*, caracterizándose por la ***poca fiabilidad*** de la alimentación en el caso de utilizar como líneas de alimentación conductores o cables, pero dan la posibilidad de disminuir el número de aparatos desconectivos y líneas de alimentación en comparación con los circuitos radiales. En aquellos casos en que resulta necesario ***conservar las ventajas de los esquemas radiales*** y garantizar una elevada fiabilidad de la alimentación se tiende al empleo de las ***blindo barras*** o a la utilización de ***magistrales dobles***. En este último esquema, ante la avería de cualquiera de las alimentaciones magistrales, la alimentación se

garantiza por el segundo magistral a través de la transferencia automática de los receptores a la sección de la barra o alimentador que permanece en operación. En la práctica de empresas industriales, raramente se encuentran esquemas construidos sobre la base del principio de magistral independiente, ***alimentando los grandes consumidores con esquemas radiales*** y ***los consumidores medianos y pequeños se agrupan y su alimentación se proyecta como magistral.*** Tal solución permite crear un sistema de suministro eléctrico interno con los mejores índices técnico-económicos. El presente trabajo tiene como objetivo central dar algunos criterios que permiten decidir sobre los casos en que resulta conveniente la utilización de una u otra configuración circuital.

Desarrollo.

Para hacer esta comparación fue necesario evaluar una gran cantidad de circuitos de talleres pertenecientes a diferentes centrales azucareros de la industria cubana [6, 10, 11, 16] y mexicana y realizar el *análisis económico* tanto para la configuración radial como magistral. Para ello se contó con la valiosa colaboración de destacados especialistas de la producción y los servicios con una gran experiencia y amplios conocimientos del proceso en cada una de las fábricas analizadas los que contribuyeron a mantener los *requisitos técnicos exigidos por el proceso* en ambas variantes de diseño. Lo anterior permitió hacer una valoración lo más equitativa posible.

A modo de ejemplo puede citarse el Central Azucarero 10 de Octubre[6, 16] ubicado en Cuba el que posee un circuito radial puro con un sistema de control centralizado en las pizarras de distribución (arrancadores, bloqueos, señalizaciones, contactores magnéticos, etc.).

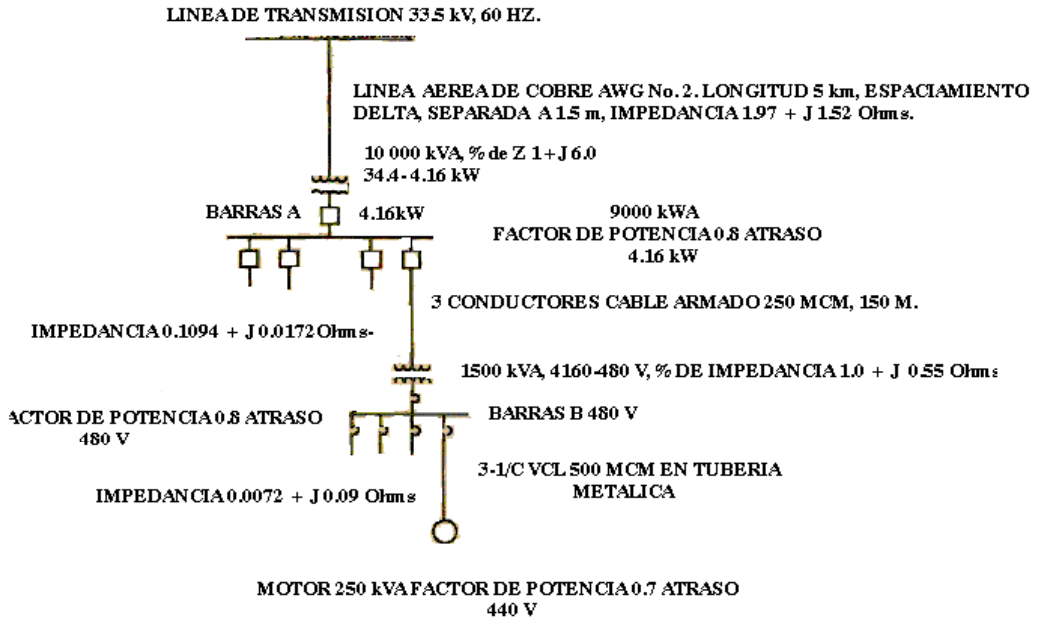


Fig. 1: Esquema eléctrico de un circuito radial.

Para la comparación entre las configuraciones radial y magistral fueron seleccionados los siguientes centrales azucareros:

1. *Centrales Azucareros "Hermanos Amejeiras"[10, 16] y "10 de Octubre" [6, 16] en la provincia de Villa Clara.*
2. *Central Azucarero Uruguay, ubicado en el municipio de Jatibonico [16], provincia de Sancti Spiritus..*
3. *Central Azucarero Héctor Molina[11, 16], ubicada en la provincia Ciudad Habana.*
4. *Central Azucarero José Ma. Martínez [16], Bellavista [16] y Ameca [16] ubicados en Jalisco, México.*

Como se observa la muestra resulta bastante significativa; pues abarca ingenios cuyas capacidades de molida son diferentes, al igual que la distribución de cargas, grado de

concentración de la misma, etc. A modo de ejemplificación se tomó una de ellas, el central azucarero ***"10 de Octubre"*** no obstante se tabularon los resultados de los restantes.

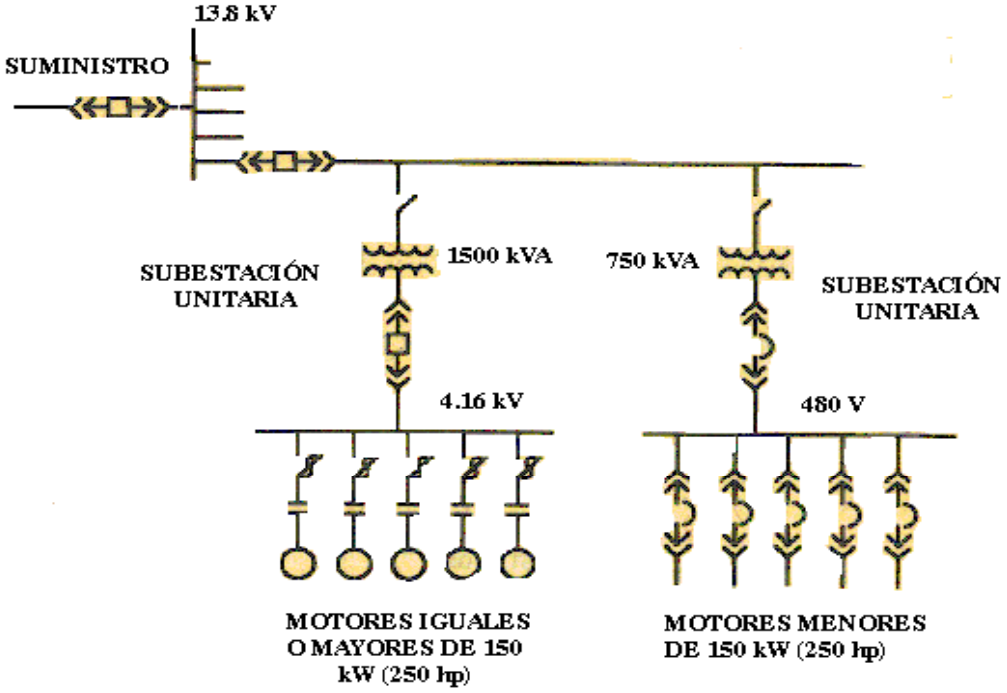


Fig. 2: Esquema eléctrico de un circuito magistral.

Una vez seleccionadas los centrales azucareros, se procedió a realizar un ***análisis técnico-económico*** del circuito existente en los mismos. Se rediseñaron los diferentes ingenios para configuraciones *radiales y magistrales puras*, manteniendo los ***índices técnicos similares*** para las mismas y se procedió a su ***evaluación económica***, para ello, se utilizó el Método de los *Gastos Anuales Referidos [4, 5, 16, 17]* vigentes en el país. *(Se verificaron los resultados utilizando el Método del Valor Actual Neto (VAN), si se hubieran aplicado los Métodos del Valor Presente de los Gastos Netos (VPGN), o la Tasa Interna de Retorno (TIR)[16, 17], se hubieran obtenido resultados similares).*

Resulta interesante destacar que para la determinación de las pérdidas de energía ocurridas durante la explotación de la instalación industrial se utilizó la ecuación siguiente[4, 5, 16]:

$$\Delta E = 3Kf^2 \operatorname{Im}^2 \operatorname{Re} Tc \qquad (1)$$

donde:

- Kf : Coeficiente de forma determinado a partir del gráfico de carga.
- Tc : número de *horas* de trabajo en el período de cálculo.
- *Im*: Corriente media de la línea durante los días característicos, *Amperes*
- *Re*: Resistencia equivalente de la línea, *Ω.*
- ΔE : Pérdidas de energía del alimentador durante las horas de trabajo, *kW-h.*

- Kf : Coeficiente de forma determinado a partir del gráfico de carga.
- Tc : número de *horas* de trabajo en el período de cálculo.
- *Im*: Corriente media de la línea durante los días característicos, *Amperes*
- *Re*: Resistencia equivalente de la línea, *Ω.*
- ΔE : Pérdidas de energía del alimentador durante las horas de trabajo, *kW-h.*

La resistencia o reactancia equivalente (*Re*, *Xe*) de la línea se define como aquella resistencia o reactancia de una línea imaginaria no ramificada, cuya corriente es igual a la corriente de la sección troncal y

las pérdidas de energía eléctrica iguales a las pérdidas del circuito. Para el caso de una barra magistral como la mostrada en la *figura 3*:

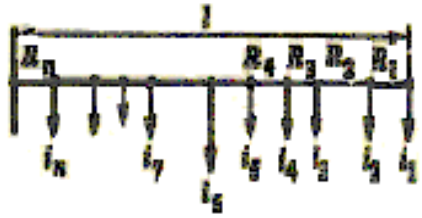


Fig. 3: Esquema de un circuito magistral.

Las ecuaciones para determinar *Re* y *Xe*, sin considerar las ramificaciones vienen dadas por las ecuaciones siguientes [4, 5, 16, 18, 19]:

$$\mathrm{Re} = r_o l(\tfrac{1}{6})(1+\tfrac{1}{n})(2+\tfrac{1}{n}) \qquad (2)$$

y la

$$Xe = x_o l(\tfrac{1}{6})(1+\tfrac{1}{n})(2+\tfrac{1}{n}) \qquad (3)$$

donde

- n: número de receptores conectados a las barras,
- r_o y x_o : resistencia y reactancia por metro de longitud de la línea, Ω
- l : longitud de la línea, *metros*

Esta ecuación empírica fue corroborada durante cálculos realizados en el Combinado de Papeles Blancos *"Panchito Gómez Toro"*, para ello se calculó las pérdidas por tramos tanto de potencia activa como reactiva y las pérdidas utilizando la *Re* y la *Xe* obtenidas de las *ecuaciones 2 y 3*, arribando a resultados similares. Con la utilización de estas ecuaciones de *Re* y *Xe* se simplifican mucho los cálculos.

En la *figura 4* se muestran diferentes elementos de barras magistrales. En ella se observa la fiabilidad de las mismas, así como, lo fácil que resulta el montaje con este tipo de canalización [7, 8, 18, 19].

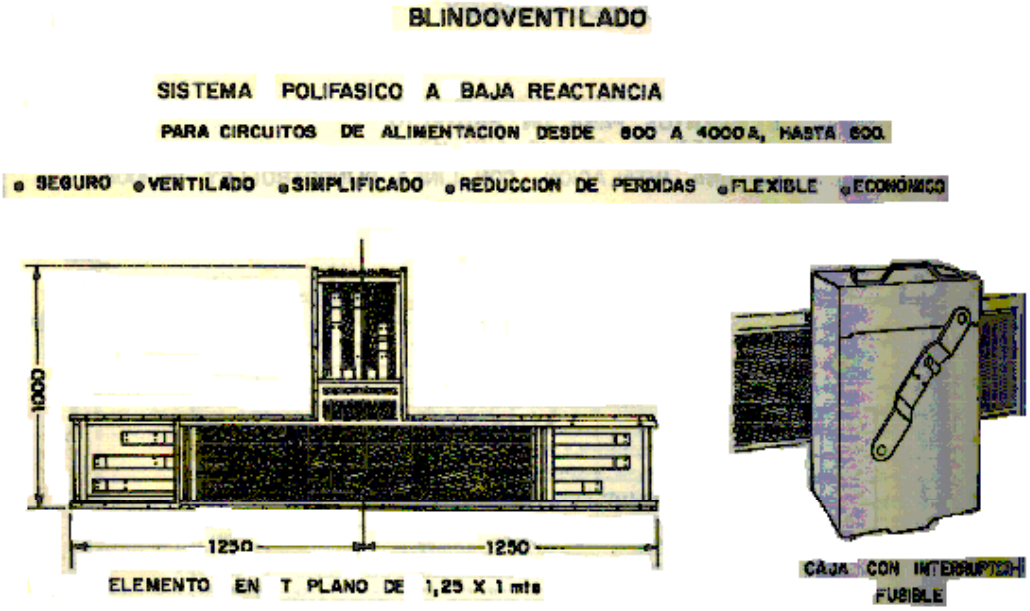


Fig. 4a: Esquema de una sección de barras magistrales.

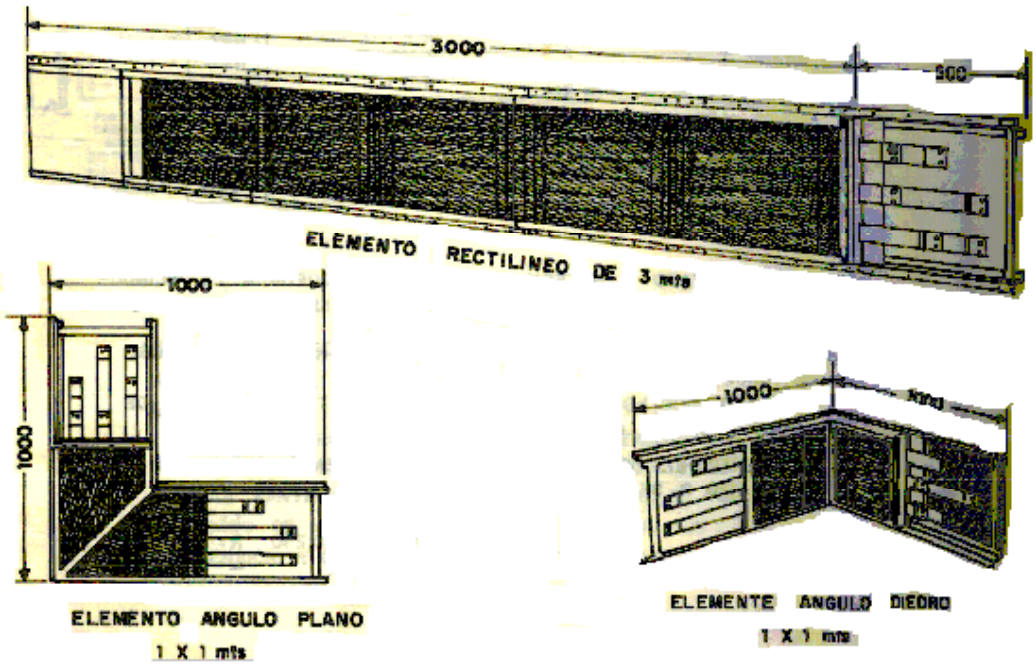


Fig. 4b: Esquema de una sección de barras magistrales.

En la *figura 5* aparece una vista de planta de una industria utilizando una configuración magistral, mientras que en la *figura 6* y *7* aparece un esquema de ambas configuraciones (radial y magistral) utilizadas para alimentar los mismos receptores de un determinado taller [8, 16]. En ellas se observa la simplicidad, facilidad de operación, así como el ahorro en interruptores y material no ferroso de la configuración magistral en comparación con la radial.

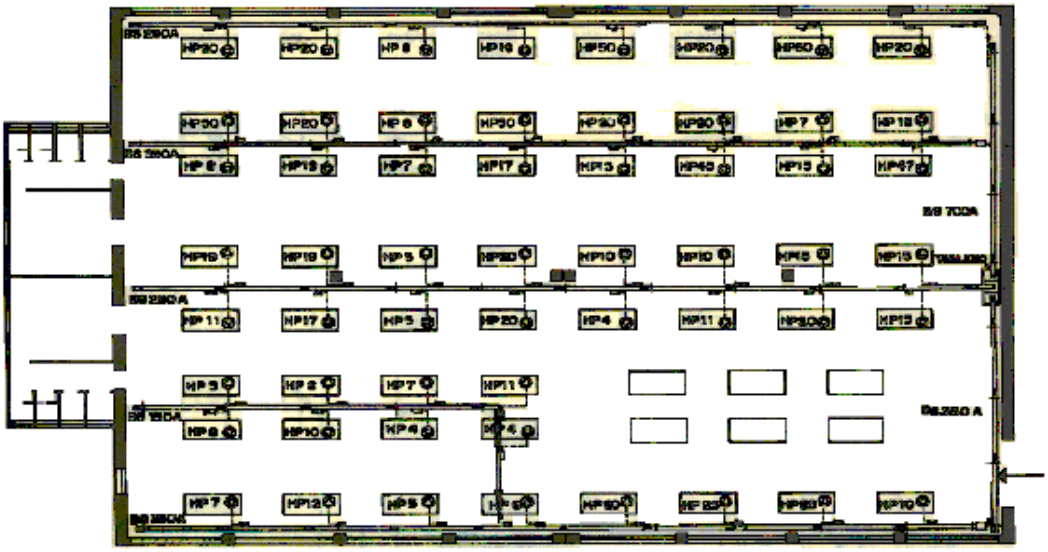


Fig. 5: Vista de planta de un circuito magistral (blindobarras).

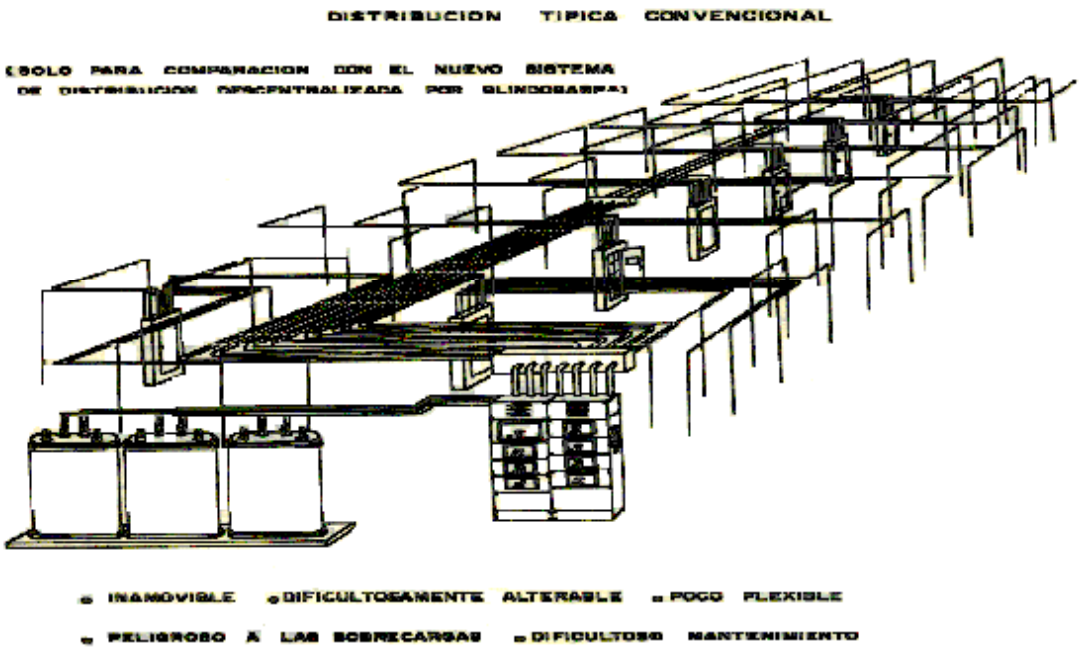


Figura 6: Vista de un circuito radial en un taller de maquinado.

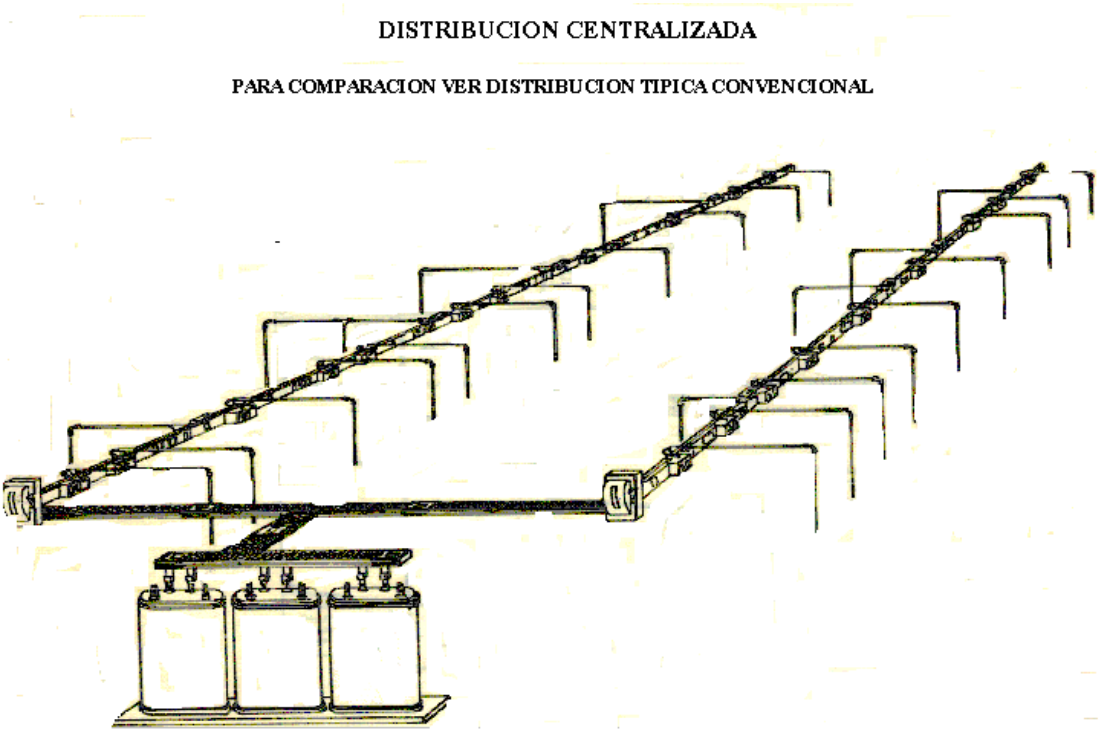


Fig. 7: Vista de un circuito magistral en un taller de maquinado.

Comparación de los circuitos radiales y magistrales en el central azucarero "10 de octubre".[2, 3, 12, 15]

Como regla general los centrales azucareros alimentan sus receptores del Sistema Electroenergético Nacional (*SEN*) solamente durante la puesta en marcha, o en el caso de presentar problemas la planta generadora de vapor, por lo que su esquema eléctrico debe presentar gran operatividad, es decir, permitir el

traslado de cargas desde la generación propia al SEN y viceversa. Todo lo antes expuesto conllevó a que, en el caso del circuito magistral y para poder cumplir dichos requisitos *(incluyendo su trabajo sincronizado)* se analizaran cuatro variantes de alimentación. Ellas fueron (ver *tabla I*)[1, 8, 9, 16, 17, 18, 19]:

- La utilización de una sola barra de distribución, como primera solución al problema, variante tal que podía ser utilizada en el caso de estar sincronizado el central con la red nacional.

Las demás variantes (aplicables también al caso anterior), fueron:

- Alimentación con dos barras independientes. Alimentación con tres barras independientes.
- Alimentación con cuatro barras independientes.

Tabla I: Evaluación de las configuraciones circuitales en varios centrales azucareros.

Centrales Azucareros	***Circuito Radial (dlls. / año)***	***Circuito magistral***		***VAN*** *(15% interés)*	***Tipo de Carga***
		Barras (dlls. / año)	***cables (dlls. / año)***		
Central Hermanos Amejeiras					
• *Radial*	*22 311.00*			*17 865.00*	
• *Magistral 3B*		*27 855.00*		*13 435.00*	*dist.*
• *Magistral 4B*		*28 500.00*	*6 786.00*	*10 270.00*	
Central 10 de Octubre					
• *Radial*	*18 480.00*			*14 750.00*	
• *Magistral 1B*		*33 880.00*		*12 210.00*	
• *Magistral 2B*		*38 730.00*		*10 475.00*	*dist.*
• *Magistral 3B*		*39 100.00*		*7 750.00*	
• *Magistral 4B*		*39 350.00*	*8 100.00*	*4 150.00*	
Central Carbó Servía					
• *Radial*	*23 410.00*			*17 850.00*	
• Magistral 3B		*31 840.00*		*13 920.00*	*dist.*
• Magistral 4B		*37 720.00*	*9 500.00*	*11 475.00*	
Central Héctor Molina					
• *Radial*	*35 410.00*			*33 840.00*	
• Magistral 3B		*55 850.00*		*27 770.00*	*dist.*
• Magistral 4B		*63 210.00*	*15 755.00*	*23 110.00*	
Central Uruguay					
• *Radial*	*47 780.00*			*53 470.00*	
• Magistral 3B		*68 710.00*		*55 910.00*	*dist.*
• Magistral 4B		*81 217.00*	*21 480.00*	*63 320.00*	
Central "José M. Mtz"*(Tala)*					
• *Radial*	*45 680.00*			*50 210.00*	
• Magistral 3B		*62 530.00*		*52 840.00*	*dist.*
• Magistral 4B		*71 640.00*	*19 534.00*	*58 790.00*	
Central "Bellavista"					
• *Radial*	*33 960.00*			*31 365.00*	
• Magistral 3B		*52 650.00*		*26 000.00*	*dist.*
• Magistral 4B		*60 450.00*	*14 900.00*	*19 990.00*	
Central "Ameca"					
• *Radial*	*16 750.00*			*13 050.00*	
• Magistral 3B		*37 220.00*		*7 220.00*	*dist.*
• Magistral 4B		*36 990.00*	*7 850.00*	*3 950.00*	

Con estas últimas variantes se buscaba el incremento de operatividad

Otra característica de los centrales azucareros es el grado de fiabilidad que debe poseer el esquema, sobre todo, en los casos de receptores de primera categoría, como son: los cristalizadores, las bombas de alimentar calderas, etc. El tomar en consideración la distribución de los receptores dentro del territorio industrial hace que este tipo de fábrica pueda catalogarse como una industria con carga distribuida.

Otro de los aspectos considerados en el diseño son las características específicas del ingenio dentro de las que figuran:

- Configuración en cuanto a distribución de las áreas productivas dentro del central; ya que, en dependencia de ello, se efectuará la distribución de los receptores.
- Ubicación de la planta eléctrica dentro del área productiva.
- Posible recorrido de los alimentadores principales desde la planta eléctrica hasta los diferentes receptores de energía.

Conclusiones.

Del análisis de los catálogos de precios utilizados para realizar la evaluación económica de las variantes circuitales se puede concluir lo siguiente:

1. El precio del equipamiento eléctrico [1, 8, 9, 13, 14] en sistemas inferiores a 1000V no depende del voltaje. Dicho en otras palabras: un mismo equipo con iguales características técnicas tiene igual precio a diferentes voltajes.
2. Los motores de 1800 rev/min, son los más baratos que se fabrican a la frecuencia de 60 Hz.
3. Los dispositivos de protección y gobierno mantienen igual precio dentro de un rango dado; pues dentro del mismo solo cambia la bobina de disparo o de control y se mantienen constantes las demás partes componentes del dispositivo.
4. Los precios varían de acuerdo con el fabricante para equipos con iguales características técnicas.

Del análisis técnico se desprenden las siguientes conclusiones:

1. El empleo de las blindobarras eleva la fiabilidad de los circuitos magistrales, disminuyen las pérdidas y caídas de voltaje así como los gastos de montaje, mantenimiento y explotación.
2. Los circuitos magistrales a cable resultan mucho más baratos que los radiales. Con el empleo de las blindo barras su costo puede igualarse e incluso superar al del radial. Ello se debe al precio de las blindo barras en el mercado.
3. La elección de uno u otro tipo de esquema eléctrico depende, fundamentalmente, del proceso de producción y del grado de concentración de las cargas existentes en la industria.
4. Cuando la flexibilidad es el factor determinante se prefiere el circuito magistral y cuando lo es la fiabilidad se prefiere el radial.
5. Las *ecuaciones 2 y 3* simplifican los cálculos en los circuitos magistrales

Recomendaciones.

No se recomienda en este trabajo el uso de uno u otro circuito; pero se ofrecen datos y aspectos que poseen un peso considerable en el momento de tomar una decisión al respecto.

Bibliografía.

1. Comité Estatal de precios. (1990), Lista de costos presupuestarios uniformes. Montaje de equipos eléctricos. SPUC. Ministerio de la construcción. Tomos I y II. Cuba.
2. Comisión Nacional de Energía de Cuba. (1992), Inspección estatal de energía. Cálculos rápidos. Cuba.
3. Diggest Square D Company. (1987), Electrical and advanced technology products. International edition. Diggest 166.
4. Feodorov, A. (1995), Fundamentos del suministro eléctrico de empresas industriales. M. Energía. Moscú.
5. Feodorov, A., Rodríguez E. (1990), Suministro Eléctrico Industrial. Ediciones Revolucionarias. Cuba.
6. Francia, P. (1992), Determinación de las pérdidas eléctricas en un central azucarero. Trabajo de diploma. Universidad Central de las Villas. Cuba.
7. García, J. (1994), Cálculo de conductores para circuitos de fuerza trifásicos. Técnica popular. Volumen 10. No. 6. Cuba. pp 44-48.
8. Gedisa Distribuidora S.A. (1994), Motores, tableros y accesorios eléctricos. Caracas.

9. General Electric Co. (1997), Catálogo General de Motores.
10. Gómez, E., Chapur J. (1990), Circuitos radiales y magistrales y su comparación en la industria azucarera cubana. Trabajo de diploma. Universidad Central de las Villas. Cuba.
11. González, A. (1998), Utilización de los circuitos magistrales en los centrales azucareros. Delegación Provincial del Ministerio de la Industria Azucarera Cubana. Villa Clara. Cuba.
12. Knowlton, A. (1990), Manual Standart del Ingeniero Electricista. Ed. Mc Graw-Hill, Tomo II, pp 2852.México.
13. Ministerio de la industria básica cubana. (1997), Catálogos de precios fundamentales. La Habana.
14. Ministerio del Trabajo. (1996), Calificador de ocupaciones comunes de los obreros. La Habana.
15. Mokey, M. (1992), Economía de la energética. Editorial Pueblo y Revolución. Cuba.
16. Sánchez Jiménez, Juan J. (1990), Voltaje racional en niveles inferiores a 1000 Volts en las industrias cubanas. Tesis para optar por el grado de doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central de las Villas. Cuba.
17. Sánchez J., Martínez, A. Beltrán, J. (2003), Estadística y Fundamentos de la Investigación Científica. Ed. Amate. México.
18. Sánchez J., Martínez, A. Beltrán, J. (2003), Con figuraciones circuitales industriales Parte I Estudios. XI Simposio de Ingeniería Eléctrica (SIE-2003), Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba.
19. Sánchez J., Martínez, A. Beltrán, J. (2003), Con figuraciones circuitales industriales Parte II Aplicaciones. XI Simposio de Ingeniería Eléctrica (SIE-2003), Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba.

Autores.

Dr. Juan José Sánchez Jiménez. Nació en Placetas, Cuba en 1942. Recibió el grado de Doctor en Ciencias Técnicas en la Universidad Central de Las Villas, Cuba en 1992. Trabajó en dicha universidad ininterrumpidamente desde el año de 1959 hasta el 2001 en que comienza a laborar en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara donde labora actualmente. Fue miembro del Consejo Científico y miembro permanente del Tribunal Nacional de categorías Científicas de la República de Cuba en la especialidad de Electroenergética. Su área de investigación es el diseño, explotación y protección de sistemas eléctricos industriales y el ahorro de energía.

Dr. Alexis Martínez del Sol. Nació en Cienfuegos, Cuba. Recibió el grado de Doctor en Ciencias Técnicas en la Universidad Central de Las Villas, Cuba en 1997. Desde 1999 trabaja como Profesor Investigador Titular C del Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad de Guadalajara. Su área de investigación es el control, diseño y protección de motores eléctricos.

Mtro. José Salvador Beltrán León. Nació en 1956 en la ciudad de Guadalajara, México. Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista emitido por la Universidad de Guadalajara. En 1982 laboró como Ingeniero de Proyectos en la Planta San Cristóbal y en el Complejo Zacapu de la empresa Celanese Mexicana, S. A. de 1989 a 2001 fue Jefe de Conservación en el Hospital General de Occidente de la S.S. A. y desde 1977 es Profesor Titular de la Preparatoria No. 2 en el Sistema de Educación Media Superior de la misma U de G. Recientemente obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la misma universidad.

Dr. Mariano D. Zerquera Izquierdo. Nació en Trinidad, Cuba en 1944. Recibió el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Central de Las Villas, Cuba en el año de 1984. Entre 1969 y 1999 trabajó en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la misma universidad donde fue Profesor Titular, Jefe del Departamento de Electroenergética entre 1972 y 1992, Vicedecano docente entre 1992 y 1994 y Jefe de la Carrera de Ingeniería Eléctrica entre 1994 y 1999. Fue miembro del Consejo Científico de la Universidad Central de Las Villas y del Tribunal Permanente de Grados Científicos de la República de Cuba en la especialidad de Electroenergética. Desde 1999 trabaja como Profesor Titular C del Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica

de la Universidad de Guadalajara. Su área de investigación es el diseño, explotación y protección de motores eléctricos.

Dr. José Antonio Gómez Reyna. Obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista emitido por la Universidad de Guadalajara en 1981, el grado de Maestro en Ingeniería de Proyectos en 1995 y recientemente obtuvo el grado de Doctor en Ciencia y Tecnología en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara.

Ing. Eduardo Calderón Reynoso. Ocupó el cargo de Secretario Académico del Centro de Ciencias Exactas e Ingenierías y la Secretaría del Colegio de Ingenieros Mecánicos Electricistas de Guadalajara. Actualmente es Jefe del Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías adscrito a la Universidad de Guadalajara.

UN SISTEMA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LAS PRODUCCIONES INTEGRADAS DE AZÚCAR Y ALCOHOL.

A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ANALYSIS OF SUGAR AND ALCOHOL INTEGRATED PRODUCTION.

Autores: *Rafael Hurtado, Raúl Sabadí, Mauricio Ribas, Carlos de Armas, Manuel Díaz, Norge Garrido, Fidel Doménech, **Agustín Escamilla

* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
P. O. Box 4026, Habana 10400, Cuba. Fax: 53-7-988243. e-mail: rhurtado@icidca.edu.cu.

** Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ), Querétaro, México.

RESUMEN

Durante los últimos años los precios del azúcar han estado disminuyendo en el mercado mundial y parece que esta situación no cambiará. Bajo esta condición, la industria de los derivados de la caña de azúcar juega un papel importante en la economía nacional de países productores. Entre estos productos, la producción de alcohol es uno de los más importantes debido a sus usos para los propósitos de energía.

En este trabajo se describe la herramienta del software SANPAD© como un sistema de apoyo a la toma de decisiones en el análisis integrado de producciones de azúcar y alcohol. Se construyó un modelo de programación matemática de naturaleza no lineal basado en los balances de materiales y energía así como algunas restricciones tecnológicas propias de la industria. El mismo permite estudiar diferentes estrategias de producción en la fábrica de azúcar así como varias combinaciones de materiales crudos para la destilería. Para resolver el modelo se utilizó un método numérico basado en la programación cuadrática secuencial (SQP). La función objetivo consiste en maximizar las ganancias de las producciones integradas del complejo.

En el trabajo se desarrolla un caso de estudio y los resultados del mismo muestran cómo esta herramienta pudiera usarse por los gerentes por seleccionar las mejores alternativas que tienen en cuenta los requisitos del mercado.

ABSTRACT

During last years sugar prices have been decreasing in the world market and it seems this situation will not change. Under this condition, the sugar cane by-products industry plays an important role in the national economy of producer countries. Among these by-products, alcohol production is one of the most important due to its uses for energy purposes. In this paper the software tool SANPAD© is described. It is a decision support system for analysis of sugar and alcohol integrated production. The non linear mathematical model is generated based on user definitions and solved by a sequential quadratic programming algorithm (SQP). This model includes as constraints the material and energy balances, as well as other technological definitions. Different production strategies can be studied in the sugar factory as well as several combinations of raw materials for the distillery. The objective function is the maximization of profits of the integrated production complex. A case study is used for presentation of the software. The results of this case study shows how this tool could be used for managers for selecting the best alternatives taking into account the requirements of the market.

Palabras Claves: software, derivados, azúcar, modelación matemática, destilería.

Keywords: software, derivatives, sugar, mathematical modelling, distillery.

1. Introducción

La agroindustria de la caña de azúcar muestra hoy posibilidades de producciones combinadas que van mucho más allá de la producción única de azúcar. Así, hoy se producen de forma integrada diferentes combinaciones de azúcar, alcohol, mieles, bagazo, energía eléctrica, alimento animal, papel, furfural y otros. La combinación de estas producciones está regida por la economía de su integración, tanto desde puntos de vista de la explotación de una industria establecida, como desde puntos de vista del análisis de nuevas inversiones. En cualquiera de ambos casos se presentan siempre muchas posibilidades que requieren de un análisis técnico-económico, que permita en la etapa de estudio de factibilidad económica, determinar como se adaptan los flujos de materiales a las instalaciones existentes o qué modificaciones en las capacidades existentes es necesario realizar para alcanzar las producciones finales deseadas.

El Ministerio del Azúcar, desde el año 1998, ha venido trabajando en un cambio de estrategia de trabajo en los Complejos Agroindustriales Azucareros debido al controvertido mercado azucarero internacional, enfatizando en la búsqueda de soluciones para el incremento de la rentabilidad de la industria en su totalidad. En este sentido, trabajar por la diversificación de la industria ocupa un papel cimero en alcanzar los propósitos establecidos. De aquí que, numerosos son los Complejos Azucareros (CAI) que han venido aplicando medidas para elevar la disponibilidad de caña, incrementar la eficiencia agrícola con el uso de los mejores suelos y lograr más altos rendimientos agrícolas, así como impulsar la diversificación de la industria ya no solo en aquellos renglones denominados como tradicionales sino, también con la producción de nuevos productos que incluyen otras formas azucaradas factibles de ser introducidas en el mercado nacional e internacional a precios competitivos.

La estrategia a seguir depende por entero de la inteligencia y posibilidades locales para implementar la ejecución de inversiones o recuperación de las realizadas, así como alcanzar las capacidades productivas de diseño o simplemente reactivar las producciones según el alcance de mercado. Esta forma administrativa, claro está, determina mayores exigencias administrativas y labores en las cuales los CAIs no poseen mayor agilidad en la adecuación del CAI a los cambios del mercado, para lo cual, el contar con una herramienta que evalúe las posibilidades productivas con nuevas miras comerciales resulta de una gran utilidad.

El sistema de análisis de esquemas integrados de producción de azúcar y derivados (SANPAD) no sólo permite realizar esta tarea, sino que permite realizarla de forma tal que los cálculos se hagan sobre la base de optimizar la estrategia de producción deseada. Para ello, el modelo que conforma los balances de masa y energía, las relaciones tecnológicas entre flujos y variables, las acotaciones que le imponen las capacidades de operación a equipos y otras, se resuelve mediante técnicas de optimización no lineal.

Esta técnica de optimización, puede enfocarse, aunque siempre con un trasfondo económico, hacia una forma de operación o adaptación a condiciones locales y/o temporales, como puede ser la operación de una fábrica de tal forma que se produzca una cantidad fija de azúcar y se produzca un máximo de alcohol o a buscar un máximo de una producción dada. Para ello se aprovechan las ventajas de la optimización, de resolver un modelo conformado por restricciones (ecuaciones + inecuaciones) lineales y no lineales sobre la base de optimizar criterios fijados mediante la función objetivo que se establezca.

El uso de herramientas de optimización es aceptado regularmente en la solución de diferentes modelos que aparecen en la economía y su aplicación a la solución de modelos de balances de masa y energía asociados a relaciones tecnológicas y acotaciones sobre los flujos debido a las capacidades del equipamiento ha sido desarrollado por el ICIDCA desde principios de la década del 70 con resultados satisfactorios en otras aplicaciones de cómputo, entre las que destacan SIMFAD, DAFLEX y PLANAZUCAR, implementadas sobre lenguaje de programación de alto nivel con vistas a lograr una interfase de trabajo amigable para usuarios especializados, con una elevada fiabilidad y rapidez en su forma operacional posibilitando una estructura de simulación del proceso azucarero y su integración con la industria alcoholera, con un relativamente bajo nivel de complejidad técnica.

2. Modelo matemático

2.1 Area de Molienda

El modelo permite ejecutar los balances de masa y analizar la influencia de las extracciones de jugo. Es resuelto mediante un sistema de ecuaciones sujetas a un conjunto de restricciones y dirigidas a un objetivo particular, satisfacer el balance global de sólidos o brix del sistema. Este balance cumple que:

$$S_e = \sum S_{si} \qquad 2.1$$

donde:

$$S_e = J_{cb}.B_{jc} \qquad 2.2$$

$$J_{cb} = M.\frac{(100 - F_c)}{100} \qquad 2.3$$

$$B_{jc} = \frac{B_c}{(100 - F_c)} \qquad 2.4$$

Ahora bien, los sólidos a la salida serán iguales a la sumatoria de los sólidos presentes en el jugo mezclado, los extraídos en cada molino con extracción si la posee y los presentes en el colchón de bagazo a la salida del último molino.

$$S_s = \sum_{i=i} J_m.B_{jm} + J_{ei}.B_{jei} + J_{cb}.B_{jcb} \qquad 2.5$$

El balance total de jugos en el tandem puede ser expresado como:

$$Jte = Jts \qquad 2.6$$

$$Jte = Jcb + \sum A_i \qquad 2.7$$

$$Jts = Jm + \sum Je_i + Jcb_5 \qquad 2.8$$

En el molino i entra un colchón de bagazo Cb_i con una cierta cantidad de jugo en el bagazo Jb_i y el jugo procedente del molino i+1 (J_{i+1}). También podrá entrar una cierta cantidad de agua de imbibición A_i cuya magnitud dependerá de la cantidad de jugo extraído en dicho molino $Je_{1.}$. Del molino i sale el colchón de bagazo Cb_{i+1} con una cierta cantidad de jugo retenido Jb_{i+1} y el jugo total $Jt_{i,}$, el cual es enviado al molino i-1 excepto la cantidad Je_i que será extraída.

La extracción de jugo en el primer molino es tratada de forma diferenciada al resto del tandem, por lo que se puede decir que:

$$Bj_1 = Bjc \cdot ce \qquad 2.9$$

Como la fibra que se mueve a través del tandem se considera constante y se brinda como dato el perfil de fibra en el tandem, el colchón de bagazo a la salida de cada molino puede ser determinado por:

$$Cb_i = \frac{F}{\%f}.100 \qquad 2.10$$

Entonces, el jugo retenido en el colchón es determinado como:

$$Jcb_i = Cb_i - F_i \qquad 2.11$$

Con el conocimiento del perfil de brix en el jugo retenido en el colchón es posible conocer la masa de sólidos retenida o brix másico retenido:

$$Scb_i = Jcb_i.Bjcb_i / 100 \qquad 2.12$$

El jugo extraído en cada molino es determinado a partir de un balance de jugo en el mismo según:

$$Jt_i = Jcb_{i-1} - Jcb_i + A_i + Ji_{i+1} \qquad 2.13$$

El jugo de imbibición real que entra al molino i será:

$$Ji_i = Jt_i - Je_i \qquad 2.14$$

La extracción de jugos para diversos usos constituye una variable que el usuario puede mover a voluntad, pues constituye una interrogante a evaluar durante la formulación de producciones integradas.

Con el objetivo de mantener los mismos niveles de humedad en el colchón de bagazo que pasa por el tandem cuando es extraída una cierta cantidad de jugo del molino i, será añadida una cantidad proporcional de agua de imbibición al molino i-1, la que es calculada como:

$$A_{i-1} = Je_i.\left(1 - \frac{Bje_i}{100}\right) \qquad 2.15$$

Excepto en el último molino, la que es definida por el usuario a partir del % de agua de imbibición considerada durante la operación convencional del tandem.

2.2 Clarificación y filtrado

Los procesos de neutralización, clarificación y filtrado se trabajan como una sola etapa, donde las corrientes de entrada y salida son determinadas por un balance global aplicado al módulo. Las ecuaciones definidas en esta etapa, mediante un balance global de materiales, determinan las necesidades de agua de lavado, bagacillo y las corrientes de salida como jugo de los filtros, cachaza y jugo clarificado, son:

Agua de Lavado

$$Al = Al\%C.M \qquad 2.16$$

Bagacillo

$$Bg = Bg\%C.M \qquad 2.17$$

Cachaza

$$Cach = Cach\%C.M \qquad 2.18$$

Jugo de los Filtros

$$JF = Rjfjm.Jmt \qquad 2.19$$

Jugo de los filtros para uso en la producción alcoholera

$$JFO = JF - \left[JF.\left(\frac{\%R}{100} \right) \right] \qquad 2.20$$

Jugo Clarificado:

$$JC = JmA + Al + Lc + Bg - Cach - JFO \qquad 2.21$$

2.3 Evaporación y calentamiento

El área de Calentamiento y Evaporación se trabaja como una "caja negra", donde se realizan los balances de materiales como sigue:

$$JC + Aev = Mel \qquad 2.22$$

$$JC \cdot BxJC = Mel \cdot BxMel \qquad 2.23$$

Para la determinación del consumo de vapor de proceso se tiene en cuenta el número de efectos y las tomas de vapor de los vasos para calentamiento y cocción. Un múltiple efecto sin tomas de vapor, con n efectos, evapora del jugo n kilogramos de agua por kilogramo de vapor de calentamiento proporcionado. Cuando existe una toma de vapor en el cuerpo p ^{avo} se realiza una economía igual a la fracción p/n de la cantidad de vapor consumida por este calentamiento y se puede determinar como:

$$Vp = \frac{Aev}{ne} + \sum_{n=1}^{i} \frac{n-i}{n} \cdot P_i \qquad 2.24$$

2.4 Cocción

En esta área se incluyen cuatro esquemas de fabricación: una masa cocida, dos masas cocidas, tres masas cocidas con simple semilla y tres masas cocidas con doble semilla e incluso puede analizarse un esquema general que no incluya producción de azúcar. La Figura 1 muestra un esquema típico. El modelo calcula los balances de flujo, sólidos y purezas en cada nodo así como otras restricciones tecnológicas y de operación que se requieran (Ribas 2002), (Hurtado 2002), Sabadi (2002). Variables para la pureza y brix son asignadas a cada flujo.

Balance total de flujo

$$\sum_{j=1}^{flujo} C_{ij} F_j = 0 \qquad \forall_i \qquad 2.25$$

Balance de sólidos

$$S_l = F_j * D_j * B_l \qquad l = 1,..,sólidos \qquad 2.26$$

Para el cálculo de la densidad del flujo se emplea una expresión regresional en función del brix.

$$D_j = 62.430 * (62.209 + 0.228 * B_l + 0.001 * B_l^2) \qquad 2.27$$

$$\sum_{j=1}^{flujo} \sum_{l=1}^{solidos} C_{ij} \gamma_{jl} S_l = 0 \qquad \forall_i \qquad 2.28$$

Balance de purezas

$$\sum_{j=1}^{flujo} \sum_{l=1}^{solidos} \sum_{k=1}^{purezas} C_{ij} \gamma_{jl} \alpha_{jk} S_l P_k = 0 \qquad \forall_i \qquad 2.29$$

Restricciones tecnológicas y de operación

Estas relaciones cambian de un esquema de fabricación a otro. Están incluidas en el modelo con el objetivo que algunos requerimientos industriales que no pueden ser expresados en los balances puedan agregarse (crecimiento de cristales, fracción de cristales y otras) para garantizar un acercamiento a la realidad del proceso.

2.5 Refinería

En esta área se incluye un esquema de fabricación (Figura 2) dando la posibilidad de elaborar entre tres y cinco masas cocidas, permitiendo además la incorporación de azúcar crudo tributada sin afinar y afinada. El modelo calcula los balances de flujo, sólidos y purezas en cada nodo así como otras restricciones tecnológicas y de operación que se requieran. Variables para la pureza y brix son asignadas a cada flujo. La simbología de trabajo se corresponde con la del área de cocción en la fábrica de crudo.

2.6 Destilería

La Figura 3 muestra el esquema de trabajo para la destilería. Los alcoholes producidos a partir de mezclas de corrientes intermedias y finales del central se definen a partir de balances de azúcares aportados por cada una de estas corrientes.

$$Cap = (\sum_{n=1}^{i} MP \cdot \%azf) / (\%azfMF \cdot IcMF) \qquad 2.30$$

Debe conocerse el índice de consumo de miel final y los por cientos de azúcares fermentables de cada una de las corrientes que serán utilizadas para la producción del alcohol en cuestión. Adicionalmente hay que restringir las mezclas de corrientes para lograr la concentración de azúcares requerida en la fermentación.

$$\frac{MF \cdot \%azfMF + \sum MP \cdot \%azfMP}{MF + Agua + \sum MP} = CazF \qquad 2.31$$

$$CazF = \%alcF \cdot 18.22 \qquad 2.32$$

2.7 Generación de vapor y electricidad

Esta área de servicios se presenta toda en su conjunto (Figura 4). Se consideran dos presiones de generación de vapor (alta y media), los molinos, los turbogeneradores y dos bloques, uno de alta y uno de media para otros usos (turbinas de bombas de alimentación de calderas, bombas de inyección y rechazo a y de condensadores, etc). Los otros bloques recogen los múltiples de escape y la distribución eléctrica. La denominación alta y media para la presión se utiliza para diferenciar dos niveles de presión diferentes.

La estructura de simulación de este módulo esta hecha sobre la base de suma y divisiones de flujos e índices de generación de vapor por unidad de bagazo u otro combustible empleado y de generación eléctrica por unidad de vapor. Estos índices concretos deben ser introducidos como datos.

2.8 Consumos de vapor y electricidad en las áreas

Los balances globales de energía son de gran importancia puesto que evidencian el equilibrio térmico en el proceso. En el balance de vapor se determinan las demandas de vapor de alta (máquinas, reductoras, turbogeneradores) y de vapor de escape (etapas de calentamiento y evaporación, cocción crudo y refino, etc). Además se considera un por ciento de pérdidas en tuberías que se recarga al vapor total de escape necesario.

Los consumos de vapor de escape para calentamiento, evaporación y cocción (crudo y refino) son determinados en cada una de las áreas a partir del conocimiento de las cantidades de agua a evaporar en cada una de ellas, las cuales se determinan en los correspondientes balances.

En el balance de electricidad se realiza un balance de la disponibilidad del central de entrega de electricidad a sus propios consumidores a la destilería y la posibilidad de entregar a la red o comprar de la misma. El consumo total de electricidad del central es calculado como la sumatoria de los consumos de potencia de cada área, y los de cada área a su vez son calculados como la sumatoria del consumo de sus secciones. El consumo de potencia en cada sección se determina a través de índices conocidos y/o reportados en literatura.

2.9 Análisis de costos

Los gastos totales asociados a cualquier tipo de producción (intermedia o final), y por tanto en cualquier etapa del proceso productivo pueden ser definidos como:

Gastos Totales (GT) = Gastos Variables (GV) + Gastos Fijos (GF)

Los gastos variables pueden ser reagrupados en:

GV = Gastos Materias Primas (GMP) + Gastos Energéticos (GE) + Otros Gastos Materiales (OGM)

Ahora bien, si se acepta que los gastos totales son iguales al costo de los productos (CP)

GT = GMP + GE + OGM + GF = CP

Entonces, para una etapa i en la que obtienen m productos intermedios se puede plantear que los gastos de entrada son iguales a la sumatoria de los costos de los i productos, de manera que:

$$GT_i = GMP_i + GE_i + OGM_i + GF_i = \sum_{j=1}^{m} CP_{j,i+1} \qquad 2.33$$

La filosofía de balances de costos aplicada a un ingenio se ilustra en Capote (1999). La determinación de los costos de producción puede ser aplicada por igual a todo el ingenio o a una sección del mismo. La diferencia fundamental radica en que cuando se pasa del sistema global a un subsistema, o incluso, a una unidad de proceso, las interrelaciones entre variables se incrementan y la solución para los costos, al igual que para los balances de materiales y energía, debe ser hallada mediante la solución simultánea de los sistemas de ecuaciones generados.

La aplicación del método al sistema global no difiere de la contabilidad convencional y presupone que todos los gastos originados están dirigidos a la producción de azúcar. Sin embargo, el costo de producción del azúcar es conformado a partir de la sustracción del "supuesto" costo de los co-productos obtenidos (miel, bagazo, electricidad y cachaza), definidos a partir de sus valores de uso en el mercado.

Al aplicar el método a un subsistema dado, cada unidad de proceso puede ser considerado como un subsistema y obtendremos entonces el costo asociado a cada una de las corrientes de salida en cada unidad de proceso. Sin embargo, la determinación de los costos en aquellas unidades en las que se obtienen más de un producto exige de un criterio de ponderación cuando los mismos no están determinados por el mercado.

Costos de producción del alcohol

El costo de la producción de alcohol también se determina a partir de los costos fijos y variables (asociados y no asociados). La definición de costos variables no asociados permite considerar los gastos materiales en cada producción, que no dependen de la distribución de corrientes intermedias del ingenio como un índice fijo introducido por el usuario, por ejemplo, un insumo que puede considerarse constante e independiente de la utilización de unas u otras materias primas necesarias para producirlo (miel propia, miel comprada o jugo). El monto financiero por cada hectolitro de alcohol de estos materiales constituye su costo variable no asociado.

Por otro lado, los costos variables asociados los conforman aquellos gastos materiales por unidad de producto que resultan de la utilización de los recursos del ingenio, por ejemplo, el sustrato para la producción de alcohol puede ser aportado por la miel propia, la miel comprada, el jugo de los filtros y los diversos jugos de los molinos, por tanto éstos y sus mezclas se incluirán en los costos variables asociados según se consideren durante la optimización. Una vez determinados los costos fijos y variables se puede computar el costo unitario y la ganancia que se obtiene de la producción.

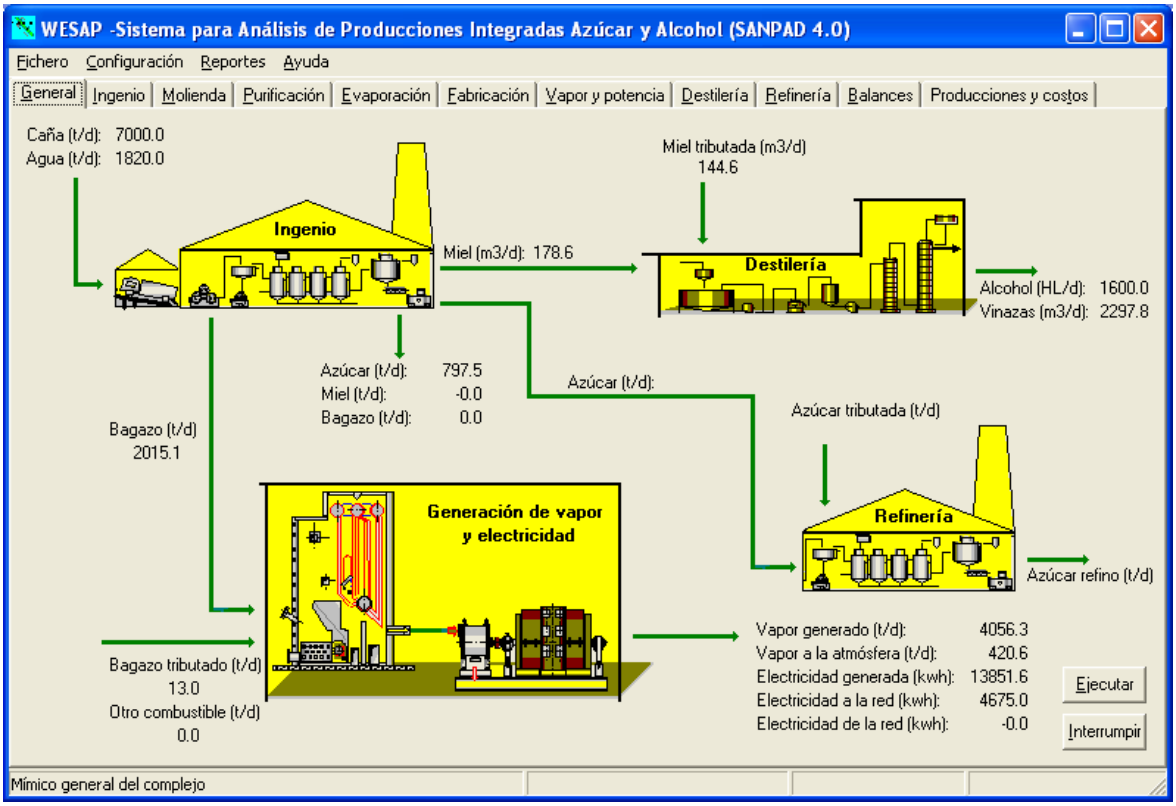
La ganancia total de la producción integrada de azúcar y alcohol es determinada como la sumatoria de las ganancias de cada una de las producciones analizadas.

2.10 Método de solución

El modelo generado es de naturaleza no lineal con restricciones lineales, no lineales y de cotas para las variables, de aquí que se emplee la optimización no lineal para su solución, en este caso, un algoritmo de programación cuadrática secuencial que permite obtener soluciones factibles y optimizar. La descripción del método puede ser encontrada en Schitkowski (1991) y Lawrence (1996).

3. El sistema SANPAD

SANPAD 4.0 está implementado sobre lenguaje Builder C++ 6.0 para sistema operativo Windows 95, 98, 2000, NT, XP. Requiere para su implantación de una configuración actual de ordenador. La Figura 5 muestra el área de trabajo.



4. Ejemplo de aplicación

Análisis de la producción integrada (azúcar, alcohol, bagazo y electricidad) de un ingenio azucarero que muele 7000 t/d de caña, utilizando como esquema de fabricación el de tres masas cocidas con simple semilla y que presenta una destilería anexa de 1600 HL de capacidad, con vistas a maximizar su ganancia. Partiendo de las características físicas, índices de consumo de vapor y electricidad en las áreas, los costos fijos para la producción y los precios de los productos en el mercado, el sistema optimiza en función de lograr la mejor distribución de corrientes para la producción de alcohol técnico B. La Tabla I muestra los resultados globales de la optimización. El sistema brinda como resultados además los balances de corrientes, bagazo, vapor y electricidad así como los costos por áreas.

Tabla I: Producciones del complejo

Producción	Cantidad	Costo unitario ($)	Precio ($)	Ganancia ($)
Azúcar crudo (t/d)	797.51	235.220	250.000	11786.08
Miel final (t/d)	0.00	7.400	7.400	0.00
Bagazo (t/d)	0.00	21.900	41.450	0.00
Alcohol técnico B (Hl/d)	1600.00	16.840	29.750	20654.21
Electricidad (kw)	4674.98	0.014	0.060	213.09

En este caso es necesario comprar bagazo para generar el vapor requerido (13.0 t/d) y miel final (144.6 m^3/d) para producir alcohol de acuerdo a la capacidad de la destilería.

5. Conclusiones

- El sistema SANPAD constituye una herramienta para análisis de producciones integradas de azúcar y alcohol orientada a la toma de decisiones de acuerdo a la situación del mercado.

- Permite estudiar diferentes combinaciones de jugos y mieles para la producción de alcohol incluyendo la posibilidad de mieles tributadas.
- La inclusión de diferentes esquemas de fabricación de crudo y refino brinda flexibilidad en la configuración del sistema abarcando una amplia gama de posibilidades y haciéndolo adaptable a diferentes situaciones productivas.

6 Bibliografía

- Capote, O. "EXCEL. Una Herramienta para el Análisis de la Eficiencia Industrial y la Implementación de Esquemas de Diversificación en los Complejos Agroindustriales", CubaAzúcar, Vol. XXVIII, N°4, Octubre - Diciembre 1999.
- Hurtado, R., Ribas, M., Sabadi, R., de Armas, C., "Analysis of Sugar Production Flowsheets. Part II: Software Tool and Case Study". Libro 5th Conference Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction. PRES 2002. ISBN 80-86059-33-2
- Lawrence, C. T., Tits, A. L. "Nonlinear Equality Constraints in Feasible Sequential Quadratic Programming", Optimization Methods and Software, 1996, 6, 265-282.
- Ribas, M., Hurtado, R., Sabadi, R., de Armas, C., "Analysis of Sugar Production Flowsheets. Part I: Mathematical Modelling", Libro 5th Conference Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction. PRES 2002. ISBN 80-86059-33-2
- Sabadi, R., Hurtado, R., Ribas, M., de Armas, C., "Analysis of Sugar Production Flowsheets. Part III: Balances in Equipment at Operation Level". Libro 5th Conference Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction. PRES 2002. ISBN 80-86059-33-2
- Schittkowski, K. "Solving Nonlinear Programming Problems with Very Many Constraints", Mathematisches Institut, Universität Bayreuth, 1991, Report No. 294, Bayreuth, Germany.

7. Notación

$\%f_i$: Porciento de fibra a salida del molino i
A_i: Agua de imbibición en el molino i (t/d)
Bb: Brix del bagazo
B_c: Brix de la caña
Bjc: Brix del jugo en el colchón a la entrada
Bjc_i: Brix del jugo en el colchón de bagazo en el molino i
Bje_i: Brix del jugo extraído en el molino i
Cb_i: Colchón de bagazo que sale del molino i (t/d)
Ce: Coeficiente de extracción
F_c: % de fibra en caña a la entrada
F_i: Fibra que sale del molino i (t/d)
Hb: % de humedad del bagazo
Jcb: Jugo en el colchón de bagazo a la entrada (t/d)
Jcb_i: Jugo retenido en el colchón de bagazo a la salida del molino i (t/d)
Ji_1: Jugo de imbibición en el molino i (t/d)
%R: Porciento de Recirculación de Jugo de los Filtros
Al%C: Agua de Lavado % Caña
Al: Agua de Lavado (t/d)
Bg%C: Bagacillo % Caña
Bg: Bagacillo (t/d)
Cach%C: Cachaza % Caña
Cach: Cachaza Sólida (t/d)
JC: Jugo Clarificado (t/d)
JF: Jugo de los Filtros (t/d)
JFO: Jugo de los Filtros a otros usos (t/d)
JmA: Jugo mezclado a Azúcar (t/d)

Jmt: Jugo Mezclado Total (t/d)
Lc: Lechada de Cal (t/d)
M: Molienda (t/d)
Rjfjm: Relación Jugo de los Filtros / Jugo Mezclado a Azúcar
BxJC: Brix del Jugo Clarificado
Mel: Meladura (t/d)
BxMel: Brix de la Meladura
ne: Número de efectos
Pi: Extracciones en los vasos (t/d)
Vp: Consumo de vapor de proceso
flujos: Total de flujos en el esquema de fabricación
solidos: Total de flujos de sólidos en el esquema de fabricación
purezas: Total de purezas en el esquema de fabricación
j: Indice del flujo
i: Indice del nodo
λ: Indice del flujo de sólidos.
F_j : Flujo (t)

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el flujo } F_j \text{ entra en el nodo i} \\ -1 & \text{si el flujo } F_j \text{ sale del nodo i} \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases}$$

S_l : Flujo de sólidos λ (ton.)

D_j : Densidad del flujo j (ton/m^3).

B_l : Brix del flujo de sólidos λ.

$$\gamma_{jl} = \begin{cases} 1 & \text{si el flujo j tiene asociado el flujo de sólidos l} \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases}$$

$$\alpha_{jl} = \begin{cases} 1 & \text{si el flujo j tiene asociado la pureza k} \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases}$$

Cap: Capacidad de producción de la destilería
MP: Corriente de materia prima enviada a la destilería
%azf: Porciento de azúcares fermentables en la corriente de materia prima
%azfMF: Poricento de azúcares fermentables en la miel final
IcMF: Indice de consumo de miel final para la producción de alcohol
Agua: Agua requerida para la preparación del sustrato
CazF: Concentración de azúcares requerido para la fermentación
%alcF: Grado alcohólico de la batición

Figura 1

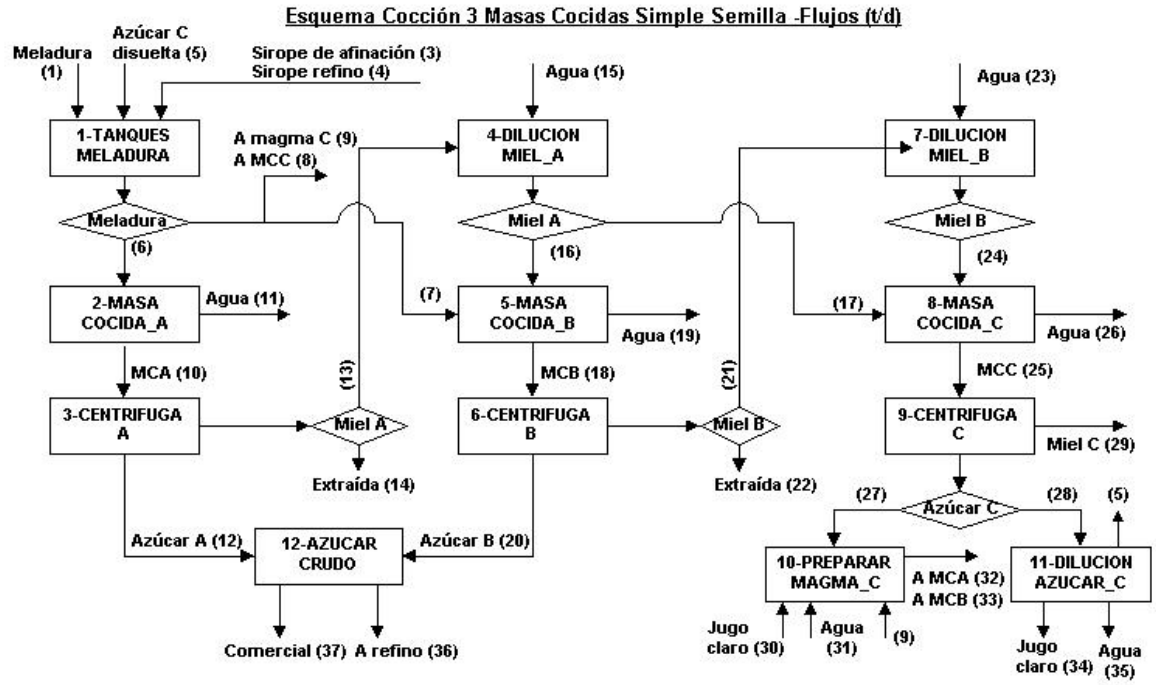


Figura 2

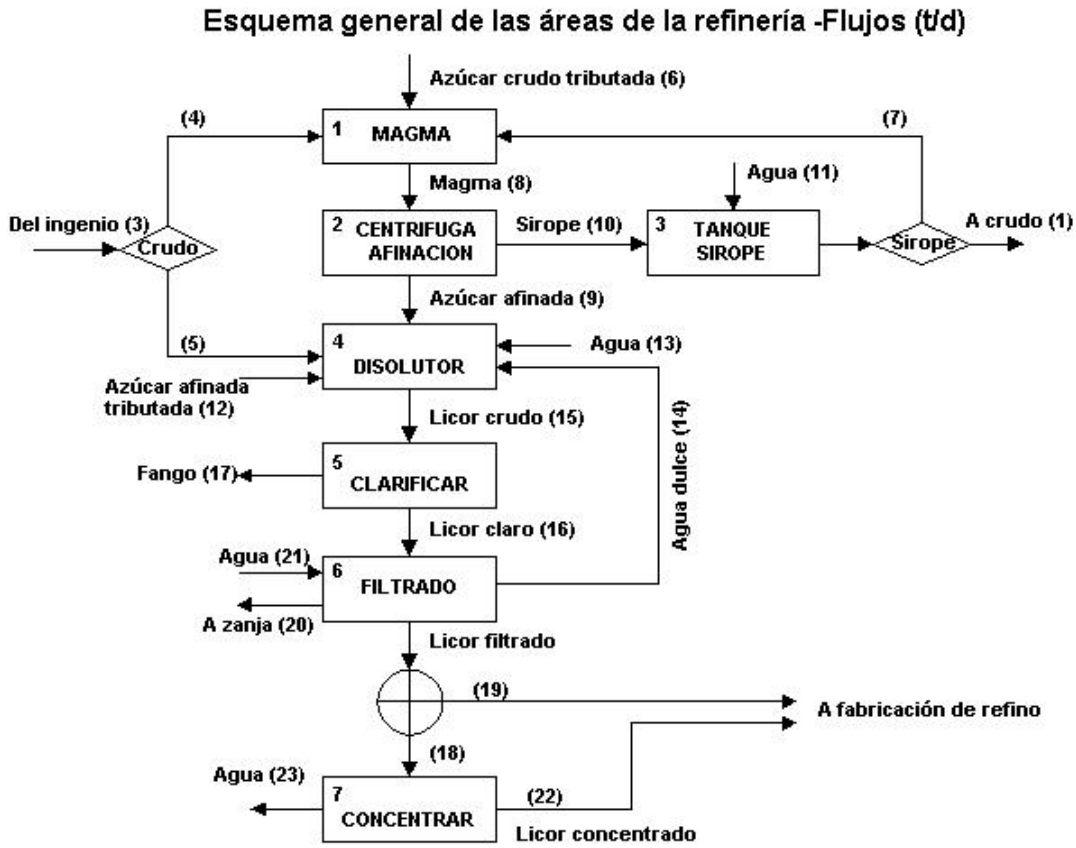


Figura 3: Esquema de trabajo de la destilería

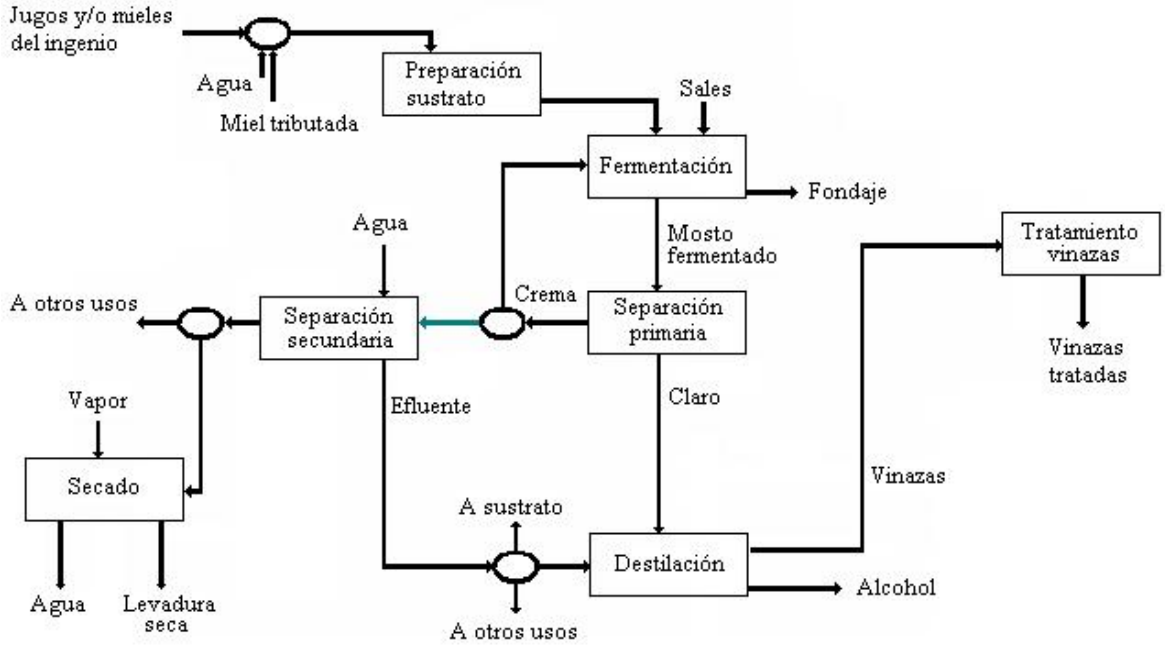
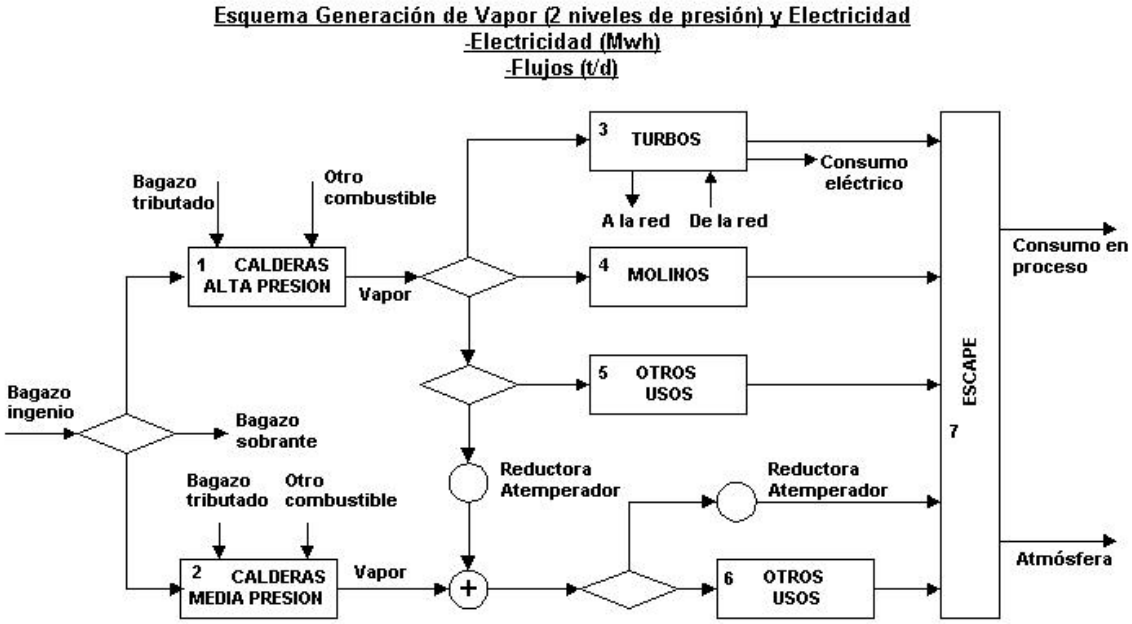


Figura 4



ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS ESQUEMAS INTEGRADOS AZÚCAR- ALCOHOL

Manuel Díaz de los Ríos (ICIDCA)
Email: mdiazrios@icidca.edu.cu

Resumen
En el presente trabajo se evalúa la sensibilidad de las producciones de alcohol y azúcar en las condiciones nacionales y se ilustra la conveniencia de inclinar la producción en uno u otro sentido en dependencia de los precios en mercado de dichos productos, sus costos y la alternativa seleccionada para la producción de alcohol, o sea, utilización de jugos o diversas calidades de miel.

Mediante el empleo de diagramas de tornado y otras herramientas gráficas se analiza el efecto de los diversos elementos del costo de producción de ambos productos, así como el efecto de la capacidad de producción y otros criterios asociados a la viabilidad de dichas producciones.

El estudio se soporta sobre la simulación en estado estacionario de la producción de azúcar crudo y su vinculación con la producción de etanol. Se evidencia que las variaciones de la razón Ganancia Alcohol/Ganancia azúcar son influenciados en primera instancia por las variaciones en los precios del alcohol y el azúcar, seguido en orden por la influencia del costo de la caña, el rendimiento de alcohol por tonelada de caña y la capacidad de la destilería.

Se pudo verificar que, para las condiciones nacionales de producción, el incremento de un centavo en la libra de azúcar exige de un incremento de unos 4 $/hL en el precio de venta del alcohol para mantener iguales niveles de ganancias en ambas producciones.

Palabras claves: Alcohol, azúcar, sensibilidad económica, simulación

SENSITIVITY ANALYSIS OF INTEGRATED SUGAR – ALCOHOL FACTORIES

Abstract
Sensitivity of alcohol and sugar production under national conditions is evaluated in this work. The convenience to turn of the production of either one or another way, according to the products market prices, product cost and alcohol production option is showed.

The incidence of several production cost components for both products, production capacity and other elements related with product economic feasibility are analyzed by the use of Tornado diagrams and other graphic tools.

The study is supported on steady state simulation of raw sugar production and its relation with alcohol production. The influence of alcohol and sugar prices, followed by cane cost and alcohol yield by ton of cane are the variables of more incidence in the variation of the relation Alcohol profit/Sugar profit..

It was verified that, under national production conditions, the increase of one cent per pound of sugar requires of an increment of almost 4 $/hL in alcohol selling price to keep an equal level of profits in both productions.

Keywords: alcohol, sugar, economic sensitivity, simulation

Introducción

La problemática de la simulación de la producción combinada de azúcar y alcohol ha sido abordada por diversos autores desde el punto de vista tecnológico, muchas veces sin profundizar en las

implicaciones económicas. Diversas estrategias factibles para la producción de azúcar tienen sus implicaciones en la producción de alcohol ya que los diversos tipos de mieles que se originan por la adopción de esquemas de producción de azúcar (una, dos o tres masas cocidas) generan mieles de diversas calidades, lo cual redunda en los índices de consumo de este producto en la producción de alcohol y, por supuesto, en el costo final de dicho producto. De igual forma la extracción de jugos para la producción de alcohol en detrimento de la producción de azúcar es una alternativa extremadamente sensible a los precios del azúcar y el alcohol en el mercado y a los costos de ambas producciones de aquí se resulte de vital importancia la ejecución de estudios de sensibilidad sobre la conveniencia de inclinar la producción en uno u otro sentido en correspondencia con las particularidades del mercado de cada industria. En el presente trabajo se muestra un análisis de sensibilidad de la producción de azúcar /alcohol para las particularidades de la realidad cubana. La formulación de modelos econométricos que combinen respuestas tecnológicas con resultados económicos puede contribuir eficazmente a la implementación de esquemas óptimos de producción.

Resultados y discusión

En el presente estudio se analizan diversos factores que inciden en la viabilidad económica de la producción de etanol y su relación con la producción de azúcar. Según criterio de diversos expertos, el éxito de la industria sucro-alcoholera brasilera radica, en gran medida, en su flexibilidad para inclinar el procesamiento de la caña hacia la producción de azúcar u alcohol en dependencia de los precios de dichos productos en el mercado y sus correspondientes costos de producción.

La industria azucarera Cubana posee características que la diferencia de otros países, por lo que la decisión de producir azúcar, alcohol o ambos productos en volúmenes determinados debe ser adecuada a dichas particularidades. Entre ellas se destacan:

- El azúcar Cubano se comercializa mayoritariamente en el mercado internacional a precios dictados por este. No existe un mercado interno con precios en divisa que favorescan dicha producción.
- El consumo interno de etanol ha decrecido debido al auge del programa de gasificación en el sector doméstico. Se pronostica un incremento de exportaciones y aun no existe una política nacional oficial con relación al uso del alcohol como combustible automotor.

Ello significa que los precios de venta, tanto de alcohol como azúcar, estarán determinados principalmente por los adoptados por el mercado internacional, mientras que los costos continuaran siendo afectados por la existencia de una doble moneda.

En la producción de azúcar la caña representa entre el 55 y el 67% del costo de producción, mientras que en el alcohol y algo similar ocurre en el alcohol cuando se produce a partir de jugos de caña directo. Ello significa que ambos productos son afectados aproximadamente de igual forma cuando se incrementan los costos de producción de caña. Sin embargo, otros elementos tales como los precios de venta de azúcar y alcohol, el rendimiento en la producción de alcohol, etc pueden brindar respuestas diferentes al evaluar la conveniencia de producir alcohol o azúcar.

En el análisis siguiente se utiliza como variable a evaluar la razón entre la ganancia generada por la producción de alcohol y la generada por la producción de azúcar para igual nivel de caña procesada (R= GAL/GAZ). Se han tomado como condiciones base las siguientes:

Variable	Base	Mínimo	Máximo
Capacidad de la destilería (hL/d)	1000	500	5000
Precio del Azúcar ($/ton)	$176,00	$110	$176
Precio del alcohol ($/hL)	$30,00	$21	$30
Costo de la Caña ($/ton)	$4,32	$4.32	$7.00
Rendimiento en Azúcar (ton/ton caña)	0,116	0.10	0.12
Rendimiento en Alcohol (hL/ton caña)	0,65	0.60	0.75

En la figura 1 se ilustra que la variación en el precio del alcohol a partir de las condiciones base es el elemento que mas favorece la producción de alcohol por encima de la de azúcar, seguida del costo de la caña. El incremento en el precio del azúcar favorece la producción de azúcar y es el segundo elemento en peso después del precio del alcohol. De igual forma, si el rendimiento de alcohol cae desde 65 L/ton de caña hasta 60 es mas conveniente producir azúcar, pero en las condiciones base o superiores es conveniente producir alcohol.

Un aspecto de vital importancia conocer es cómo afecta la estrategia de producción azúcar - alcohol las variaciones en los precios del mercado de estos productos dado un esquema de costo determinado. En la figura 2 se ilustran el efecto de estos cambios sobre la razón de ganancias Alcohol/Azúcar para un costo de producción de azúcar de 60 $/t y un costo del alcohol, producido a partir de jugo y miel B, de 12,7 $/hL. En ella se aprecia que cuando el azúcar está a 0,05 $/lb (110 $/t) el alcohol debe venderse a mas 20,6 $/hL para que sus ganancias superen las del azúcar y por cada centavo de aumento en el precio del azúcar debe incrementarse en unos 4 $/hL el precio del alcohol.

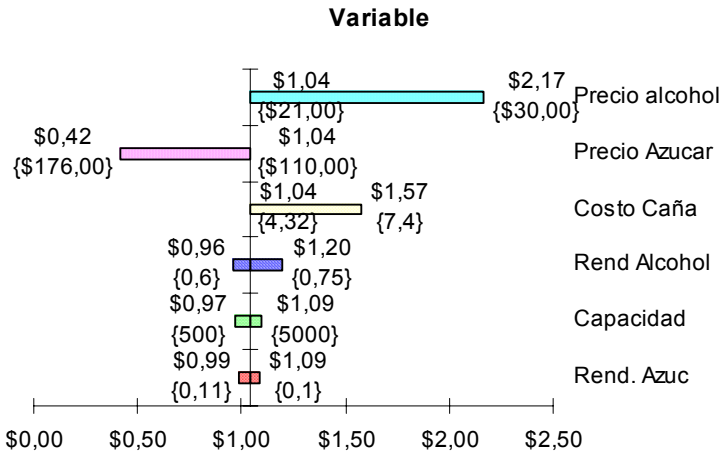


Fig. 1: Efecto de diversas variables sobre la razón de ganancias Alcohol/azúcar.

Por supuesto, una variación en los costos de producción de caña produce un desplazamiento en este tipo de gráfico en la dirección de incrementar los precios del alcohol bajo los cuales se igualan las ganancias, aunque, como ya se ha dicho, el incremento en el costo de caña favorece ligeramente la producción de alcohol.

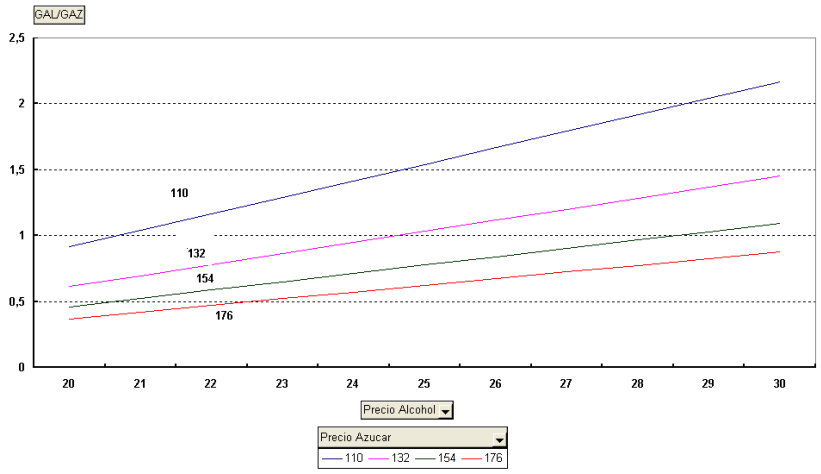
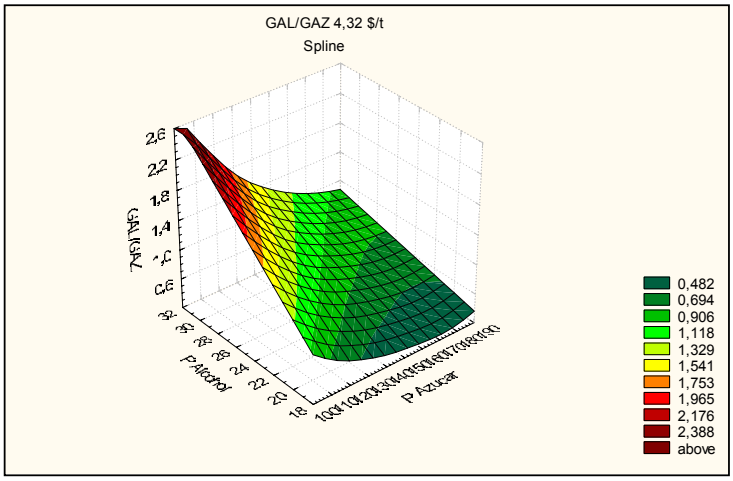


Fig.2 Análisis de sensibilidad. Efecto de los precios de azúcar y alcohol sobre las ganancias

La variación de la razón R con el incremento del costo de la caña se ilustra en las figuras 3 y 4. Se evidencia que se favorece algo más la producción de alcohol que la de azúcar con el incremento del costo de la caña.



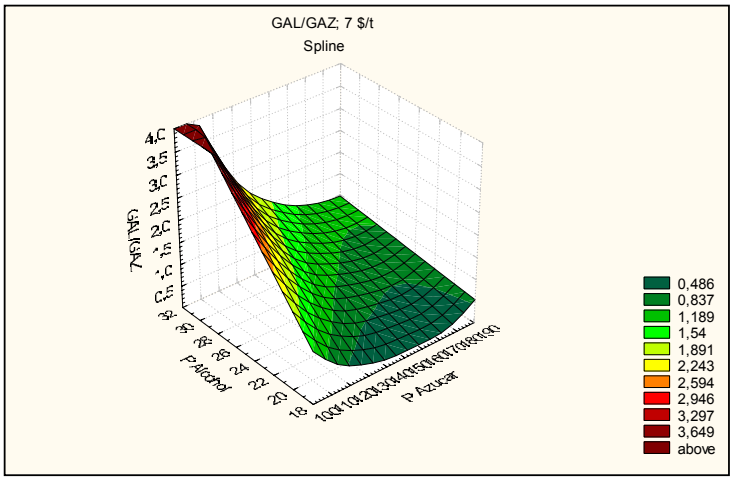


Fig. 3 y 4: Variación de R con el costo de la caña

Conclusiones

En el estudio se evidencia que las variaciones de la razón Ganancia Alcohol/Ganancia azúcar son influenciados en primera instancia por las variaciones en los precios del alcohol y el azúcar, seguido en orden por la influencia del costo de la caña, el rendimiento de alcohol por tonelada de caña y la capacidad de la destilería.

Se pudo verificar que, para las condiciones nacionales de producción, el incremento de un centavo en la libra de azúcar exige de un incremento de unos 4 $/hL en el precio de venta del alcohol para mantener iguales niveles de ganancias en ambas producciones.

Bibliografía

1. Diaz de los Ríos, M; Capote O.; Garrido, N.; Costales, R. "La integración de procesos y la Diversificación en la industria contemporanea", Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados, DIVERSIFICACION 2002, Ciudad de la Habana, 2002
2. Budicek,L,; Sourkova, M. and Kacanova, J. "Econometric and simulation Model of a Sugar factory" Zucker Industrie, V124, 49, 1999.

USO DE DIAGRAMAS FUNCIONALES y MILP PARA LA OPTIMIZACION EXERGOECONOMICA EN INGENIOS AZUCAREROS

Mauricio Colombo[(1)], María Rosa Hernández[(1)] Mario Cesca[(1)], José Luz Silveira[(2)]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología – Universidad Nacional de Tucumán
Av. Independencia 1800 – (4000) San Miguel de Tucumán – Tucumán - Argentina
e-mail: macolombo@herrera.unt.edu.ar
(2) Departamento de Energía - UNESP - Universidad Estatal Paulista –
FEG - Guaratinguetá- SP – Brasil
e-mail:joseluz@feg.unesp.br

Palabras Clave: Optimización, Cogeneración, Exergía, Industria Azucarera

Resumen

El desarrollo de nuevas técnicas que permitan el análisis y optimización de sistemas energéticos es indispensable en un mundo con recursos naturales finitos y demanda creciente de energía para los países en desarrollo, dado que el manejo eficiente de estos recursos contribuye a la preservación del medio ambiente.
Los sistemas de cogeneración contribuyen al logro de estos objetivos pues hacen uso eficiente de un combustible común para la generacion de calor útil y potencia.
El método utilizado para evaluar alternativas de cogeneración combina la Segunda Ley de la Termodinámica, a través del concepto de exergía, con la evaluación económica del sistema térmico.
La optimización económica de estos sistemas ha sido objeto de numerosos análisis entre los que se destacan dos enfoques principales:

1) aquellos que hacen uso de diagramas funcionales que permiten analizar y distribuir costos exergéticos en forma sistemática
2) aquellos que usan programación matemática empleando variables binarias para la optimización estructural de sistemas

En este trabajo se propone una estrategia híbrida que combine lo mejor de ambos enfoques, consiguiendo una herramienta poderosa por su versatilidad y robustez para implementar una superestructura de optimización que contemple todos los casos posibles planteados de acuerdo a las funciones exergéticas de costo definidas por el diagrama funcional.
Las funciones termodinámicas de interés han sido modeladas de forma tal que el problema de optimización planteado es mezcla entera lineal donde se hace uso de variables binarias para tomar decisiones estructurales y para linealizar expresiones, consiguiéndose así un óptimo global del sistema considerado.

USE OF FUNCTIONAL DIAGRAMS AND MILP FOR THE EXERGOECHONOMICAL OPTIMIZATION OF SUGAR PLANTS

Mauricio Colombo[(1)], María Rosa Hernández[(1)] Mario Cesca[(1)], José Luz Silveira[(2)]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología – Universidad Nacional de Tucumán
Av. Independencia 1800 – (4000) San Miguel de Tucumán – Tucumán - Argentina
e-mail: macolombo@herrera.unt.edu.ar
(2) Departamento de Energía - UNESP - Universidad Estatal Paulista –
FEG - Guaratinguetá- SP – Brasil
e-mail:joseluz@feg.unesp.br

Keywords: Optimization, Cogeneration, Exergy, Sugar Plants

Abstract

The development of new techniques that allow the analysis and optimization of energy systems is indispensable in a world with finite natural resources and growing demand of energy for development countries , since an efficient management of these resources contributes to environmental preservation.
Cogeneration systems contribute to meet this targets because they make efficient use of a common fuel for the generation of useful heat and power.
The approach used to evaluate alternatives of cogeneration combines Second Law of Thermodynamics, through the exergy concept, with the economic evaluation of the thermal system.
The economic optimization of these systems has been object of numerous analysis and the main approaches are the following:
1) those that make use of functional diagrams that allow to analyze and to distribute exergetic costs in a systematic way
2) those that use mathematical programming using binary variables for the structural optimization of systems
This work proposes an hybrid strategy that combines the best of both focuses, getting a powerful tool for their versatility and robustness to implement a superstructure of optimization that contemplates all the possible cases outlined according to the exergetic cost functions defined by the functional diagram.
The thermodynamic functions of interest have been modeled in such way that the outlined problem of optimization is a mixed inetegr linear programming (MILP), where use of binary variables is made to make structural decisions and for linealization purposes, getting a global optimum for the system under consideration.

Introducción

El término cogeneración implica la producción simultánea de calor y trabajo en una industria haciendo uso secuencial de un combustible común.
El desarrollo de nuevas técnicas que permitan el análisis y optimización de sistemas energéticos es indispensable en un mundo con recursos naturales finitos y demanda creciente de energía. La Termoeconomía, como ha sido presentado por diversos autores (Coelho y otros, 1997; Barreda y otros, 1998, Barreda y Nebra, 1999) es una herramienta poderosa para analizar y mejorar diferentes sistemas de energía, ya que involucra la evaluación de costos de distintos sistemas de transformación de energía. La determinación de estos costos constituye un asistente eficaz en la toma de decisiones para comparar proyectos alternativos de inversión, tecnologías y distintas condiciones de operación.

El método utilizado para evaluar alternativas de sistemas energéticos combina la Segunda Ley de la Termodinámica, a través del concepto de exergía, con la evaluación económica del sistema térmico.
La optimización económica de estos sistemas ha sido objeto de numerosos análisis entre los que se destacan dos enfoques principales:

1) aquellos que hacen uso de diagramas funcionales que permiten analizar y distribuir costos exergéticos en forma sistemática para una estructura determinada,
2) aquellos que usan programación matemática empleando variables binarias para la optimización estructural de sistemas.

Ambos enfoques tienen sus ventajas y limitaciones, y, por lo general las limitaciones de uno constituyen las ventajas del otro, como puede observarse en la Tabla I.

Tabla I: Comparación de enfoques de optimización termoeconómica.

Enfoque de optimización	Ventaja	Desventaja
Diagramas funcionales	La determinación de costos exergéticos es sencilla. Algoritmo robusto y de fácil resolución.	Debe realizarse un "barrido" del espacio vectorial de las variables. No puede garantizar un óptimo global. No permite optimizaciones de estructuras.
Programación matemática	Permite optimizar estructuras. En el caso de un problema convexo, garantiza el óptimo global. Los códigos computacionales para el tratamiento de variables continuas y binarias son eficientes.	Complejidad matemática de la formulación. Dificultades en la resolución en el caso de problemas NLP y MINLP.

En este trabajo se propone una estrategia híbrida que combine lo mejor de ambos enfoques, de modo tal de contar con una herramienta poderosa por su versatilidad y robustez para implementar una superestructura de optimización que contemple todos los casos posibles planteados de acuerdo a las funciones exergéticas de costo definidas por el diagrama funcional.
Para ello, se utiliza el Costo de Manufactura Exergético (CMEX) como índice para el análisis y optimización de sistemas de producción combinada de calor y trabajo. Se seleccionó como caso de estudio la aplicación de CMEX al Ingenio Concepción (CACSA) de la Provincia de Tucumán (Argentina) por la relevancia que tiene esta industria sobre las economías regionales y las posibilidades que presenta para cogeneración.

Objetivos

La cogeneración viene usándose hace tiempo en el proceso de manufacturación de azúcar, ya que requiere tanto de vapor como de energía eléctrica.
Como se puede apreciar en la Figura 1, en las instalaciones existentes se genera vapor en calderas de baja presión utilizando el bagazo (residuo fibroso de la molienda de caña) como combustible.
Estos sistemas fueron desarrollados cuando no se tenía en cuenta la posibilidad de exportar energía. Más aún, desde que se consideraba inútil el almacenamiento de grandes cantidades de bagazo, la mayoría de las calderas fueron diseñadas de modo tal de utilizar todo el bagazo disponible. Como consecuencia, se generó una "auto-ineficiencia" en las fábricas de azúcar, utilizando todo el bagazo combustible en sus calderas de baja presión.

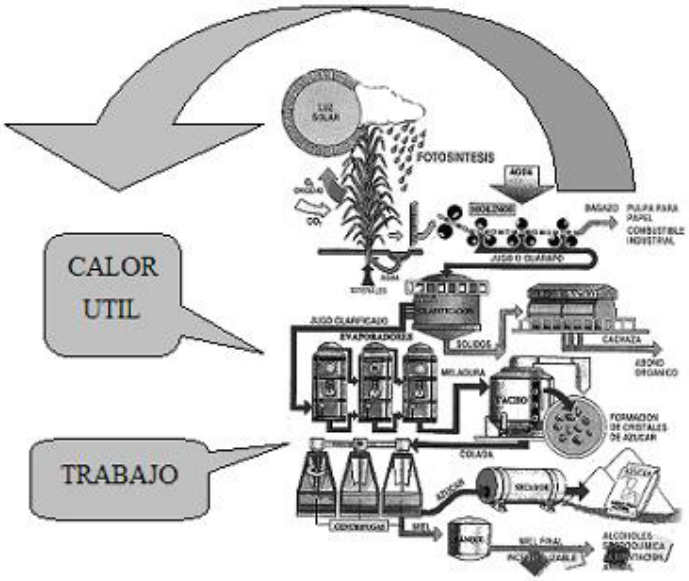


Figura 1: Diagrama simplificado de un ingenio azucarero

Actualizando los parámetros de operación, en particular, utilizando presiones más elevadas de generación, se podría producir energía eléctrica excedente, con posibilidades de venta a la red.

Metodología

El método utilizado para evaluar alternativas de cogeneración combina la Segunda Ley de la Termodinámica, a través del concepto de exergía, con la evaluación económica del sistema térmico.
De acuerdo a Szargut (1980), el concepto de exergía o disponibilidad está asociado al trabajo potencial (máximo trabajo reversible) que un sistema puede realizar en un determinado estado termodinámico para alcanzar el equilibrio con el ambiente.
Considerando únicamente el equilibrio termodinámico:

$$ex_i = (h_i - h_0) - T_0\,(s_i - s_0) \qquad [1]$$

Como la exergía es una propiedad no conservativa, es decir se destruye, la exergía entrante a un sistema siempre será mayor que la saliente. La diferencia entre la exergía entrante y la saliente es la pérdida exergética del proceso.

$$I = \sum ex_e - \sum ex_s \geq 0 \qquad [2]$$

Kotas (1980) ha definido la eficiencia exergética, como se expresa en la ecuación 3:

$$\psi = \frac{\sum ex_s}{\sum ex_e} \leq 1 \qquad [3]$$

En la Figura 2 se ilustran valores típicos de la exergía transferida al vapor a partir de un determinado combustible.

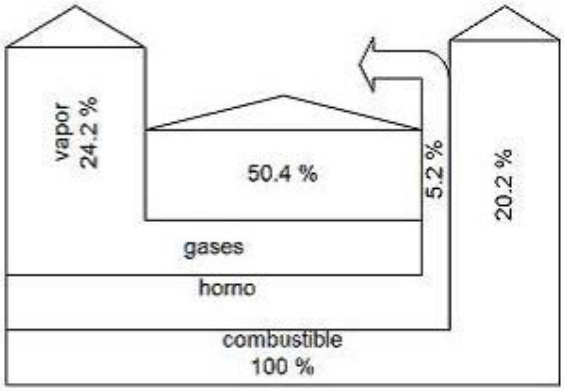


Figura 2: Valores típicos de flujos exergéticos

Frangopoulos (1987) y Luz Silveira (1998) han mostrado que para el análisis termoeconómico de configuraciones alternativas es necesario llevar a cabo las siguientes tareas:

1. Identificación de las funciones globales de cogeneración y para cada unidad de proceso en particular.
2. Evaluación de los flujos exergéticos de entrada - salida de cada uno de los componentes del sistema.
3. Construcción del diagrama funcional termoeconómico.
4. Selección de parámetros y determinación de sus valores.
5. Formulación de la función incremental de exergía asociada a la entrada - salida de cada unidad.
6. Formulación del costo de manufactura exergético.

Construcción del diagrama funcional. Un caso sencillo

En la Figura 3 se muestra un caso sencillo de cogeneración a efectos de ilustrar la construcción del diagrama funcional correspondiente, de acuerdo a la metodología desarrollada por Luz Silveira (1998).

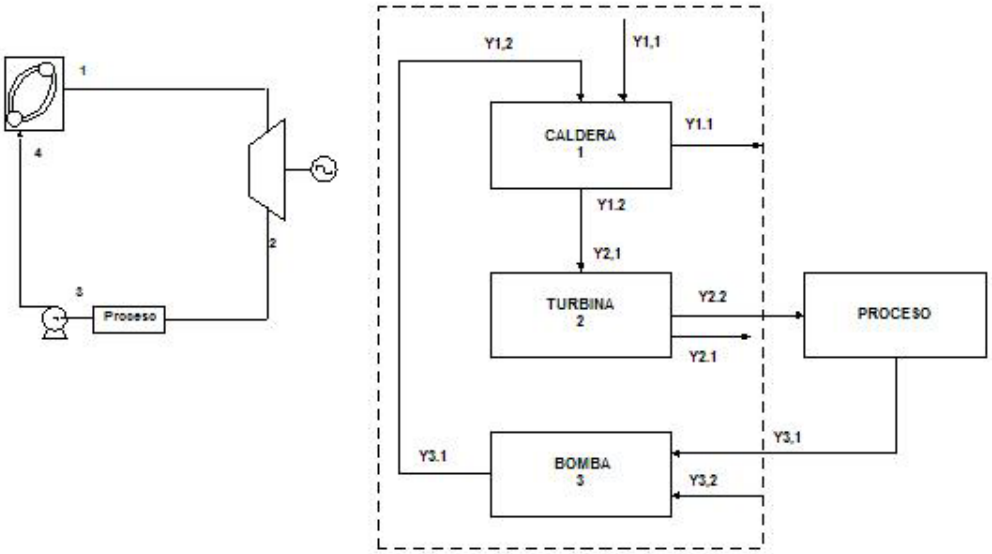


Figura 3: Construcción del diagrama funcional

La principal ventaja de este método es su bajo esfuerzo computacional, porque es un método algebraico directo, de fácil implementación teniendo en cuenta las posibilidades que ofrece de manipular los parámetros seleccionados.
Cada unidad componente de la planta recibirá un número identificatorio, el cual permitirá visualizar la trasposición del sistema de cogeneración mostrado al diagrama funcional del sistema considerado.
El diagrama funcional del sistema representa las unidades reales interconectadas por lineas de funciones exergéticas.
Obsérvese que los flujos considerados en la Figura 5 se refieren a incrementos exergéticos y no al valor absoluto de esta propiedad termodinámica.
La línea funcional de frontera separa los insumos y productos del sistema energético con el medio exterior, y por lo tanto, las necesidades térmicas de proceso (clientes) son externos al sistema energético en cuestión.
La nomenclatura utilizada es la siguiente:

Y	Funciones exergéticas en base incremental
$Y_{i,j}$	j-ésima entrada a la i-ésima unidad
$Y_{i.k}$	k-ésima salida de la i-ésima unidad

Las funciones exergéticas asociadas a las unidades reales pueden escribirse como:

Unidad 1. Caldera

$$Y1,1 = \dot{E}comb = mcomb\ PCI \quad [4]$$

$$Y1.1 = \dot{E}g = mg\ Cp\ \Delta T \quad [5]$$

$$Y1.2 = mv\ (ex1 - ex4) \quad [6]$$

$$Y1,2 = Y3.1 \quad [7]$$

Unidad 2. Turbina de vapor/ Generador eléctrico

$$Y2.1 = \dot{E}\ p \quad [8]$$

$$Y2.2 = mv\ ex2 \quad [9]$$

$$Y2,1 = Y1.2 \quad [10]$$

Unidad 3. Bomba de agua/motor eléctrico

$$Y3.1 = mv\ (ex3 - ex4) \quad [11]$$

$$Y3,1 = mv\ ex3 \quad [12]$$

$$Y3,2 = \dot{W}\ bomb = mv\ (h3-h4) / \eta b \quad [13]$$

Caso de estudio seleccionado. Un diagrama funcional más complejo

Se seleccionó como caso de estudio el Ingenio Concepción (CACSA) de la Provincia de Tucumán, Argentina, por las posibilidades que presenta esta industria para cogeneración y el impacto que significaría sobre las economías regionales la posibilidad de racionalizar el consumo de energía.
Como se observa en la Figura 4 se presentan dos tipos de demanda de potencia: generación de energía eléctrica y energía de accionamiento mecánico para las distintas unidades de proceso. A su vez, existen dos demandas de calidades distintas de vapor. Los datos más significativos del ingenio Concepción

estudiado por Colombo y Luz Silveira (2001) se muestran en la Tabla III. El sistema opera en paridad térmica, dado que la prioridad es satisafacer la demanda de calor del proceso. El correspondiente diagrama funcional se muestra en la Figura 5.

Tabla II. Nomenclatura utilizada en la definición de funciones exergéticas

$\dot{E}p$	Potencia demandada
mcomb	Caudal de combustible consumido
PCI	Poder calorífico inferior del combustible
$\dot{E}comb$	Exergía del combustible
$\dot{E}g$	Exergía de los gases de escape
mg	Caudal de gases de escape
Cp	Calor específico promedio de los gases de escape
ΔT	Diferencia de temperatura en los gases de escape
mv	Caudal de vapor producido
exi	Nivel exergético de la corriente i
$\dot{W}$ bomb	Trabajo necesario en la bomba
hi	Entalpía de la corriente i
ηb	Eficiencia de la bomba

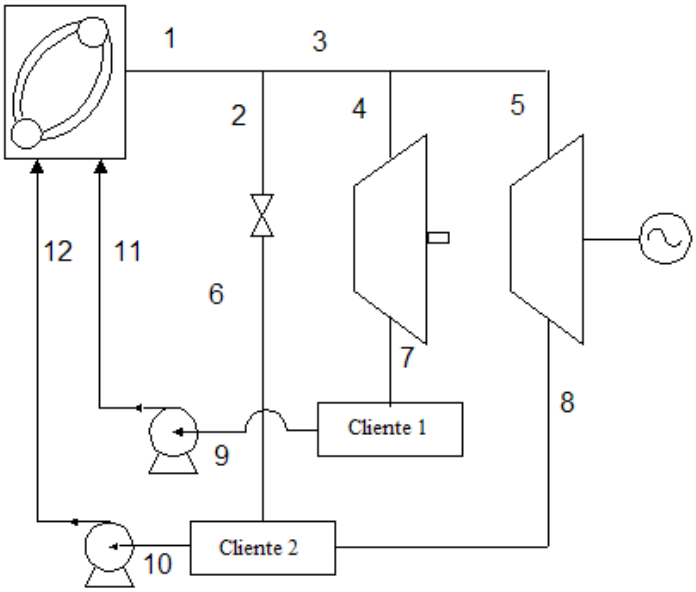


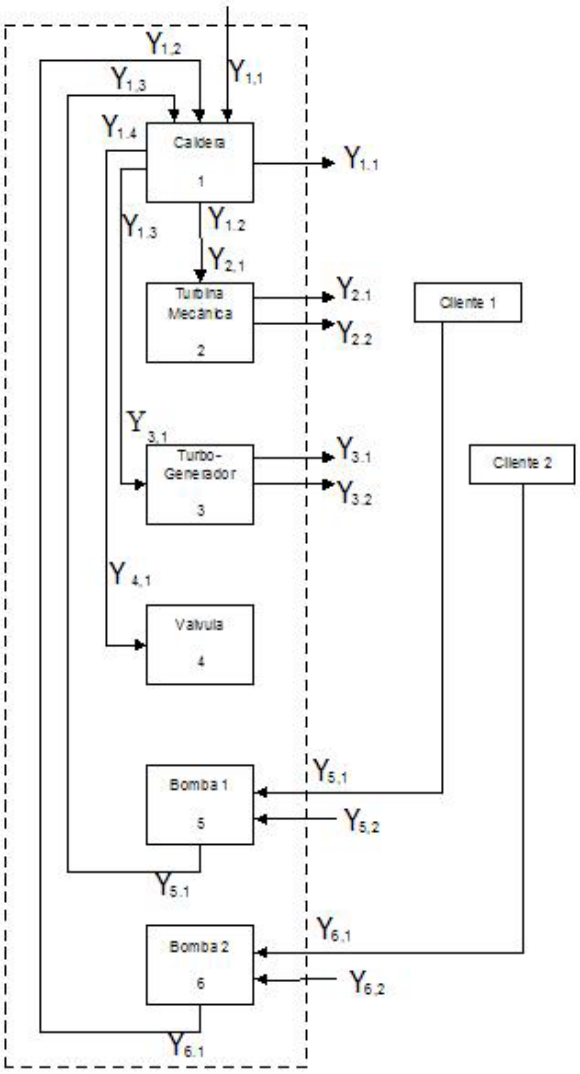
Figura 4: Representación esquema energético de CACSA

Tabla III: Datos significativos de CACSA

Molienda	891 tn/h	Demanda vapor cliente 2	162 tn/h
Fibra en caña	14 %	Demanda eléctrica	9355 kw
Humedad del bagazo	50 %	Horas de operación anuales	2400
Sacarosa en bagazo	2 %	Contrapresión cliente 1	0.22 MPa
Bagazo producido	281 tn/h	Contrapresión cliente 2	0.18 MPa
Demanda vapor cliente 1	380 tn/h		

Utilización del diagrama funcional. Definición del costo de manufactura exergético (CMEX).

El objetivo de la optimización termoeconómica es la selección dentro de un conjunto de soluciones posibles, de aquella solución que sea la mejor, con respecto a un criterio de performance especificado y que satisfaga las restricciones impuestas al problema bajo estudio.



Unidad 1:

Y1,1= exergía combustible + aire

Y1.1= exergía gases

Y1.2= m emec (ex1- ex 7)

Y1.3= m eelec (ex1 – ex8)

Y1.4= m valv (ex1 – ex 6)

Y1.2= Y6.1

Y1,3= Y5.1

Unidad 2 : Turbina accionamiento mecánico

Y2.1= m emec (ex4 – ex7)

Y2.2= m cliente1 ex7

Y2,1= Y1.2

Unidad 3: Turbina a vapor y generador eléctrico

Y3.1= Energía eléctrica

Y3.2= m cliente 2 ex8

Y3,1= Y1.3

Unidad 4: Válvula de expansión

Y4,1= Y1.4

Unidad 5: Bomba 1

Y5,1= m cliente1 ex9

Y5,2= mcliente 1 ex11

Unidad 6: Bomba 2

Y6,1= m cliente 2 ex10

Y6,2= mcliente2 ex12

Figura 5: Diagrama funcional del caso de estudio seleccionado

La elección de este criterio es un paso esencial en cualquier estudio de optimización, pues el efecto de imponer diferentes objetivos, producirá diferentes soluciones óptimas.

El costo de manufactura exergético ha sido definido por Luz Silveira (1998) teniendo en cuenta los costos de producción de los insumos asociados a la producción de frío o calor en el proceso y la energía eléctrica comprada o producida por generación.

El costo de manufactura exergético explota la capacidad del diagrama funcional para obtener expresiones sencillas de los costos asociados a las funciones exergéticas .

Obsérvese que sólo serán importantes para la determinación del costo de manufactura exergético (CMEX), las funciones exergéticas que atraviesan la línea de frontera del diagrama funcional correspondiente. De acuerdo al diagrama funcional de la Figura 7 el CMEX para este sistema estaría dado por:

CMEX = C electricidad + C vapor + (1-θ) CC electricidad - θ P venta electricidad [14]

donde :

C electricidad : costo de generación de electricidad
C vapor : costo de generación de vapor
CC electricidad : costo de compra de electricidad a la red
P venta electricidad : precio de venta a la red de electricidad generada
θ = 0 corresponde a déficit de energía eléctrica y θ = 1 a superávit

El costo de generación de electricidad está compuesto por el producto de un coeficiente unitario de costo, dependiente del diagrama funcional, y la generación de energía eléctrica, es decir:

C electricidad = coel Y 3.1 [15]

El costo de generación de vapor está compuesto por el producto de un coeficiente unitario de costo, dependiente del diagrama funcional, y la generación de calor (o frío) útil, es decir

C vapor = cov (Y2.2-Y5,1+Y3.2-Y6,1) [16]

El costo de la electricidad comprada a la red está compuesta por el producto del coeficiente unitario de costo y la cantidad de energía comprada, es decir

CC electricidad = cco (Ep-Y3.1) [17]

Donde Ep es la demanda eléctrica
El excedente de energía eléctrica está compuesto por el producto del precio unitario de venta y el excedente de energía eléctrica, es decir

P venta electricidad = pv (Y3.1-Ep) [18]

La utilización de diagramas funcionales permite llevar a cabo en forma sencilla la siempre engorrosa tarea de distribución de costos entre productos (calor y energía eléctrica) cuando se utilizan recursos comunes a ambos (Silveira y Tuna, 1999).
El coeficiente unitario de costo de generación de electricidad [$ / kwh] puede definirse como:

$$\text{coel} = \frac{I_{pl}\ f}{H\,(Y_{2.1} + Y_{2.2} + Y_{3.1} + Y_{3.2} - Y_{5,1} - Y_{6,1})} + \text{ccomb}\,\frac{E_c - Y_{2.1} - (Y_{2.2} - Y_{5,1}) - (Y_{3.2} - Y_{6,1})}{Y_{3.1}} \qquad [19]$$

El coeficiente unitario de costo de generación de vapor [$ / kwh] puede calcularse como:

$$\text{cov} = \frac{I_{pl}\ f}{H\,(Y_{2.1} + Y_{2.2} + Y_{3.1} + Y_{3.2} - Y_{5,1} - Y_{6,1})} + \text{ccomb}\,\frac{Y_{2.1} + (Y_{2.2} - Y_{5,1}) + (Y_{3.2} - Y_{6,1})}{(Y_{2.2} - Y_{5,1}) + (Y_{3.2} - Y_{6,1})} \qquad [20]$$

Donde I_{pl} representa la inversión en la planta de cogeneración [$] y está compuesta por la suma de las inversiones correspondientes a una planta convencional de potencia, la turbina adicional de generación de energía de accionamiento mecánico y una bomba; f es el factor de anualización utilizado para convertir las inversiones a una base temporal, H las horas de operación al año, Ec es la exergía del

combustible y ccomb el costo de combustible . Las expresiones de los costos correspondientes a las inversiones según Colombo y Luz Silveira (2001) están tomadas de Boehm (1987).

Determinación del costo de combustible

a) Base energética

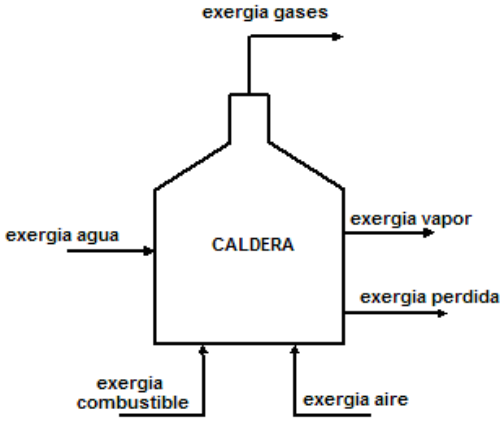
Como se mencionó anteriormente el combustible utilizado es el bagazo que está formado por el residuo fibroso de la extracción de jugo de azúcar. Por esta razón, debe tratarse al bagazo como un "commodity" con un costo intra-empresa. Este tratamiento implica considerar el combustible alternativo (gas natural) que debería utilizarse para obtener la misma capacidad de generación de vapor. Ello implica la determinación del rendimiento de la caldera operando con bagazo, para lo cual se tendrá en cuenta el poder calorífico del bagazo y las pérdidas que ocurren en el proceso de combustión. Colombo y otros (2002) han derivado la siguiente expresión para obtener la equivalencia energética entre bagazo y gas natural que sirve de base para determinar el costo del bagazo.

$$\frac{\eta \, PCI \, F_{bag}}{4.18} = PCG \, \eta_g F_g \qquad [21]$$

Donde PCG, ηg y Fg representan razonablemente el poder calorífico medio, el rendimiento en la combustión y el caudal de gas natural, mientras que PCG, ηg y Fg representan el poder calorífico medio, el rendimiento en la combustión y el caudal de bagazo.

b) Base exergética

A efectos de derivar una expresión para calcular el equivalente exergético del bagazo se realizará un balance exergético macroscópico sobre la caldera. En la Figura 6 se esquematizan los flujos exergéticos involucrados, como así también las hipótesis de cálculo.



Hipótesis de cálculo

1. **La exergía del combustible está dada por su poder calorífico inferior**
2. **El vapor obtenido se encuentra a 2.1 MPa y 300 °C**
3. **Temperatura de los gases de salida: 250 °C**
4. **Presión de los gases de salida: 0.1013 MPa**
5. **Se obtienen 25.73 kg de gases secos/ kg gas natural**
6. **Se obtienen 5.668 kg gases secos/ kg bagazo**

Figura 6: Hipótesis de calculo del equivalente exergético del bagazo

Con estas hipótesis de cálculo puede derivarse la siguiente expresión para calcular el equivalente exergético del bagazo:

$$\frac{F_{bg} \, ex_{bg}}{F_{gas} \, ex_{gas}} = \frac{2.26 \, \eta_{exbg}}{17.34 \, \eta_{exgas}} \qquad [22]$$

donde F, ex y η_{ex} representan el caudal, la exergía y el rendimiento exergético del gas natural y del bagazo respectivamente.

Considerando valores medios para la tarifa y los parámetros del gas natural en la provincia de Tucumán, se obtuvo un valor para el bagazo de 18 $/tn sobre base exergética y 14 $/tn sobre base energética. Teniendo en cuenta que estos valores se encuentran dentro del orden de magnitudes que habitualmente se pagan por la materia prima (caña de azúcar) este costo implicaría que el productor de azúcar debe considerarse como un productor de energía, siendo el azúcar un subproducto. En vista de ello, se considerará este precio como un valor máximo y se presentarán diferentes escenarios para el precio del bagazo en el cálculo de optimización.

Representación del problema de optimización estructural.

De acuerdo a Biegler et al (1997) pueden desarrollarse distintos algoritmos de resolución para los problemas de optimización de estructuras, dependiendo de la representación seleccionada para el problema. En estas representaciones, el objetivo es incluir todas las alternativas que sean factibles para encontrar la solución óptima.
Básicamente, el problema de optimización estructural puede plantearse como:

min Costo = costo de inversión + costo de operación
sujeto a balances de masa y energía
restricciones lógicas

En el caso que nos ocupa CMEX ha sido definido como la función objetivo a minimizar, con las restricciones determinadas por los balances de masa y energía a través de las ecuaciones ya presentadas. Las restricciones lógicas pueden ser consideradas desde la enumeración exhaustiva de todas las posibilidades hasta la más sofisticadas técnicas de programación matemática. Ello da lugar básicamente a los dos tipos principales de representación: estructura en forma de árbol y superestructura.
En la estructura en forma de árbol se enumeran (explícitamente o implícitamente) los distintos nodos del árbol de decisiones, mientras que en la superestructura se trata de representar todas las posibilidades que podrían presentarse a través de variables binarias.

El modelo mezcla entera lineal (MILP)

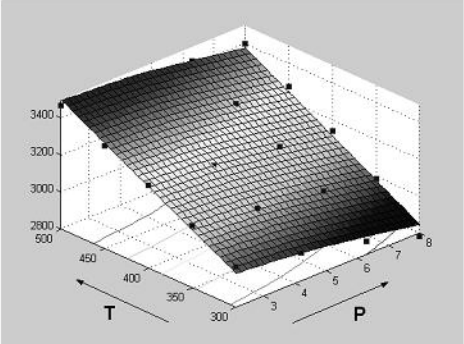
En general, los problemas involucrados serán del tipo no lineal en las propiedades termodinámicas del vapor y las funciones cóncavas de costos de equipos y cuando se consideran distintas alternativas de optimización estructural, ello nos conduce a grandes problemas de optimización no lineal entera mixta (MINLP), de muy difícil resolución, dependiendo el resultado obtenido del punto inicial y sin garantizar que se ha obtenido el óptimo global del sistema.

A efectos de resolver el problema planteado, se desarrolló un modelo ad-hoc de mezcla entera lineal, que puede conducirnos a un óptimo global, en función de las hipótesis planteadas, para lo cual se siguieron las etapas que se indican a continuación:

<u>Etapa 1: Linealización de las propiedades del vapor</u>

Dentro del rango de interés, se correlacionaron la entalpía y entropía del vapor como función de la temperatura y presión.
Las estadísticas de la correlación obtenida para la entalpía y entropía pueden verse en las figuras 9 y 10 respectivamente.
Como puede apreciarse en esas correlaciones, mientras que la entalpía y entropía varían linealmente con la temperatura, la situación es muy diferente con respecto a la presión.
Para conseguir una expresión lineal sólo en función de la temperatura, se forzó a la presión a tomar valores discretos usando variables binarias según las ecuaciones 23 a 25, donde P_k es un conjunto de valores numéricos de P representativos del rango de interés.

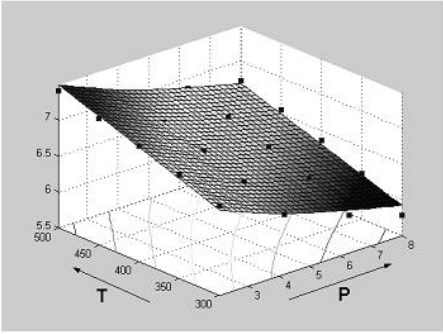
$$h(P,T) = P^{\alpha}\left(A + BT\right) - C\left(P - 2.1\right)$$



Coeficiente	Valor	Error Standard
α	0.03	± 0.01
A	2200	± 40
B	2.5	± 0.1
C	40	± 10

Figura 9: Correlación de la entalpía del vapor

$$s(P,T) = P^{\alpha}\left(A + BT\right) - C\left(P - 2.1\right)$$



Coeficiente	Valor	Error Standard
α	- 0.05	± 0.01
A	5.7	± 0.1
B	0.0042	± 0.0002
C	0.06	± 0.03

Figura 10: Correlación de la entropía del vapor

$$P_k = \left\{P_1, P_2, \ldots, P_n\right\} \qquad [23]$$

$$P = \sum_i y_i \; P_k \qquad [24]$$

$$\sum_i y_i = 1 \qquad [25]$$

<u>Etapa 2: Linealización de los flujos de exergía.</u>

Para evitar las bilinealidades derivadas del producto del caudal por la exergía específica, se definirán valores máximos y mínimos de la exergía total de una corriente, de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$Ex_i = \lambda \; exer_{\min} + \left(1 - \lambda\right) exer_{\max} \qquad [26]$$

$$0 \le \lambda \le 1 \qquad [27]$$

<u>Etapa 3: Linealización de las funciones de costo de equipos.</u>

Se procedió a correlacionar linealmente las expresiones de costos para los rangos de aplicación de las variables de interés, como se muestra en la Tabla IV

Tabla IV: Linealización de funciones de costo de equipos.

Rango de aplicación	Ecuación	R^2
0 – 65 Mw	Ipot = 10^6 + 300491 Eg	0.9970
5000 – 50000 kW	Iturb = 37768 + 0.998 Em	0.9662
0 – 300 kW	Ibomb = 2727.9 + 41.184 Eb	0.9634
1 – 7 HP	Iturbgas = 1033.5 + 0.0836 Etg	0.9981
5 - 10^5 Kw	Icond = 99017 + 4.0645 Q	0.9593

Definición de la superestructura

En la Figura 11 puede apreciarse la superestructura resultante, donde se tuvieron en cuenta tanto para la turbina que cubre la demanda de accionamiento mecánico, como para la turbina que cubre la demanda de electricidad, que el escape puede atender las demandas de los clientes 1 y/o 2 y que además pueden generar energía adicional en una turbina de extracción y/o condensación. Se incluyó también para el análisis para la generación de energía eléctrica una turbina de gas que puede abastecer la demanda de calor del cliente 1 .

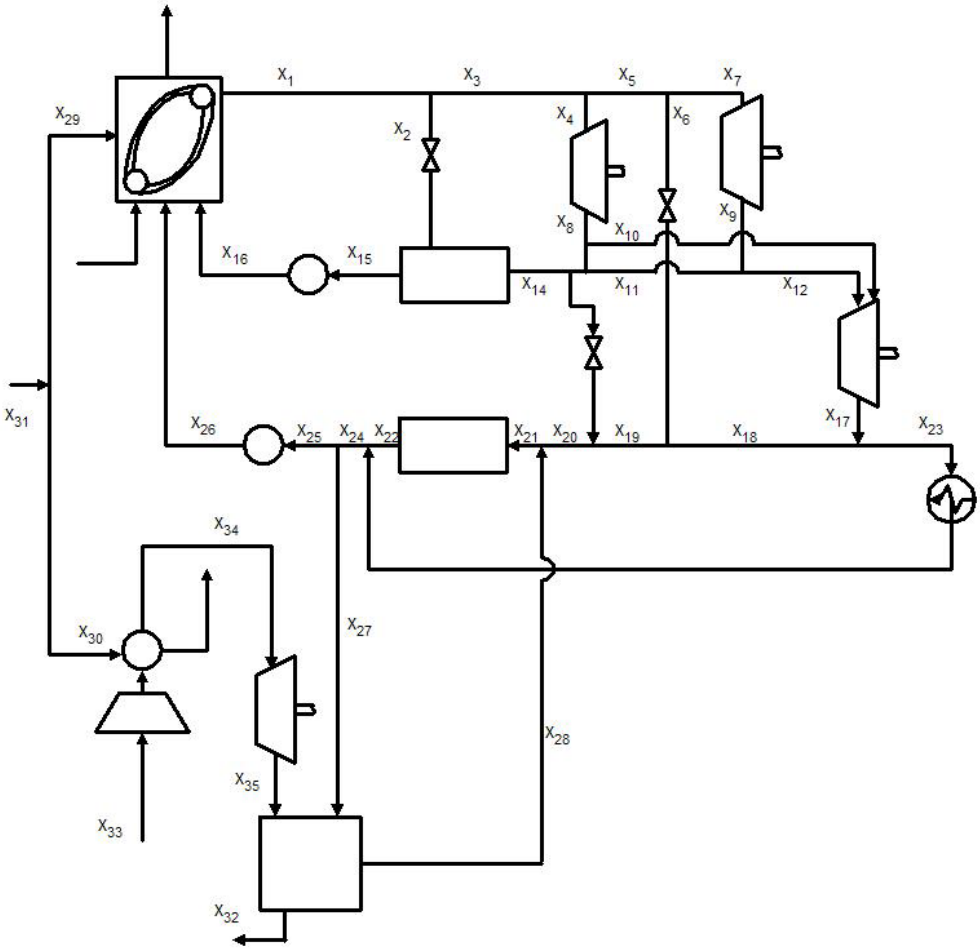


Figura 11: Superstructura para optimización estructural y operativa

Resultados de la optimización

Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 12 para los distintos escenarios propuestos, indicándose a través de símbolos los distintos precios de bagazo considerados y con números las presiones y temperaturas de generación de vapor de los distintos casos.
El precio del bagazo es la variable que tiene un gran impacto sobre CMEX, mucho más importante que el efecto de la presión y del precio de venta de la electricidad generada que son de magnitud similar similar. Además, el efecto del precio del bagazo es mayor cuando se consideran escenarios caracterizados por los valores más altos de las variables consideradas. Ello implica que la determinación del valor del combustible utilizado (bagazo) de ninguna manera es una cuestión menor, y debe ser tratada lo más cautelosamente posible en la formulación de problemas de optimización de este tipo de agroindustrias.
El caso de estudio presentado muestra que existiendo posibilidad de venta de energía eléctrica excedente a la red, la turbina a vapor resultó ser la mejor opción . Las alternativas analizadas de aumento de presión de generación sólo son económicamente provechosas si se puede conseguir un ahorro de las necesidades del cliente 1, siendo este consumidor el "cuello de botella" exergético del sistema.

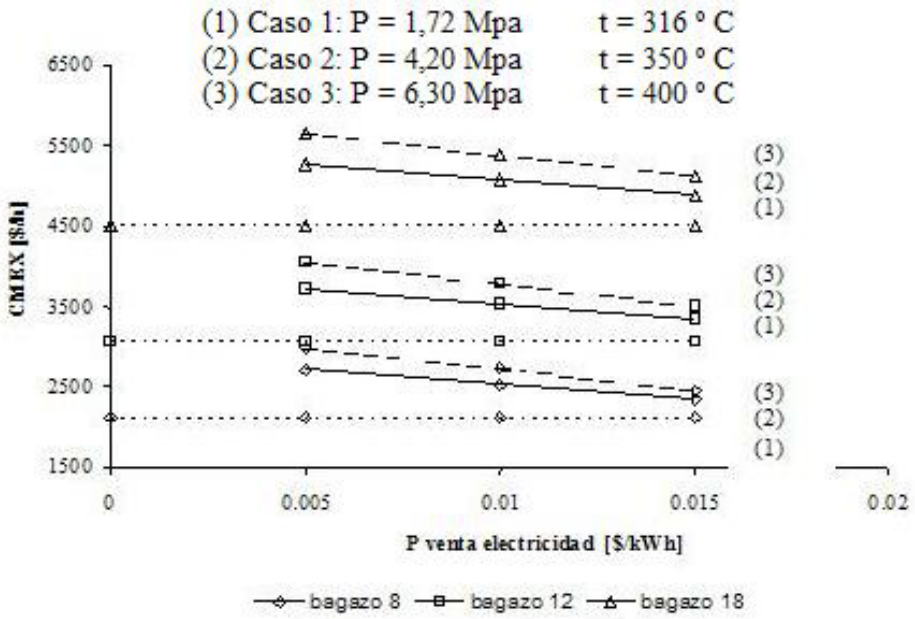


Figura 12: Resultados de la optimización

Conclusiones

Los beneficios de adoptar la metodología propuesta para el análisis de sistemas de cogeneración de alta eficiencia pueden resumirse de la siguiente manera:

> La metodología híbrida propuesta a través de la combinación de métodos que utilizan herramientas termodinámicas con énfasis en la 2da. Ley y programación matemática permite que se aborden casos complejos explotando las mejores cualidades de ambos para el análisis de distintos escenarios con pequeño esfuerzo computacional, gran fiabilidad y flexibilidad.

Agradecimiento

Este trabajo fue desarrollado en el marco de los Proyectos WESAP (INT/01/K07 - financiado por The Perez Guerrero Trust Fund of the Group of 77 a través del Programa de la Naciones Unidas Para el Desarrollo - PNUD) e Ingeniería de Sistemas de Procesos (auspiciado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán).
Los autores agradecen al personal técnico de CACSA por su valiosa colaboración.

Referencias

-Barreda, E. R., Cerqueira, S. A. A. G., Nebra, S. A., (1998*). Energy Conversion and Management*, v.39, n.16-18, pp.1773 - 1780.
-Barreda del Campo, E.R., Nebra, S. A., (1999). *COBEM99: XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica,* Águas de Lindóia.
-Biegler, L.T., Grossman, I.E., Westerberg, A.W.,(1997), *Prentice Hall International Series*.
-Boehm, R.F., (1987), *John Wiley & Sons, New York*.
-Coelho, S.T., Oliveira Junior S., Zylbersztajn, D., (1997). *XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica COBEM 97*, Bauru-SP.
-Colombo, M. and Luz Silveira J., (2001), *5th CAIP Computación Aplicada a las Industrias de Procesos*
-Frangopoulos, C. A.,(1987), *Energy*, v. 12, n 7, pp 563-571
-Kotas, T., J. (1985) Butterworths, London
-Luz Silveira, J., (1998). *Tesis de Libre Docencia*. Universidad Estatal Paulista, Brasil
-Silveira, J. L and Tuna, C. E, (1999). *5th ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference*, p.14-19.
-Szargut, J., Morris, D. R., Steward, F. R. (1988) *Hemisphere, New York*

OPTIMIZACION DEL CONSUMO DE AGUA Y ENERGIA EN LA PRODUCCION DE ETANOL

Silvia Saez, Mauricio Colombo, Teresa Unzaga, Mario Cesca, Maria Rosa Hernández

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología – Universidad Nacional de Tucumán
Av. Independencia 1800 – (4000) San Miguel de Tucumán – Tucumán - Argentina
e-mail: rhernandez@herrera.unt.edu.ar

Palabras Clave: Destilación, Agua de refrigeración, Optimización, Industria Alcoholera

Resumen

En la producción de etanol azeotrópico vía fermentación de melaza, proveniente de una planta de producción de azúcar, el sistema de separación para obtener etanol libre de impurezas más frecuentemente usado es la destilación. Los niveles de impurezas aceptados en el alcohol etílico dependen de su uso. Para su uso en alimentos y químicos se requiere que el etanol esté casi libre de impurezas. Debido a la fuerte interacción entre las moléculas polares que conforman la mezcla, las propiedades de equilibrio entre fases dependen de la concentración de agua.
El agregado de agua en el tren de separación es una política usual seguida en la industria para incrementar las volatilidades relativas de las impurezas con respecto al etanol, lo que trae como consecuencia un mayor consumo de energía. El proceso de destilación se simuló utilizando Aspen Plus.
En este trabajo se analiza la influencia de las variables de proceso en un esquema de destilación convencional que consiste en una secuencia de tres columnas. Para ello se selecciona una función objetivo de naturaleza económica que toma en cuenta los diferentes valores de productos y subproductos y el costo de servicios auxiliares.
Entre las muchas posibilidades de seleccionar variables de diseño se eligen el agua de dilución y la relación de reflujo de las diferentes columnas del tren de separación.
Los resultados obtenidos mostraron que la variable de optimización más importante es el agua de dilución agregada.
El problema bajo consideración no presenta objetivos conflictivos, puesto que la formulación del problema para maximizar beneficios no compromete el impacto ambiental. Se relaciona el impacto ambiental con el consumo de agua de condensación de ambas columnas y la cantidad de efluentes líquidos resultantes de las modificaciones propuestas.

OPTIMIZATION OF WATER AND ENERGY CONSUMPTION IN THE ETHANOL PRODUCTION

Keywords: Distillation, Cooling water, Optimization, Alcohol industry

Abstract

In the production of azeotropic ethanol via fermentation of molasses from a sugar plant, the separation system to obtain ethanol free from harmful impurities most frequently used is distillation. The accepted impurity level in the ethylic alcohol depends on alcohol usage. For chemical and food uses it is required that the ethanol to be almost free of these impurities. Due to the strong interaction among the polar

molecules that conform the mixture, the phase equilibrium properties strongly depend on water concentration.
The addition of water in the separation train is an usual policy in the ethanol industry to increase the relative volatilities of the impurities-ethanol, therefore a large percentage of the energy consumed in the distillation process is used to remove these impurities. The distillation process is simulated using Aspen Plus.
In this work the influence of the key process variables is analyzed simulating a conventional ethanol distillation scheme that consists of a sequence of three columns. In order to meet the target, an objective function of economic nature that takes into account the different weights of products and by-products and the cost of utilities was chosen.
Among the many possibilities of choosing design variables for the process optimization, we select the dilution water fed and the reflux ratio of the different columns of the separation train.
The problem under consideration does not present conflicting objectives, since the formulation of the problem to maximize benefits does not compromise the environment. The environmental impact is related to the consumption of condensation water of both columns and the amount of residual liquid of the proposed modifications.

1. Introducción

A principios del siglo XIX, la investigación sobre la separación de mezclas hidroalcóholicas generó los fundamentos teóricos y el desarrollo de equipos de destilación. Surgen en esta época, los esquemas de producción de alcohol industrial, consistentes en tres equipos de destilación que se diferencian muy poco de los actuales.
En las ultimas tres décadas una de las áreas de mayor crecimiento es la predicción de propiedades termodinámicas. En el presente, las columnas de destilación son calculadas con la asistencia de programas de simulación digital (en este trabajo se usa ASPEN PLUS. (2000). Aspen Technology Inc., Massachusetts, USA), en los cuales el cálculo de las propiedades termodinámicas es de fundamental importancia. Para ello, se utilizan métodos predictivos donde a partir de una pequeña cantidad de información experimental de entrada, se pueden calcular las propiedades termodinámicas en mezclas multicomponentes en los rangos de temperatura, presión y composición en los cuales opera el proceso bajo estudio. El modelo termodinámico utilizado aquí es UNIFAC - DORTMUND (1993).
El uso de los nuevos desarrollos teóricos en el estudio del proceso de obtención de alcohol etílico, presenta gran interés debido a que se trata de un sistema en el que se han identificado un elevado numero de contaminantes, como lo determinó Bruning (1980), que deben ser eliminados en diferentes grados de acuerdo a las especificaciones impuestas al producto final, ya sea este destinado a combustibles, usos médicos, perfumes o a la preparación de bebidas. Para obtener el etanol con la pureza exigida, es necesario someter la mezcla hidroalcóholica a un proceso de concentración para eliminar el agua y las impurezas . Para ello, se hace uso de distintos esquemas de secuencias de columnas de destilación con múltiples extracciones laterales y corrientes de reciclo.
La importancia del comportamiento de las impurezas fue resaltada en los trabajos de Gonzáles (1982), Di Risio y otros (1992), Únzaga y otros (2001, 2002) para determinar la ubicación y cantidad de las extracciones laterales y de las alimentaciones secundarias para reducir las pérdidas de etanol.
Debido a la fuerte interacción entre moléculas polares, las propiedades del equilibrio dependen fuertemente de la concentración de agua. Una política frecuentemente usada es la dilución de la mezcla hidroalcohólica para incrementar la volatilidad relativa entre las impurezas y el etanol, a consecuencia de esto una gran cantidad de energía se utiliza en el proceso de destilación para remover estas impurezas.
En este trabajo se estudia la separación etanol-agua, teniendo en cuenta que se trata de una mezcla de múltiples componentes, para eliminar los componentes volátiles analizando el efecto de las condiciones de operación en la economía del proceso y teniendo en cuenta su impacto en el ambiente. La herramienta es la simulación.

Esquema de destilación estudiado

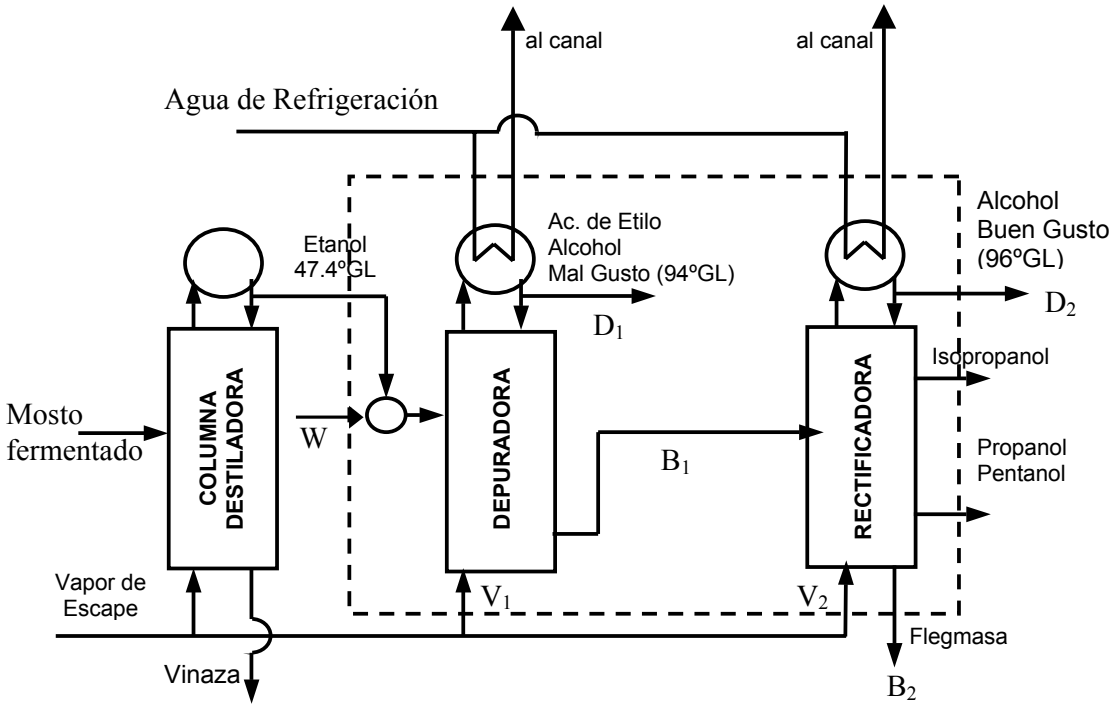


Figura 1: Esquema de destilación bajo estudio

En el esquema convencional de destilación, la primera es una columna de agotamiento, donde los componentes pesados y los gases no condensantes provenientes del proceso de fermentación, se eliminan. El destilado es una mezcla de etanol – agua y diversas impurezas.
Los principales contaminantes considerados en este estudio son: acetato de etilo, 2-propanol, 1-propanol y pentanol. Los alcoholes superiores al etanol se comportan como componentes híbridos, que se acumulan en ciertas zonas de la columna por lo que deben ser eliminados mediante extracciones laterales, que se encuentran en la última columna, de rectificación.
La eliminación de los componentes más volátiles tienen lugar en el tope de la segunda columna (columna depuradora), donde se obtiene un subproducto de etanol de 92 – 94 ºGL (D_1), de menor valor que el etanol de 96 ºGL (D_2), el que se obtiene como producto de tope de la tercera columna. El acetato de etilo es el componente clave para la categorización del alcohol como producto o subproducto. En este trabajo, se estudiará la porción del esquema encerrada por línea de puntos en la Figura 1, pues se quiere analizar una política usual en las destilerías de alcohol, como es el agregado de agua de dilución a la alimentación de la segunda columna.

Tabla I: Especificaciones del sistema

Variable	2da Columna	3ra Columna
Número de etapas	11	23
Plato de alimentación	4	5
Recuperación de acetato de etilo	88.9 %	-
Concentración de etanol en el destilado	92 – 94 ºGL	96 ± 1 ° GL
Concentración de etanol en el fondo	-	< 1 ° GL
Relación de reflujo	4 - 8	4.75 – 5.5
Presión de vapor de alimentación	1.86 [Kg/cm^2]	1.86 [Kg/cm^2]
Presión de la columna (Hipótesis de cálculo p = constante)	1.82 [Kg/cm^2]	1.82 [Kg/cm^2]

Resultados de la simulación

Mediante la simulación se observa que la dilución de la alimentación mejora fuertemente la remoción del acetato de etilo (Figura 2)

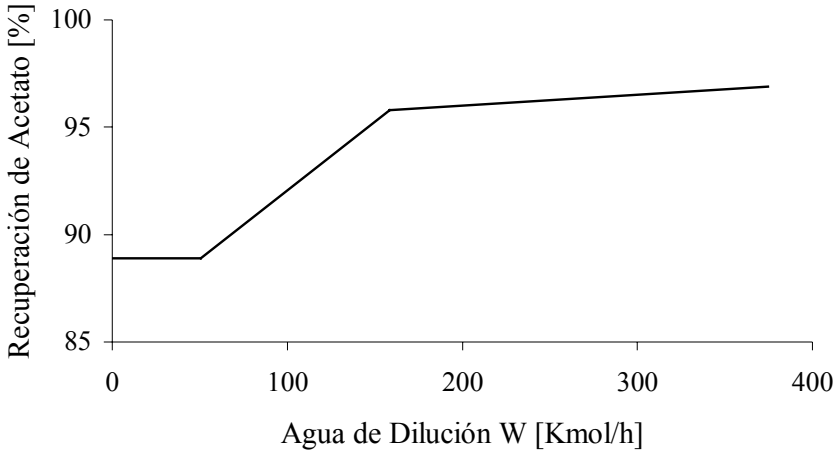


Figura 2: Efecto de la dilución de la alimentación en la recuperación de acetato de etilo

El aumento en la recuperación del acetato de etilo con el agregado de agua trae como consecuencia una disminución en el caudal de destilado de la columna depuradora efecto que es deseable debido a que aumenta el caudal de destilado de la rectificadora, que es el producto principal, como se observa en la Figura 3.

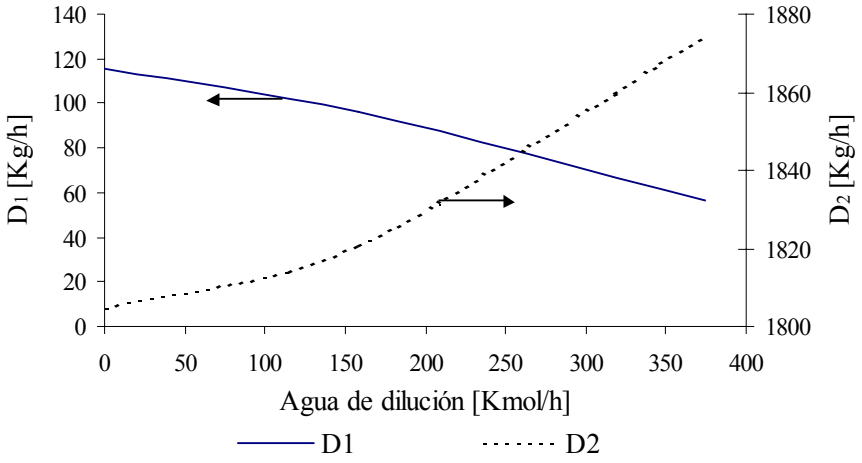


Figura 3: Variación de los caudales de destilados con el agua de dilución

El aumento del caudal de alimentación a la depuradora, por el agregado de agua tiene como consecuencia un aumento en el consumo de vapor en ambas columnas.

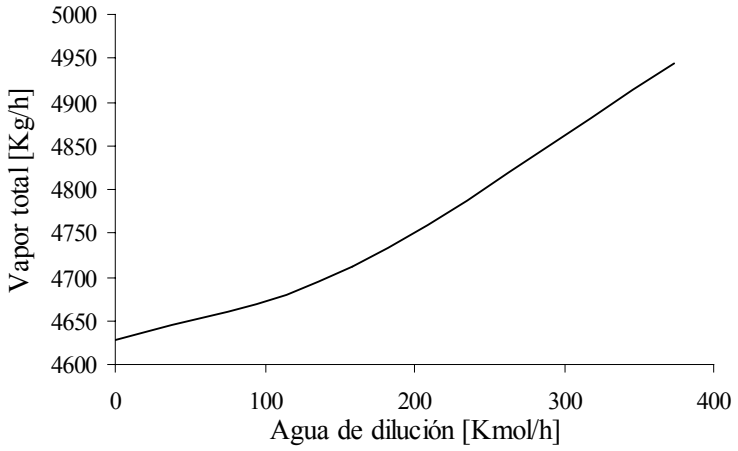


Figura 4: Variación del caudal de vapor total con el agua de dilución

Formulación del Problema de Optimización

Para poder analizar la influencia de las distintas variables, Unzaga y otros (2002) eligieron una función objetivo económica que tiene en cuenta los precios del producto y subproducto y el costo del vapor de las columnas depuradora y rectificadora.

$$FO\left[\$/h\right] = 0.27367\, D_2 + 0.07426\, D_1 - 0.0078\left(V_1 + V_2\right)$$

donde:

D_1: Caudal de destilado de la depuradora[Kg/h]
D_2: Caudal de destilado de la rectificadora [Kg/h]
V_1: Caudal de vapor de agua en la depuradora [Kg/h]
V_2: Caudal de vapor de agua en la rectificadora [Kg/h]

Se seleccionó como variables de optimización: caudal de dilución (W), relación de reflujo de la depuradora (R_1), relación de reflujo de la rectificadora (R_2).
Se llevó a cabo un diseño de experimentos factorial 2^3, donde los niveles de las variables se adoptan tomando en cuenta los límites de operabilidad. Un nivel de W = 0 corresponde a una alimentación de 47.4 ºGL, sin realizar dilución de la corriente de alimentación a la depuradora y el nivel alto equivale a 20 ºGL. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 5.

Tabla II: Niveles de las variables de optimización

VARIABLES	NIVEL	
	BAJO	ALTO
W [Kmol/h]	0	374
R_1	4	8
R_2	4.75	5.5

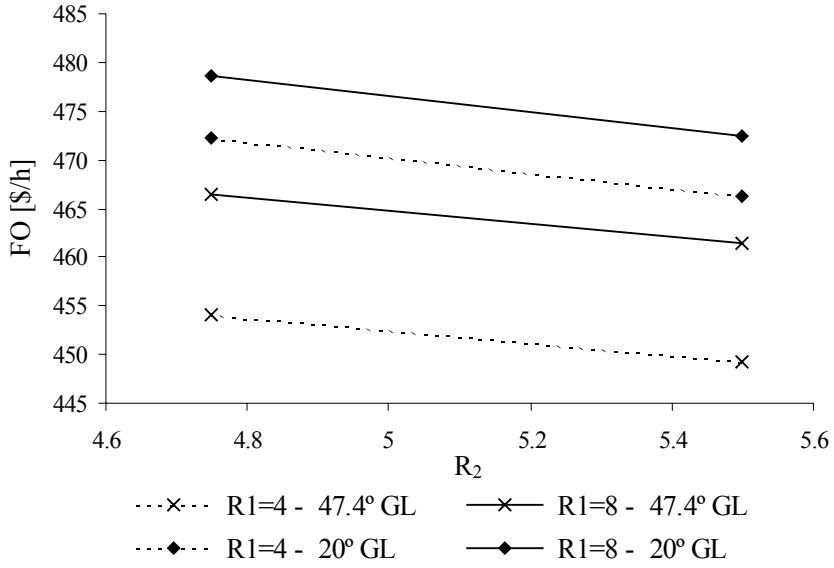


Figura 5: Efecto de las variables sobre la función objetivo

La influencia de cada variable en la FO se calcula como la diferencia entre los promedios de los valores de la función objetivo a dos niveles diferentes de la variable en consideración. Se observa en la tabla III que la función objetivo mejora con el incremento del agua de dilución y con el incremento del reflujo de la depuradora, mientras que disminuye con el reflujo de la columna rectificadora.
Además, en la Tabla III donde se muestra la sensitividad expresada como la variación porcentual de la función objetivo respecto de la variación porcentual de la variable, puede observarse que el agua de dilución es la variable que produce un efecto más pronunciado sobre la función objetivo

Tabla III: Influencia de las principales variables sobre la función objetivo

Variable	Influencia sobre FO	Sensitividad [%]
Agua de dilución (W)	+14.61	16.8
Relación de reflujo de 2da columna (R_1)	+9.17	1.99
Relación de reflujo de 3ra columna (R_2)	-5.5	-7.5

Las condiciones de operación óptimas obtenidas con la función objetivo económica seleccionada, corresponden a W=374 [Kmol/h], R_1=8, R_2=4.75.
Se analiza el efecto de dichas condiciones óptimas, en el consumo de agua de refrigeración usada en los condensadores de estas dos columnas.

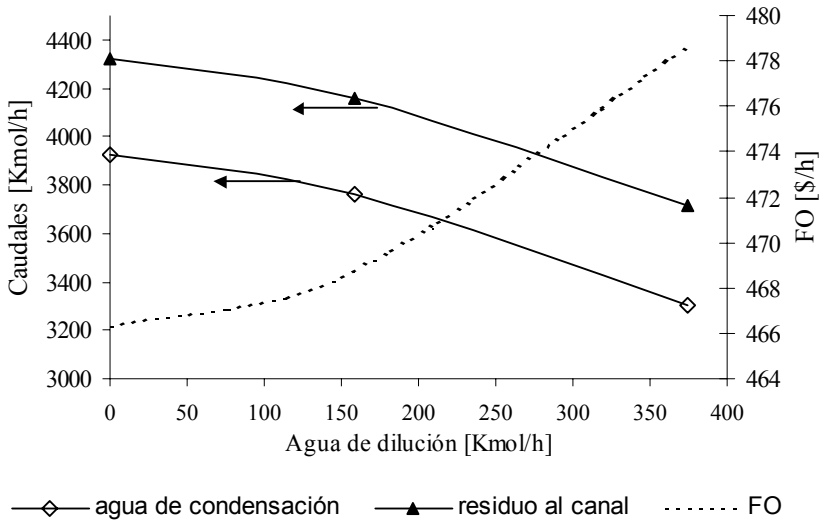


Figura 6: Efecto de la dilución sobre el consumo de agua de condensación, agua residual al canal y FO

Como se observa en la Figura 6 el consumo de agua de condensación disminuye con el aumento del agua de dilución, no presentando una situación de compromiso ambiental.
En la Figura 7, para aumentar la eficiencia en el uso de agua, se propone la recirculación del agua residual (Flegmasa), que proviene del vapor usado como agente energético en la destilación mas el agua separada de la mezcla hidroalcohólica.

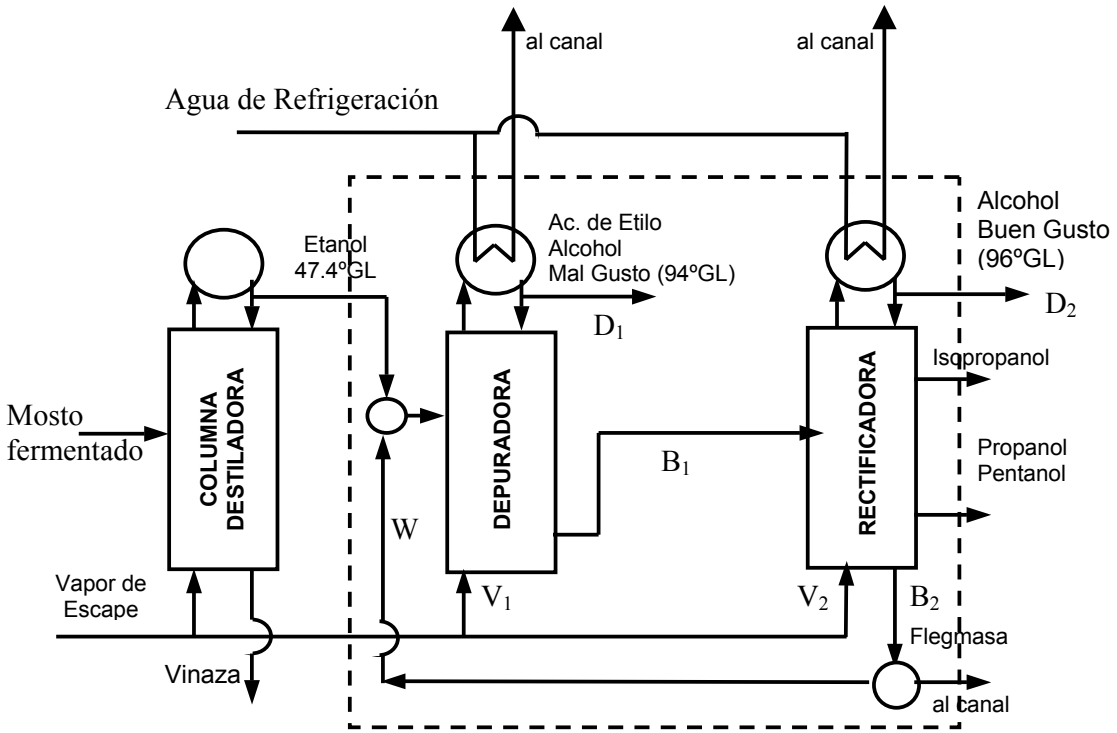


Figura 7: Esquema de destilación con recirculación

Con el propósito de evaluar la performance ambiental del proceso de rectificación de alcohol etílico realizando diluciones en las mezclas, se muestra en la Tabla IV el consumo de agua de refrigeración por litro de alcohol producido y la masa de agua residual por litro de alcohol producido con/sin dilución.

Tabla IV: Performance ambiental

	Sin dilución	Con dilución
Consumo de agua de refrigeración [Kg/l alcohol]	31	25
Salida de agua residual [Kg/l alcohol]	34	28
Consumo de vapor total [Kg/l alcohol]	2	2

Conclusiones

- La política del agregado de agua para la rectificación de alcohol etílico ha demostrado ser una práctica beneficiosa desde el punto de vista económico y ambiental.
  Con la dilución se logra mejorar fuertemente la remoción del acetato de etilo, disminuir el caudal de destilado de la columna depuradora y aumentar el caudal del producto principal, sin producirse un incremento en el consumo de energía por unidad de volumen de producto.
  El impacto ambiental, relacionado con el consumo de agua de condensación de ambas columnas y la recirculación de agua residual (Flegmasa) propuesta, aumentan la eficiencia en el uso del agua.

- La optimización de procesos de rectificación de alcoholes se lleva a cabo considerando objetivos económicos y ambientales. El problema bajo consideración no presenta objetivos conflictivos, puesto que la formulación del problema para maximizar beneficios no compromete el impacto ambiental.

Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado en el marco de los Proyectos WESAP (INT/01/K07 - financiado por The Perez Guerrero Trust Fund of the Group of 77 a través del Programa de la Naciones Unidas Para el Desarrollo - PNUD) e Ingeniería de Sistemas de Procesos (auspiciado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán).

Referencias

Bruning I. M. y Malm E. B., "Identificacao e quantificacao das impurezas presentes no etanol". Simposio CENPES, Petrobras, Río de Janeiro (1980).
Di Risio S., M. R. Hernández y M. R. Cesca, "Comportamiento de impurezas en la destilación de alcohol etílico". Memorias del III Simposio Latinoamericano de Propiedades de Fluidos y Equilibrio de Fases para el Diseño de Procesos Químicos. Pag. 1-18, Méjico (1992).
Gmehling J., Li J. Schiller M., A Modified UNIFAC Model 2. Present Parameter Matrix and Result for Different Thermodynamic Properties. Ind. Eng. Chem. Res. 32, 178. (1993).
Gonzáles C. A., "Reducao do volume de alcool baixo na producao de alcool hidratado". Boletín Técnico Copersucar, 18 (1982).
Únzaga T., Hernández M.R., Brignole E., Alternative Process to Refine Ethanol. ENPROMER 2001. Santa Fé. Argentina (2001)
Únzaga T., Hernández M. R., Brignole E.. "Removal of impurities in azeotropic ethanol mixtures" Equifase 2002. Foz do Iguazú, Brasil. (2002)

PERFILES TERMOENERGETICOS Y APROVECHAMIENTO DE LOS COPRODUCTOS DE LA CAÑA DE AZUCAR EN MÉXICO.

TERMOENERGETICAL PROFILES AND EXPLOITATION OF SUGAR CANE BY PRODUCTS IN MÉXICO.

Manuel Enríquez Poy.
poymanuel@prodigy.net.mx.

"RESUMEN"

Tradicionalmente, la industrialización de los coproductos de la caña de azúcar en México representa uno de los mayores aprovechamientos agroindustriales; no obstante, en los últimos años, severas crisis han venido convulsionando al sector, precisamente a raíz de la implantación de políticas neoliberales de la apertura indiscriminada de fronteras.

México ocupó lugar preponderante en lo que a producción de celulosa a partir de bagazo se refiere, hoy solamente quedan dos plantas utilizando dicha materia prima, con peligro de sustituirla por otros sucedáneos (papel destinado a pulpas importadas).

La producción de etanol, ha quedado relegada debido a su elevado costo de producción y a la ausencia de planes para su aprovechamiento asociado a los renglones petroquímicos y a la falta de una infraestructura, tanto de producción, como de distribución.

Recientemente, una importante empresa productora de aminoácidos "LISINA" y "TREONINA" ha cerrado sus puertas ante la incapacidad de competencia.

Estos son solo unos cuantos ejemplos, sin dejar de olvidar las frustrantes iniciativas para producción de furfural, carbón activado y tableros aglomerados.

En el trabajo se presentan los principales perfiles termoenergéticos y de producción de la agroindustria cañera mexicana, evaluando el potencial de los coproductos y materiales intermedios "mieles ricas", como bujía integradora de cadenas productivas.

Ante la expectativa de afrontar una fuerte competencia tanto de países grandemente exportadores de azúcar (BRASIL), como en otros endulzantes "jarabes de maíz ricos en fructosa" (USA); queda por delante sortear el reto únicamente con la riqueza que proporciona la diversificación.

"SUMMARY"

Traditionally, the industrialization of sugar cane by products in Mexico represents one of the main agroindustrial exploitation.

But recently, severe crisis had convulsed the sector, precisely due to the implementation of neoliberal policies of indiscriminating opening of frontiers.

Mexico used to occupy an important place in the field of the cellulose production from waste pulp. Today, there are only two factories which use such a raw material, and we face the danger of having to substitute it by other materials (dyed paper or imported pulps).

The production of ethanol has been relegated due to the high cost of production and to the lack of plans for its exploitation associated to the petrochemical items and the lack of infrastructure for production and distribution.

Recently, an important factory which produced the amino acids "LYSINE" and "TREONINE", has closed down due to its incompetence in front of its competitors.

These are only a few examples. We should not forget the frustrated initiatives to produce furfural, activated charcoal and agglomerated panels.

In this paper, we present the main thermoenergetic profiles and those of the Mexican sugar cane agroindustry, evaluating the potentiality of the byproducts and "the rich molasses" intermediate materials as an integrative spark for producing productive chains.

In front of the expectative of confronting a strong competition from great sugar export countries (Brazil) and from other "corn syrups rich in fructose" (USA), we face ahead the challenge of fighting them only with richness given by diversification.

Palabras clave

COPRODUCTOS – BY PRODUCTS ALCOHOL ETILICO – ETHANOL

COMPOSTA – COMPOST COGENERACION – CO GENERATION
MIELES RICAS – RICH MOLASSES

INTRODUCCIÓN.

México ocupa el séptimo lugar entre los países productores de azúcar, con una producción que oscila alrededor de los cinco millones de toneladas métricas @ 99.4 pol., se elaboran cuatro diferentes tipos de edulcorante de sacarosa:

- Mascabado (crudo) 96,0 POL
- Estandar 99,4 "
- Blanco especial 99,7 "
- Refinado 99,9 "

Calidades todas sujetas a la especificación que marca la normatividad de las Normas Mexicanas **NMX**(1).

Si bien la sacarosa ha sido tradicionalmente el objetivo principal de la industrialización de la caña en los ingenios; paralelamente la elaboración de alcohol hidratado se ha obtenido a partir fundamentalmente de las mieles incristalizables **melaza**. Ambas producciones, aparejadas al empleo del bagazo como combustible en los hogares de los generadores de vapor, han caracterizado a un agrosector con grandes atrasos tecnológicos, pero también importantes expectativas de desarrollo a futuro.

Paradójicamente, la experiencia acumulada con los años en lo que a industrialización de coproductos se refiere, ha sido por demás importante, aunque casi siempre desarrollada hacia el exterior del agrosector.

En síntesis, esta casi cinco veces centenaria agroindustria cañera en México confronta hoy un doble reto; por una parte, la competencia con otros edulcorantes (jarabes de maíz ricos en fructosa y aquellos de índole hipocalórica), y por la otra, la urgencia de impulsar proyectos de diversificación con economía de escala capaz de sortear la fuerte competencia con productos sucedáneos del exterior.

AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZUCAR EN MÉXICO. GENERALIDADES.

Figura 1

INDICADORES DE PRODUCCIÓN

AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZUCAR EN MEXICO INFORMACION GENERAL ZAFRA 2002/2003

CONCEPTO	UNIDADES	2002/2003	MAX.OPTIMA
SUPERFICIE INDUSTRIALIZADA	HAS.	605,761.22	635,625
CAÑA POR HECTAREA	TONS.	72.55	74.87
AZUCAR POR HECTAREA	KGS.	8,135	8,180
CAÑA MOLIDA BRUTA	TONS.	43,948,244	47,353,042
FIBRA EN CAÑA	%	13.08	13.08
PRODUCCION DE AZUCAR: TOTALES (REALES)	TONS.	4,927,574	5,174,027
RENDIMIENTO DE FABRICA	%	11.21	11.36
TIEMPO PERDIDO TOTAL:	%	21.43	21.43
PETROLEO CONSUMIDO TOTAL	LTS.	550,575,019	550,575,019
PETROLEO FAB. POR TON. CAÑA	LTS.	11.19	11.19
PETROLEO FAB. POR TON. AZUCAR	LTS.	99.76	99.76
PETROLEO POR LT. FAB. ALCOHOL	LTS.	1.16	0.78

Figura 2

COPRODUCTOS. APROVECHAMIENTOS "REAL" Y "POTENCIAL"

Figura 3

Figura 4

Figura 5

Figura 6

CONCEPTO	UNIDADES	2002/2003	MAX.OPTIMA
MIEL FINAL A 85° BX APORTADAS FABRICA DE ALCOHOL	TONS.	167,384.00	276,415
ALCOHOL PRODUCIDO	LTS.	39,205,777	67,050,234
ALCOHOL POR TON. MIEL A 85° BRIX	LTS.	234.23	249.05

Figura 7

PERFILES TERMOENERGETICOS

Figura 8

ESQUEMAS TERMODINÁMICOS EMPLEADOS

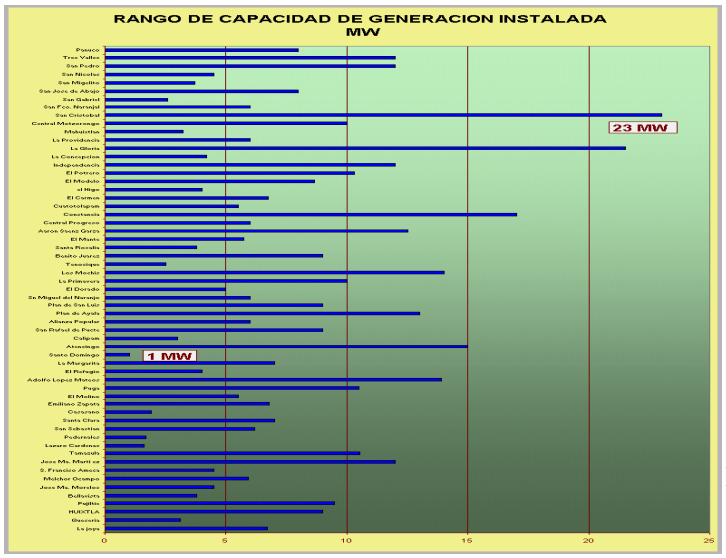


Figura 9

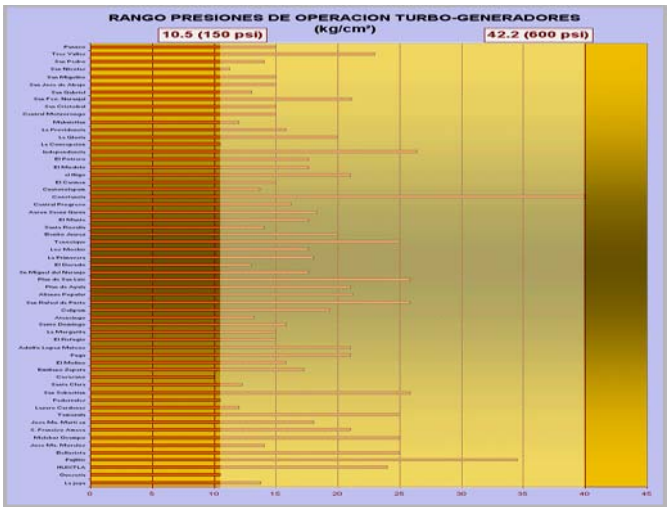


Figura 10

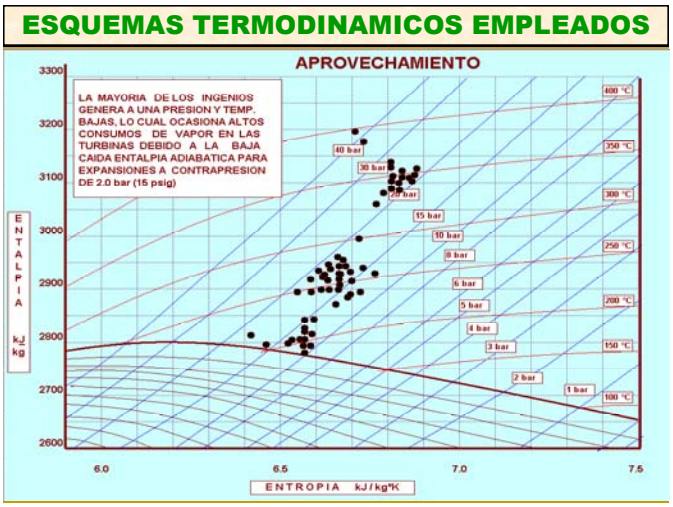


Figura 11

INDUSTRIALIZACION DEL BAGAZO.

Tal como se señalara en la introducción, se incinera un 95% de este coproducto en los hornos de los generadores de vapor (con poder calorífico medio de aprox. 2.100 kcal/kg.).

El resto del bagazo, se destina a la producción de celulosa en dos plantas industriales del estado de Veracruz. En el pasado, la producción de papel utilizando dicha materia prima fue significativa ; desmotivándose por la competencia con celulosas de importación y papeles destintados.

ANTECEDENTES DE APROVECHAMIENTO.

* ***furfural***.

Ingenio Xicoténcatl (hoy Aarón Sáenz), del edo de Tamaulipas. La competencia con el producto obtenido por la ruta petroquímica y problemas asociados al desalojo de los residuos industriales canceló esta iniciativa.

****tablas duras***.

Ingenio Queseria, del edo. de Colima. Las reducidas economías de escala y la competencia con los tableros de astillas de madera, provocó la suspensión de actividades en el corto plazo.

****plafones***.

Planta anexa al ingenio La Primavera. del edo. de Sinaloa. Allí se empleó el proceso de formación en húmedo hasta su cierre hace ya muchos años ,por causas similares al caso anterior.

****carbón activado***.

Se realizaron pruebas en el Ingenio San Cristobal, no trascendiendo la iniciativa.

****densificado y peletizado***$_{(2)}$.

Trabajos orientados a la compactación del bagazo utilizando vinaza concentrada como aglutinante, fueron desarrollados en el Ingenio Oacalco, edo. de Morelos.

<u>OTRAS EXPERIENCIAS EXITOSAS</u>.

******bagazo hidrolizado***.

Se reporta una experiencia en la década de los 90's., del siglo pasado, en el ingenio Casasano de Morelos. Se integró el producto en las raciones para alimentación de ganado vacuno.

Posteriormente el proyecto se retoma en Central Motzorongo e ingenio el Refugio en su fase de industrialización y comercialización entre ganaderos de los estados de Veracruz y Tabasco.

productos moldeados *"fertibagacetas".

Figura 12

Figura 13

Recipiente ecológico desarrollado por Central Motzorongo, para la germinación y reproducción de caña y demás especies vegetales. Se incorpora en la formulación compost, como biofertilizante adicional a la materia orgánica.

<u>EL CASO DEL ARBOL DE LA CAÑA</u>.

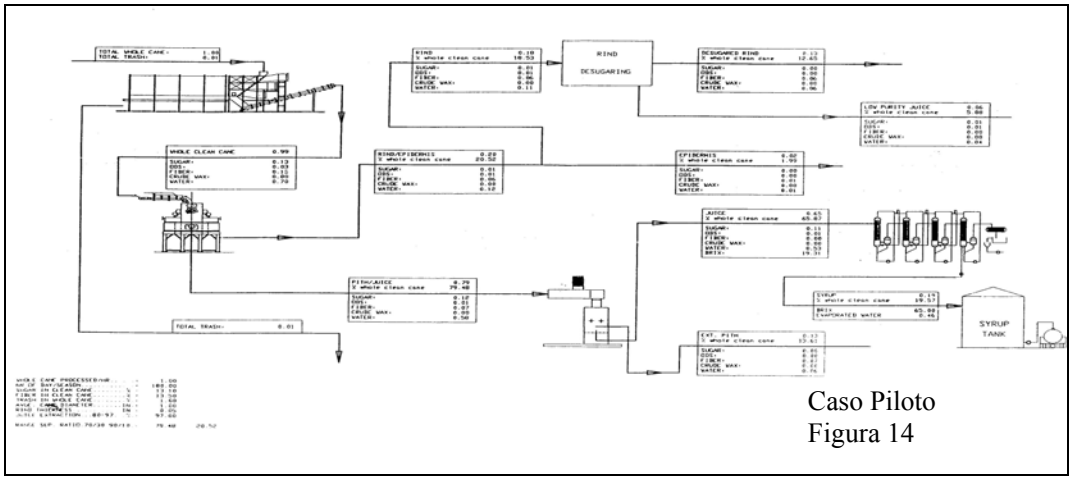
Con el fin de impulsar el aprovechamiento integral de la gramínea, hace una década se transformaron las instalaciones del ingenio La Purísima de Jalisco, adaptándose el proceso de descortezado de la caña; desafortunadamente, esta experiencia se vió frustrada más que por problemas conceptuales y/o tecnológicos, por una nueva etapa de las crisis que caracterizan a nuestro agrosector (mercado interno de azúcar).

Con este bagaje a cuestas, en el año 1993,ingenio El Refugio de Oaxaca, conjuntamente con una industria de jugos y néctares, retoma la idea original, instalándose una planta piloto con capacidad para procesar 1 t /h , con el sistema de descortezado ,extracción por prensa de tornillo, purificación por ultrafiltración y concentración del jugo en evaporador de placas.

Se obtuvo un ***jarabe de sacarosa*** (con la posibilidad de invertirse), el cual se empleó como agente edulcorante en jugos embotellados para la realización de pruebas de mercado.

Para mala fortuna de los promotores, el arribo de los "***jarabes de maíz ricos en fructosa***", impidió, cuando menos temporalmente, escalar la iniciativa a su fase industrial.

Se presentan a continuación los balances tanto de la operación experimental como la propuesta extendida a una planta de 70 t/h.



Caso Piloto
Figura 14

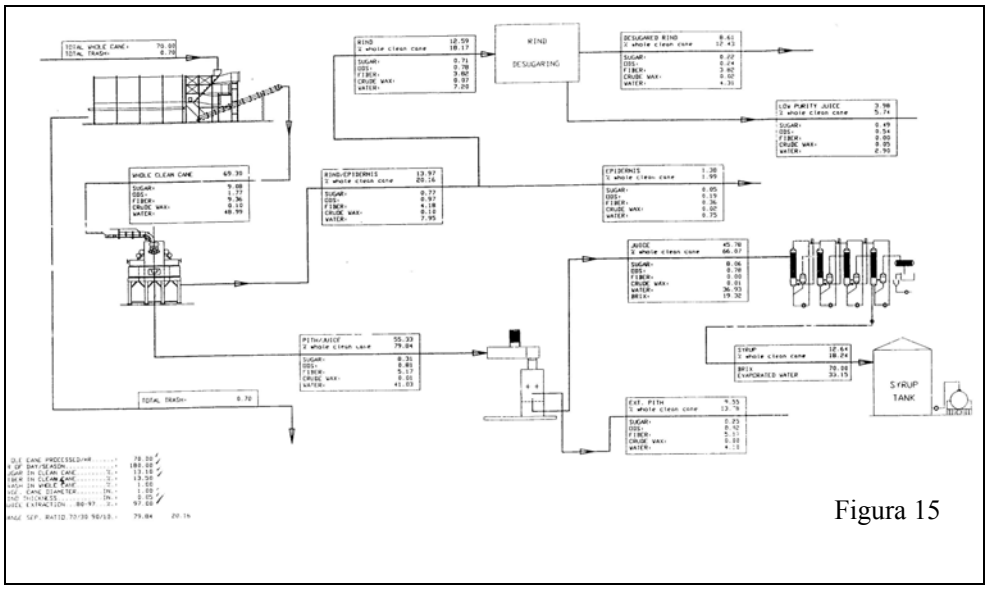


Figura 15

INDUSTRIALIZACIÓN DE LAS MIELES INCRISTALIZABLES

El destino de las también llamadas ***melazas*** se ha orientado fundamentalmente en dos direcciones: aprovechamiento interno y exportación. Se resumen a continuación algunas de las experiencias más representativas correspondientes a la industrialización de éste coproducto.

- ***Etanol.***

El destino de las mieles finales para la obención de ***alcohol hidratado***, ha sido común ; destinándose el producto básicamente para la elaboración de bebidas espirituosas y perfumería.

- E***tanol anhídro.***

La producción de éste tipo de alcohol dio inicio hace unos cuantos años; precisamente cuando se instalaron sendas columnas deshidratadoras (**tamiz molecular**), en las destilerías de los ingenios Independencia (hoy localizada en el ingenio La Gloria) y San Nicolás, ambos del edo. de Veracruz .

Con el fin de evaluar la posible utilización de esta alternativa como oxigenante de las gasolinas consumidas en la zona metropolitana del Valle de México, se realizaron pruebas con diferentes concentraciones (3, 6 y 10 %) mezclado con gasolina base, midiéndose las emisiones contaminantes y la propensión a la formación de ozono.

Figura 16

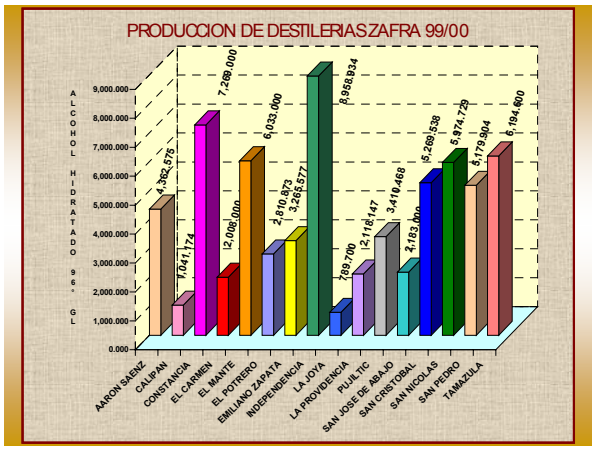
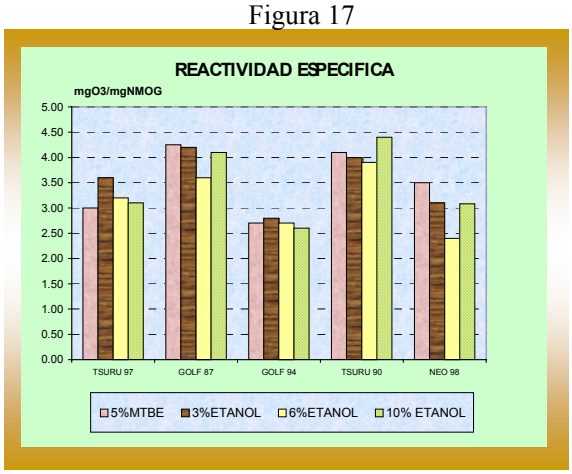


Figura 17



Desafortunadamente, su elevado costo de producción, aunado a la falta de apoyos e infraestructura para distribución y mezcla con la gasolina, mantienen el proyecto engavetado.

Figura 18

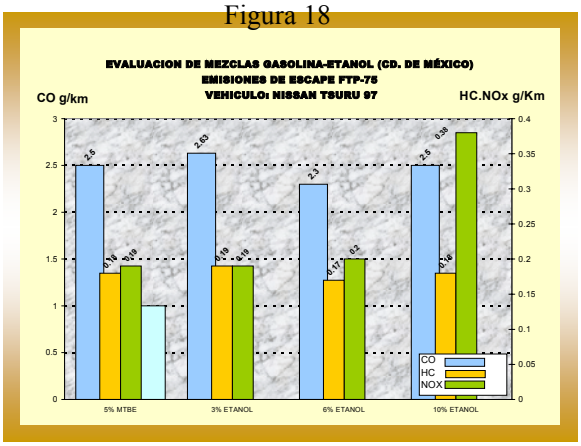


Figura 19

EMPLEO DE ETANOL C_2H_5OH EN MEXICO

(PRUEBAS COMO ALCOHOL-CARBURANTE)

DETERMINACION	5% MTBE	3%ETANOL	6% ETANOL	10%ETANOL(*	ETANOL
PESO ESP. 20/4 ° C	0.7444	0.7436	0.7475	0.7488	0.7885
PVR, lb/pulg 2	7.27	7.58	7.69	8.03	1.92
RON	91.2	91.5	90.8	92.3	
MON	83.6	84	83.6	84.2	
(RON+MON)/2	87.5	87.8	87.2	88.3	
D-86					
AL 10% °C	64.8	62.7	58.1	57.1	79.3
AL 50 % °C	108.5	110	108.7	105.3	79.3
AL 90 % ° C	172	171.1	168.5	169.3	79.3
TFE	212.2	213.3	210	209.7	79.4
AZUFRE, ppm	690	640	640	560	
AROMATICOS % vol	25	25	24.8	27.1	
OLEFINAS %vol.	11.2	11.8	10.9	11.7	
BENCENO % vol.	1.1	1.2	1.1	1.1	
OXIGENO % vol.	1	1	2	3.7	
PODER CALORIFICO, Btu/lb	18498	18319	18140	17901	12536

- ***Levadura para panificación.***

Existen varias plantas que utilizan las mieles finales para éste fin (La Florida , La Azteca y Safmex; instaladas en el D.F y en el edo. de México. El consumo es mayoritariamente para el mercado doméstico, exportándose un porcentaje limitado de la producción.

En ocasiones, la levadura, en forma de crema autolizada se ha empleado con éxito para la inversión de sacarosa, por la relación "***rapidez de inversión /costo".***

- ***Aminoácidos***

Otra importante aplicación de la melaza como fuente de carbono para procesos de fermentación química, fue desarrollollada durante tras décadas en la empresa Fermentaciones Mexicanas, del edo. de Veracruz. Los productos obtenidos fueron: ***glutamato monosódico; treonina; triptofano y l-lisina.***

Aquí aparece una víctima más de la globalización , no obstante ser una empresa trasnacional del Japón , a raíz de la competencia en la porción de las exportaciones que realizaba (más del 70 % de su producción); provocando su cierre definitivo hace ya varios meses.

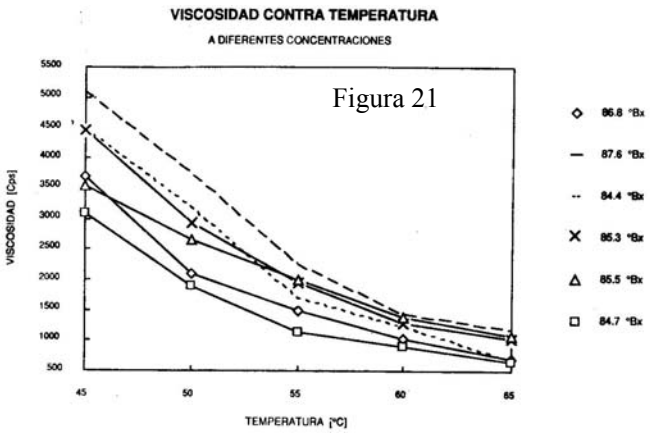
- ***Mieles ricas***[3]

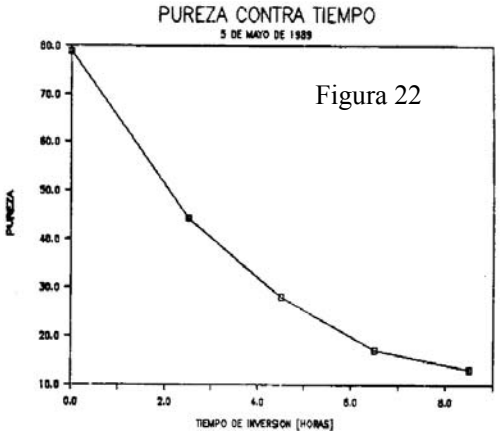
Esta información corresponde al denominado ***proceso melacón (meladura invertida)***, desarrollado en el ingenio Oacalco, edo Morelos, donde se procesaron cerca de 25,000 toneladas métricas de meladura, invirtiendo la sacarosa hasta purezas tales que aseguraran su no cristalización; habiéndose concentrado posteriormente a 85° Bx . Su destino final fue la producción de aminoácidos.

ANALISIS TIPICO DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS DE MIEL FINAL Y MELACON OBTENIDAS DEL INGENIO OACALCO, S.A. [8]

	MIEL FINAL	MELACON
Azúcares Totales %	54.71	75.05
Azúcares Reductores %	19.79	39.89
Cenizas	7.67	2.76
N Total %	1.2	0.81
N Amoniacal	0.25	0.094
K %	0.614	0.69
Na %	0.025	0.0875
Ca %	0.723	0.304
Mg %	0.427	0.143
Al ppm	125	176
Fe ppm	203	145
Mn ppm	11.2	6.78
Zn ppm	5.92	2.11
Cu ppm	6.16	8.61
P total ppm	487	186
P orgánico ppm	-0-	-0-
Sólidos totales	76.55	82.41
Boltina ppm	241	198
N orgánico	0.95	0.716

Figura 20





Las repercusiones más evidentes se manifestaron tanto en el incremento de los rendimientos industriales, al contarse con una materia prima de calidad más homogénea que las tradicionales melazas y una drástica disminución de los niveles de contaminación.

En otro sentido, la reutilización de los residuales de la fermentación, se concentraron convirtiéndose en un fertilizante líquido **CMS,(4)** con especificaciones que seguidamente se señalan.

COMPOSICION CMS		
Elementos y Compuestos	Valores	Unidad de Medida
Nitrogeno Total	4.49	%
Nitrogeno Amoniacal	3.37	%
Nitrogeno Organico	1.12	%
Fosforo	2700	Ppm
Potasio	10070	Ppm
calcio	870	Ppm
Magnesio	1196	Ppm
Manganeso	267	Ppm
Zing	2.52	Ppm
Cobre	1.44	Ppm
Solidos totales	40	%
Ceniza	8	%
L-Lisina	3.55	g/l
Densidad	1.18	g/cm^3

Tabla I

Dentro de los trabajos de investigación con las mieles intermedias, cabe destacar la experiencia al emplear ***miel"b"con*** como materia prima para la elaboración de alcohol hidratado en la destilería del ingenio El Carmen.

Los resultados denotaron un aumento neto de 30 litros por tonelada, comparativamente con el empleo de la melaza tradicional (235 – 268 l/tm).

- ***Alimento para ganado***

Uno de los destinos importantes de la miel final ha sido precisamente el enunciado del inciso, ya sea a través de la formulación de un forraje rudimentario en base a esquilmos y/o coproductos de diversas industrias regionales; o bien mediante raciones comerciales formuladas científicamente por empresas fabricantes del ramo.

Otra variante ensayada fue la producción de ***blocks nutricionales*** , con diversas composiciones:

BLOQUES NUTRICIONALES MEZCLA NUMERO 1		
Elementos y Compuestos	Valores	Unidad de Medida
Melaza	50	%
Urea	10	%
Sal	2.5	%
Fosfato	2.5	%
CaO2	10	%
Bagacillo	25	%

Tabla II

BLOQUES NUTRICIONALES MEZCLA NUMERO 2		
Elementos y Compuestos	Valores	Unidad de Medida
Melaza	50	%
Urea	10	%
Sal	4	%
Fosfato	4	%
CaO2	8	%
Salvado	6	%
Bagacillo	18	%

Tabla III

Figura 23

Figura 24

- ***Aditivo para concreto***

El Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto realizó ensayos con la melaza como aditivo para materiales de construcción.

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CACHAZA

El tradicionalmente fácil desalojo mezclado con las aguas residuales del hasta hace poco llamado ***residual del proceso***; cambió radicalmente de unos años a la fecha, al separarse la cachaza en tolvas para su remisión en carros de volteo directamente a los campos aledaños al ingenio, como simple mejorador de suelos.

Más recientemente, con la incorporación de los procesos de composteo (natural e inducido), la producción de los llamados abonos orgánicos empieza a ser una realidad en gran cantidad de ingenios del país. En algunos casos, se cuenta con certificación oficial para la fertilización de ***productos orgánicos***.

COMPOSICION QUIMICA DE COMPOSTA

MATERIA ORGANICA	43.00%
NITRÓGENO	2.10%
FÓSFORO	0.75%
POTASIO	1.20%
PH	6.90%
HUMEDAD	30.00%
CALCIO	0.47%
MAGNESIO	0.40%
RELACION CARBON/NITROGENO	20:01

Tabla IV

La aplicación realizada en siembra de caña es a razón de tres toneladas por hectárea.
Otro nicho de oportunidad se presenta con la denominada ***vermicomposta,*** en cuya producción se utiliza una variedad de lombriz conocida como Eisenia Foetida.

COMPOSICION QUIMICA DE LOMBRICOMPOST

MATERIA ORGANICA	52.00%
NITROGENO	2.80%
FÓSFORO	1.00%
POTASIO	1.30%
PH	7.20%
HUMEDAD	22.00%
CALCIO	0.47%
MAGNESIO	0.40%
RELACION C/N	19:01

Tabla V

La incorporación de ***biofungicidas*** con la composta, se realiza en Central Motzorongo. Se aislaron más de 500 microorganismos, principalmente hongos y bacterias. Varias cepas demostraron actividad antifungal, inhibiendo el crecimiento de patógenos como ***Fusarium, Rhizoctonia y pythium.***; otras con actividad herbicida y otras más promotoras de crecimiento.

En este congreso se presenta un trabajo alusivo a este tema "***Producción de biopesticidas aislados de compostas de la agroindustria de la caña de azúcar".***

APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Con la realización de ***auditorias ambientales*** , surgieron nuevos esquemas tendentes al rebalance hidráulico de las instalaciones fabriles; reduciéndose el consumo del recurso externo y optimizando el aprovechamiento del ***agua vegetal*** contenida en la caña.

La instalación de torres de gran tamaño para el enfriamiento y recirculación de las aguas de condensación en evaporadores y tachos, es fácil observar ya en muchos ingenios; con lo cual se reduce drásticamente el consumo del recurso hídrico de refresco. Más recientemente, la instalación de pequeñas torres de enfriamiento departamentalmente ubicadas, ha permitido una reducción significativa adicional del vital recurso.

No obstante lo anterior, la forma más viable económicamente de desalojo de las aguas residuales, es a través de sendos sistemas de riego tecnificado; cuidando fundamentalmente que la aportación de la materia orgánica mezclada no vaya a contaminar algún manto freático o vaso receptor. Esto, además de asegurar una drástica disminución de los niveles de contaminación , beneficia sin duda a varios cientos de hectáreas aledañas.

En méxico, solamente un Ingenio descarga a Sistemas de recepcion y tratamiento municipal "El Molino".

Figura 25

La utilizacion de pequeñas plantas de tratamiento con procesos anaerobios, se observa también en algunas fabricas. Se resumen a continuacion los resultados en lo que a produccion de gas metano se refiere:

% de CH_4 determinación en cromatógrafo de gases (5)	
lodo 10 % + agua residual 90 %	69.61
Lodo 25 % + agua residual 75 %	73.23
Lodo 50 % + agua residual 50 %	74

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA Y PERSPECTIVAS DE COGENERACIÓN.

El concepto de Cogeneración, es casi tan antiguo como la propia industria Azucarera (producción simultánea de energía eléctrica y calor al proceso), se aplica en prácticamente todos los Ingenios del País; aunque con eficiencias relativamente bajas, debido a los esquemas termodinámicos empleados.

El costo de generación por kilowatt-hora, asciende aproximadamente a US $ 0.055, (considerando por supuesto, el valor energético del calor enviado al proceso.

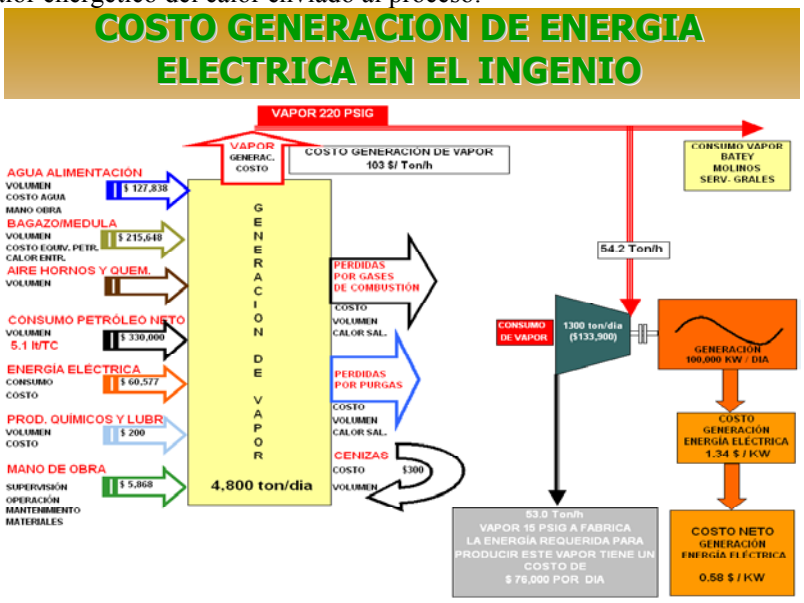
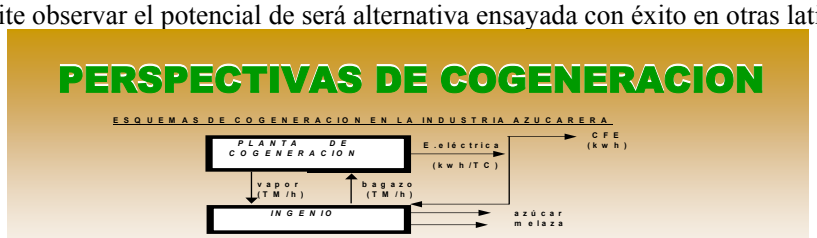


Figura 26

Ahora bien un análisis basado en la metodología del fondo común de proyectos de las Naciones Unidas, nos permite observar el potencial de será alternativa ensayada con éxito en otras latitudes.



INFORMACION BASICA:						
Caña Yc	(TM/h)	125	375	400	425	500
Presión vapor P	(bar)	10	13.6	20	30	45
Temp. Vapor T	(C)			350	400	425
Efic.eléctrica	%	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Humedad bagazo Wb	%	50	50	50	50	50
Bagazo% caña b	%	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Cons.esp.vapor CEV	(TV/TC)	0.65	0.55	0.5	0.45	0.4
Eficiencia calderas Ec	%	70	0.75	80	85	87.5
Vapor/bagazo rv/b	(kg/kg)	2.2	2.2	2.22	2.27	2.32
Dem.eléct.fábrica Ef	(kwh/TC)	20	15	15	18	25
*Bagazo excedente: Bex = Bp - Bc		-1.27840909	14.0625	25.4054054	39.0363436	59.4827586
*Bagazo producido: Bp=b*Yc		37.5	112.5	120	127.5	150
*Vapor requerido al proceso: Vp= CEV*Yc		81.25	206.25	200	191.25	200
*Bagazo requerido en el ingenio: Bc=1.05*Vp/rvb		38.7784091	98.4375	94.5945946	88.4636564	90.5172414
*Generación de energía electrica: Eg=0.278*10-3*Ee*Bex*VCNb		-0.79889855	8.78788406	15.8762494	24.3944435	37.1717395
*Valor calorífico del bagazo: VCNb=17643-203*Wb		7493	7493	7493	7493	7493
*Generación de energía electrica/caña procesada: Eg/Yc=0.278*Ee*(17643-203*Wb)*(b-1.05*CEV/rvb)		-6.39118841	23.4343575	39.6906235	57.3986906	74.343479
*Energía eléctrica exportada: Eex/Yc=Eg/Yc - Ef		-26.3911884	8.4343575	24.6906235	39.3986906	49.343479
*Total de caña a procesar:		1350000	1350000	1350000	1350000	1350000
*Generación potencial de E. eléctrica:		-26.3911884	8.4343575	24.6906235	39.3986906	49.343479
		-35628104.4	11386382.6	33332341.7	53188232.3	66613696.6
*Capacidad del generador:		-3.29889855	3.16288406	9.87624941	16.7444435	24.6717395
*Tiempo de operación:		10800	3600	3375	3176.47059	2700
		15	5	4.6875	4.41176471	3.75

Figura 27

CONCLUSIONES

La experiencia acumulada en esta ancestral agroactividad, llama a la reflexión en torno a la vastedad de opciones que presenta la gramínea, apenas exploradas y menos aun explotadas en nuestro territorio.

Muchos y muy diversos han sido los factores que han incidido en contra del aprovechamiento integral de la caña de azúcar; representando sin duda su elevado costo de producción y precio de venta al ingenio, el talón de Aquiles para su logro.

La búsqueda de productos con valor agregado plantea nuevos nichos de oportunidad; máxime hoy, cuando otros competidores en edulcorantes calóricos "jarabes de maíz ricos en fructuosa", apuntan con ventajas competitivas derivadas de privilegios arancelarios y subsidios de origen.

El reto es formidable, pues la temeraria globalización y la inminente apertura de fronteras amenazan a esta vital actividad agrícola; de la aplicación cabal del termino que nos caracteriza "Ingenio", dependerá el futuro de la Caña de Azúcar.

¡EN LA DIVERSIFICACION ESTA LA SOLUCIÓN!.

¡Sin azúcar C_{12} H_{22} O_{11} NO HAY SALUD!

REFERENCIAS.

(1) – GN, Diario Oficial 2004, Normas Mexicanas

(2) – Khouri Alicia y otros (1985), Aprovechamiento integral de los derivados de la caña de azúcar, con fines: energeticos, pecuario é industrial. UNAM

(3) – Méndez Ricardo (1990). Balance termo energético del proceso de elaboración de azucares invertidos. UNAM

(4) – Azcanio, Gómez, Enríquez (2002) Condensados solubles de Melaza (CMS) un nuevo elemento en la cadena productiva de la Agroindustria de la Caña de Azúcar.

(5) – Castro, Pliego, Enríquez (2000). Tratamientos anaeróbicos de lodos de purga de una planta de lodos activados. UNAM

PAPEL ESTRATÉGICO DE LA BIOMASA CAÑERA EN LA TRANSICIÓN HACIA UNA ENERGÉTICA SUSTENTABLE

STRATEGIC ROLE OF SUGARCANE BIOMASS IN THE TRANSITION TO SUSTAINABLE ENERGETIC

Autor: **Julio Torres Martínez**

Observatorio Cubano de Ciencia y Tecnología (CITMA), Calle 20 esquina a 18 A, Miramar, Mcpio. Playa, C.P. 11300, Prov. C. de La Habana. Telf.: + 53 7 203 0166, +53 7 202 7009 Fax: +53 7 204 9460 Correo electrónico: julio.torres@occyt.cu

Resumen

Los estudios realizados sobre el potencial de las fuentes renovables de energía demuestran de manera ostensible que existen tecnologías maduras para desplazar competitivamente el petróleo y el carbón en la generación de electricidad y el transporte automotor con fuentes como la biomasa, entre otras, bajo determinadas circunstancias cada vez más frecuentes, todo lo cual incide favorablemente sobre los costos de dichas tecnologías y los de los servicios energéticos prestados con esas fuentes.

Al mismo tiempo, al considerar la implantación de medidas para la mitigación del Cambio Climático se pone de manifiesto que el incremento de la eficiencia energética, por sí solo, no puede resolver el aumento de la concentración de los gases de invernadero y que es necesario sustituir los combustibles fósiles con fuentes renovables si la humanidad se decide a impedir la destrucción del ecosistema, que avanza aceleradamente y pone en riesgo su propia supervivencia.

La biomasa cañera es capaz de generar toda la electricidad que Cuba necesita, ahora y en la perspectiva, si se introducen en la Agroindustria nuevos conceptos y tecnologías más eficientes, maduras y competitivas desde hace varios decenios. Esa experiencia resultaría de inestimable valor para más de 80 países cañeros subdesarrollados que así resolverían sus problemas de electrificación y desarrollo socioeconómico con gastos reducidos y en plazos relativamente cortos, creando condiciones para iniciar el tránsito hacia una Energética Sustentable

Palabras clave: Energía Eléctrica, Medio Ambiente, Biomasa Cañera, Sustentabilidad.

Abstract

Studies done about renewable energy sources demonstrate evidently that there are mature technologies able to competitively substitute oil and coal in electricity generation and automobile transport, with renewable sources like biomass among others, under certain circumstances more and more frequent, which favourably impact on those technologies' costs and on the energetic services' costs obtained from those sources.

At the same time, considering the implementation of measures for Climatic Change mitigation, it stems that increasing energy efficiency alone could not stop GHG atmospheric concentration augmentation, and it is necessary to substitute fossil fuels with renewable energy sources if mankind decides to impede the ecosystem destruction, which advances relentlessly and poses risk to its own survival.

Sugarcane biomass is able to generate all the electricity Cuba needs, now and in the perspective, if in Agroindustry are introduced new concepts and more efficient technologies, mature and competitive since many decades ago. That experience would be of invaluable worth for more than 80 sugarcane breeding developing countries, which could solve this way their electrification and socioeconomic development problems with reduced costs and in relatively short term horizons, creating conditions for beginning the transit to Sustainable Energetic.

Keywords: Electric Energy, Environment, Sugarcane Biomass, Sustainability.

PAPEL ESTRATÉGICO DE LA BIOMASA CAÑERA EN LA TRANSICIÓN HACIA UNA ENERGÉTICA SUSTENTABLE

STRATEGIC ROLE OF SUGARCANE BIOMASS IN THE TRANSITION TO SUSTAINABLE ENERGETIC

Introducción

La energía es un catalizador necesario del desarrollo socioeconómico (ver la Figura 1) porque *"no se crea ni se destruye, sólo se transforma"*, pero resulta indispensable para que dicho desarrollo tenga lugar; al mismo tiempo la energía se ha convertido también en un medio de dominación del capitalismo neoliberal, capaz incluso de lanzar guerras de rapiña imperial (como las más recientes contra Afganistán e Irak) con el objetivo de conservar y ampliar su control monopólico sobre las principales reservas petroleras del planeta, mientras manipula los precios mundiales de los hidrocarburos con la finalidad de obtener mayores ganancias a costa de las necesidades de los países subdesarrollados[1].

El empleo de los combustibles fósiles en cantidades desmesuradas por las sociedades de consumo, unido a la contaminación ambiental causada por ellos, han traído las graves amenazas del Cambio Climático que pone en riesgo la propia supervivencia humana, incluyendo la de los países con menor desarrollo que han aportado cantidades relativamente menores de gases de invernadero a lo largo de su historia, pero afrontan los mayores peligros porque carecen de los recursos necesarios para modificar la situación actual y futura[2], así como para paliar sus efectos negativos.

Cuando se analiza además el crecimiento demográfico esperado durante las próximas décadas –sobre todo en dichos países–, resulta evidente la necesidad imperiosa de modificar en forma radical el actual sistema energético mundial basado en combustibles fósiles y nucleares (que representan casi el 90 % del total de los portadores comerciales consumidos cada año, ver la Tabla I), hasta convertirlo en otro capaz de satisfacer la demanda de servicios energéticos de la humanidad a partir de las fuentes renovables, complementando su menor densidad energética con tecnologías más eficientes cuya competitividad les permita desplazar a los fósiles.

TABLA I[3]

Fuentes	Energía Primaria		Duración en años	
	(10^9 tep)	% del total	Estática [1] Reservas/Producción	Dinámica [2] Recursos/Producción
Combustibles fósiles	**7.80**	**80.0**		
Petróleo	3.50	35.9	45 [3]	95
Gas natural	2.10	21.5	69	230
Carbón	2.20	22.6	452	1000
Renovables	**1.33**	**13.6**		
Hidroelectricidad [4]	0.21	2.1	Renovable	
Tradicionales [5]	0.91	9.3	Renovable	
"Nuevas" Renovables [6]	0.21	2.2	Renovable	
Nuclear [4]	**0.62**	**6.4**	**50 [7]**	
TOTAL	**9.75**	**100.0**		

[1] Por ejemplo, al informar sus resultados durante el pasado año 2003, el consorcio British Petroleum exhibió un incremento de 42 % en ellos, lo que supuso **aumentarlos en más de cuatro mil millones de dólares** respecto al 2002.
[2] Sin hablar por ahora de escenarios recientes donde se asume la posibilidad del llamado Cambio Climático Abrupto, según estudios de GBN en octubre 2003 para el Departamento de Defensa de los EE.UU, donde se prevé una posible alteración drástica del clima en un período relativamente corto ―Schwartz y otros (2003).
[3] Fuente: BP International Energy Review, junio 2001. Traducida y seleccionada por el autor.

Durante la etapa de tránsito hacia una Energética Sustentable, la biomasa resulta estratégica porque posee ventajas competitivas frente a la mayoría de las fuentes derivadas del flujo solar, ya que constituye un acumulador natural de su energía y permite generar electricidad *despachable*, además de que las tecnologías para su empleo eficiente ya existen y se dominan desde hace muchos decenios.

En el caso cubano, el Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía aprobado en 1993 distinguió la Agroindustria Azucarera como la tercera fuente de energía para el país, sólo precedida por la eficiencia y el petróleo crudo.

Estas dos últimas ya han demostrado su importancia para el desarrollo electroenergético del país durante los años transcurridos desde entonces, pero la biomasa cañera no participa todavía de forma sensible en dicho desarrollo, a pesar de múltiples estudios y evaluaciones realizadas durante ese período al respecto; por eso, el papel estratégico de esa fuente nacional de energía en el inicio del tránsito hacia una Energética Sustentable puede resultar determinante para una sólida y confiable diversificación de la Agroindustria, incluido su aporte crucial para el desarrollo electroenergético perspectivo del país.

En otras palabras, lo que se propone es tomar la decisión de establecer una estrategia a largo plazo dirigida a iniciar de inmediato un camino capaz de construir en cierto plazo un sistema destinado a garantizar la oferta de servicios energéticos con las fuentes renovables de energía, lo que es equivalente a decir *con el flujo solar que llega diariamente al planeta* —lo utilicemos o no— y así se resuelve en lo esencial la contaminación provocada por los Gases de Invernadero emitidos cuando se queman los combustibles fósiles.

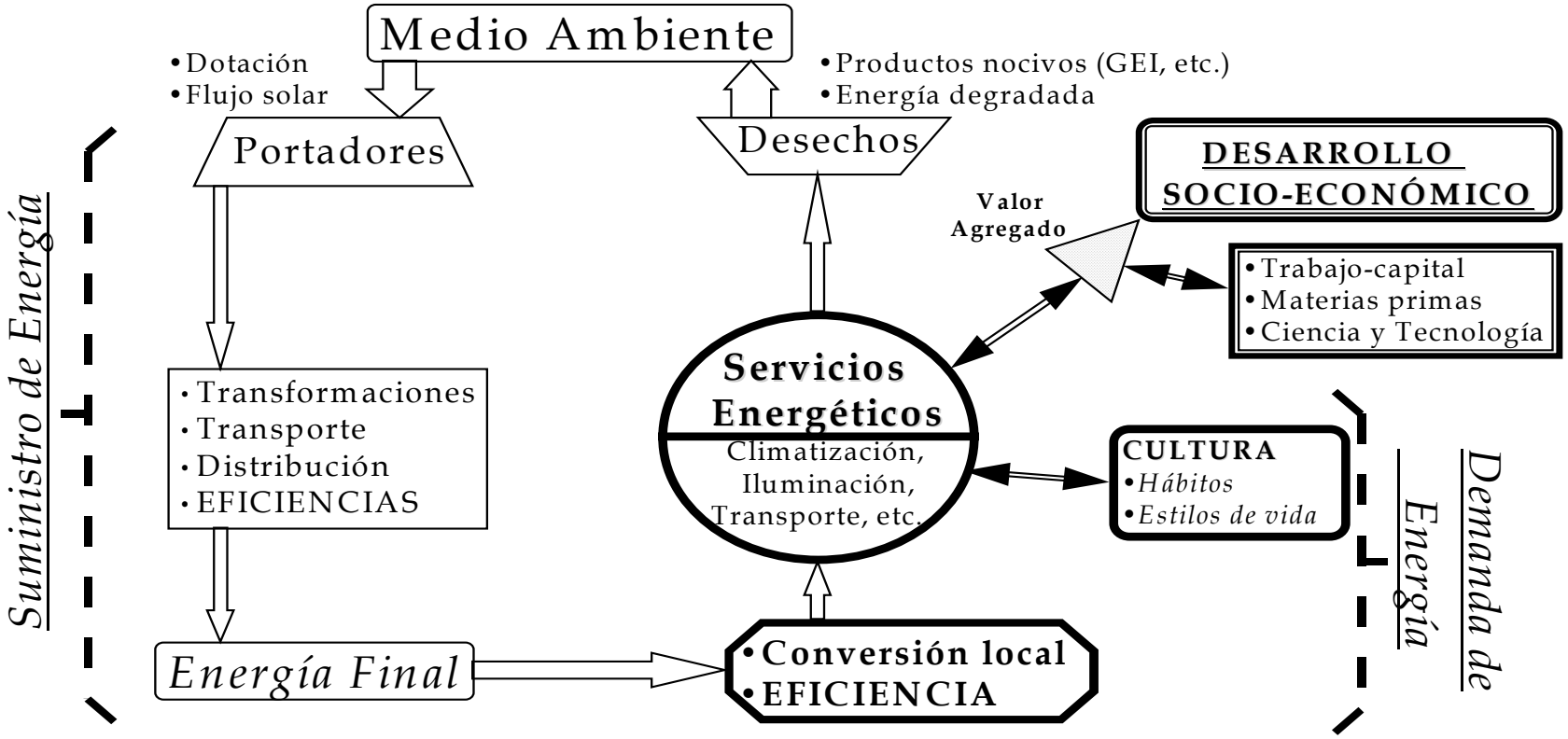
Algunas reflexiones sobre la biomasa cañera y su potencial energético

El considerable potencial energético de la caña de azúcar es reconocido mundialmente desde hace muchos años y marca una de las diferencias apreciables que existen entre los efectos ambientales nocivos de la producción de azúcar de remolacha, cuya demanda de energía se satisface por completo con combustibles fósiles; pero a la vez, esa misma circunstancia ha dado lugar a una enorme diferencia entre la eficiencia energética del proceso azucarero basado en la caña y la del que emplea remolacha como materia prima, a favor de este último de manera sustancial.

Así las cosas, el contenido energético del bagazo se emplea actualmente en buena medida sólo para producir calor (es decir, el portador de mínimo potencial) en cantidades excesivas para el proceso de obtención del azúcar, a pesar de haberse perfeccionado desde hace decenios en la industria azucarera que procesa remolacha, como ya se planteó, esquemas energéticos capaces de fabricar ese producto con menos de la mitad del vapor requerido en los ingenios tradicionales; pero además, los residuos de la cosecha (también conocidos como *paja de caña* o RAC) acumulan en los cañaverales una cantidad de energía solar semejante a la del bagazo y no se aprovechan en lo absoluto, excepto en ínfimas cantidades como alimento animal y algunos empleos energéticos marginales en ingenios seleccionados.

Por lo tanto, aunque los cañaverales acumulan la energía solar en cantidades equivalentes a **más de una tonelada de petróleo por cada tonelada de azúcar producida, sólo en términos de bagazo y RAC**, el promedio de los ingenios en todo el mundo incinera todo el bagazo disponible para convertir menos del 5 % de su energía en electricidad y eso no alcanza para cubrir las necesidades actuales de energía eléctrica en dichas fábricas.

Figura 1


Medio Ambiente
•Dotación
•Flujo solar
•Productos nocivos (GEI, etc.)
•Energía degradada
Portadores
Desechos
Suministro de Energía
DESARROLLO SOCIO-ECONÓMICO
Valor Agregado
•Trabajo-capital
•Materias primas
•Ciencia y Tecnología
•Transformaciones
•Transporte
•Distribución
•EFICIENCIAS
Servicios Energéticos
Climatización, Iluminación, Transporte, etc.
CULTURA
•Hábitos
•Estilos de vida
Demanda de Energía
Energía Final
•Conversión local
•EFICIENCIA

Sin embargo, en determinados lugares[4] se han puesto en práctica experiencias exitosas que permitieron elevar considerablemente ese nivel tradicional de eficiencia y demostraron la rentabilidad de hacerlo, siempre que exista mercado para la energía eléctrica **barata** generada en grandes cantidades con la biomasa cañera, que al mismo tiempo evita cuantiosas emisiones de GI porque es capaz de sustituir millones de toneladas de combustibles fósiles que ahora se queman para generar esa electricidad.

A los beneficios señalados, habría que agregar los provenientes de la liberación de dichos combustibles fósiles ―valiosas materias primas que pueden dedicarse a producir otros bienes importantes con mucho más valor agregado para el hombre, mientras "secuestran" el CO2 y otros gases de invernadero en lugar de liberarlos a la atmósfera e incrementar su concentración en la biosfera―, así como los de la reducción obtenida en los costos de producción del azúcar y otros derivados cañeros cuando se aprovechan residuos que hoy se desperdician o se emplean de forma ineficiente.

Para ilustrar la importancia de algunos de esos beneficios, se expondrá a continuación una parte de los resultados preliminares obtenidos mediante los estudios de Mitigación del Cambio Climático realizados en Cuba durante el año 2002, donde se ponen de manifiesto los relacionados con los costos de producción de la electricidad, el azúcar y el alcohol, en tres de los escenarios elaborados por investigadores (en este caso, el autor del presente documento y el Dr. Juan Llanes, de la Facultad de Economía de la UH) integrantes del Equipo Nacional dedicado a ese trabajo.

TABLA II[5]

	VAN (10^6 USD)	**Costo promedio del:**		
		kWh	**Azúcar**	**Alcohol**
		(USD/kWh)	**(USD/Tm)**	**(USD/hl)**
•ESCENARIO 1:	27	0,0371	NA	NA
•ESCENARIO 2:	359	**0,0139**	72,9	NA
•ESCENARIO 4:	**554**	0,0213	**32,5**	**2,7**

Aunque una discusión detallada de éstos y otros escenarios elaborados durante tales estudios, con sus costos y beneficios respectivos, se encuentra en Torres-Martínez y otros, (2002), seguidamente se expone un resumen de aspectos seleccionados que permitan examinar en primera instancia esos resultados en los tres casos mostrados.

El análisis costo-beneficio elaboró cinco escenarios modulares para comparar diferentes alternativas, de los que aquí se muestran los tres que se consideran más relevantes para ilustrar el papel potencial de la biomasa cañera en el desarrollo electroenergético del país:

1. Escenario 1: Termoeléctrica convencional basada en petróleo crudo nacional; un bloque de 270 MWe con costos de inversión de 800$/kWe y gastos de O&M[6] para producir sólo electricidad (Escenario base);

2. Escenario 2: Tecnología TV-EC[7] (instalada en nueve ingenios que pueden moler, cada uno, 7000 toneladas de caña diariamente, con consumo de vapor reducido), basada en biomasa cañera (la paja procesada mediante la cosecha y la molida integral); en cada ingenio, un bloque de 30 MWe con

[4] Ver Kinoshita (1991) y Torres-Martínez (2004).
[5] VAN es el Valor Actual Neto, que se utilizó en el estudio para comparar los resultados económicos descontados al 12 % anual para cada escenario durante toda la vida útil de las instalaciones; las unidades monetarias están expresadas en dólares norteamericanos del año 2002 en todos los casos.
[6] Operación y Mantenimiento.
[7] Turbina de vapor de extracción-condensación.

costos de inversión de 2197$/kWe y gastos en O&M para producir electricidad y azúcar, con 0 $ como costo de oportunidad del bagazo;

3. Escenario 4: Tecnología TV-EC (ahora instalada en tres ingenios modernizados capaces de moler, cada uno, 15000 toneladas de caña diariamente, más una destilería de etanol, ambas instalaciones con consumo de vapor reducido y otros parámetros como en 2); en cada ingenio, un bloque de 90 MWe con costos de inversión de 1500$/kWe, 5 $ la tonelada de bagazo como costo de oportunidad para ese portador y gastos en O&M para producir electricidad, azúcar y alcohol;

La capacidad generadora de electricidad instalada en cada uno de los tres escenarios modulares es de 270 MWe y trabaja con un factor de carga de 85 % para compararlos en las mismas posibilidades para producir esa energía; la tecnología de TVEC trabaja durante 300 días al año, la zafra dura 180 días con rendimiento promedio en azúcar de 11,5%, la destilería de etanol se diseña para producir anualmente alrededor de un millón de hectolitros (porque se anexa a un ingenio capaz de moler 15000 toneladas diarias, en el escenario 4).

Conclusiones

La diversificación de la Agroindustria Azucarera tiene que orientarse hacia la satisfacción de mercados confiables que ofrezcan perspectivas favorables de crecimiento a mediano y largo plazos.

Como la electricidad y el alcohol son dos portadores energéticos avalados por sólidos pronósticos de crecimiento en el futuro, tanto en el ámbito nacional como internacional, su producción a partir de la biomasa cañera constituye una base relativamente segura desde donde trazar dos rutas confiables hacia la diversificación de la caña de azúcar, con benéficas repercusiones adicionales para el entorno, capaces de facilitar el inicio del tránsito hacia una Energética Sustentable.

En la TABLA II se ilustraron los costos de producción para la electricidad, el azúcar y el alcohol que resultan de los tres escenarios aquí presentados, observándose reducciones importantes —que oscilan entre 38 % y 62 %— para la energía eléctrica en todos los casos analizados donde interviene la biomasa cañera, así como disminuciones sensibles en los costos del azúcar y el alcohol, sobre todo en el último de ellos.

Aunque en Cuba predominan todavía esquemas termodinámicos ineficientes en los ingenios azucareros y éstos constituyen consumidores netos de energía eléctrica en la mayor parte de los casos, el potencial de la biomasa cañera permitiría elevar considerablemente la generación de electricidad en dichas fábricas, si se introducen en ellas las tecnologías más eficientes ya probadas durante muchos decenios en la industria eléctrica, cuyos resultados exitosos fueron también comprobados después de los sesentas en Hawai —según Kinoshita (1991)—, así como en la Isla de la Reunión, Mauricio y Guadalupe después de los ochentas y los noventas —ver Torres (2004)—.

Si, además de lo anterior, se aprovechan los beneficios adicionales que pudieran ofrecer, por una parte, algunas conquistas de la Revolución que caracterizan la situación cubana, como:

- la propiedad socialista sobre los ingenios y la industria eléctrica en Cuba,
- la fuerza de trabajo calificada y la infraestructura industrial existentes en el país, incluyendo el Sistema Electroenergético Nacional

y, por otra, algunos resultados de la ciencia y la tecnología cubanos, tales como:

- la cosecha y la molida integrales, demostradas por Edgardo González desde 1990 y comprobadas en el ingenio Melanio Hernández en 1993,

- la conexión de los ingenios al SEN y otras facilidades existentes para "exportar" la electricidad;

entonces resultaría técnico-económicamente factible y rentable diseñar e implantar un PROGRAMA NACIONAL para construir un nuevo Sistema Electroenergético más descentralizado que el actual, pero basado en biomasa cañera como combustible fundamental, que permitiría enfocar la caña de azúcar como un **cultivo energético**, cuyos objetivos fundamentales serían

1. generar con biomasa cañera **toda** la electricidad que el país requiere para su desarrollo,

2. producir grandes cantidades de alcohol para sustituir gasolina y diesel, o exportarlo a terceros países; y además,

3. fabricar el azúcar necesaria para el mercado interno, así como para las exportaciones rentables que demande el mercado mundial.

Un primer impacto ambiental favorable de tal Programa será la erradicación de las emisiones de Gases de Invernadero en la primera actividad económica cubana que las produce (la generación de electricidad), unida a una reducción notable en el costo de producción en dólares de dicha estratégica energía, lo que constituye una vía inédita para solucionar el déficit crónico en divisas que sufre la Unión Nacional Eléctrica (UNE) y que se revertirá en una mayor capacidad financiera del país ―porque Cuba no tendría que comprar dicho combustible, ni estaría obligada a cubrir anualmente las *pérdidas* en USD de la Unión―, acrecentada además por la disminución en el costo de producción del azúcar y su consecuente mayor competitividad.

Esa aparente *utopía* constituye sin embargo una posibilidad real porque el Programa permitiría liberar los millones de toneladas del petróleo crudo nacional que ahora quemamos para generar la electricidad que el país necesita y ese valioso recurso estaría entonces a disposición de Cuba para dedicarlo a otros fines; además, hoy no aprovechamos ni siquiera la mitad del potencial energético de la biomasa cañera y **la eficiencia es la primera fuente de energía que existe**.

Pero también existen barreras que dificultan recorrer ese camino estratégicamente tan beneficioso y vale la pena relacionar de forma somera algunas de las más importantes, como un primer paso para su análisis y posterior consideración, aunque ello rebasa los marcos de este trabajo:

A. Algunos conceptos subjetivos que hacen dudar de la eficacia de la solución;

B. La falta de caña que actualmente padece Cuba y se ha convertido en fenómeno *endémico* de la economía cubana después de una experiencia acumulada durante varios siglos de servir como referencia mundial en la cultura cañera, a lo que se unen problemas técnico-organizativos no resueltos de la mecánica de las zafras, que agravan dicha falta;

C. La ausencia de un enfoque programático a largo plazo dirigido a alcanzar las ventajas nacionales de varios tipos, obtenidas al materializar esta solución, enfatizando las sinergias sectoriales que hagan posible alcanzar los máximos beneficios accesibles para el país como un todo;

D. El atraso tecnológico relativo que afecta muchas industrias creadas por la Revolución, lo que complica la manufactura con calidad de los equipos requeridos para introducir las tecnologías más eficientes capaces de constituir el nuevo SEN;

E. La falta de recursos financieros para acometer las inversiones que exige tal Programa, que se agrava al considerar las dificultades ocasionadas por la doble moneda y las derivadas de los precios de la electricidad, así como otros aspectos reguladores en general.

Aunque en muchas ocasiones en que se discuten estos temas se coloca en primer lugar la falta de recursos financieros, se ha preferido ubicarla en el último, porque en realidad disponer de esos recursos no constituye la causa más importante por la que no se ha introducido en Cuba esta manera de utilizar eficientemente la energía de la biomasa cañera, sino otros factores y consideraciones como las aludidas han sido los determinantes de esa conducta desde hace muchos años, incluyendo etapas en que los recursos financieros eran relativamente abundantes, pero siempre existieron otras prioridades que se anteponían a la introducción de resultados como el Estudio de Cogeneración, elaborado en 1981 por el Consejo Técnico Asesor de Energía, adscrito al Consejo de Estado, o los estudios del Dr. Edgardo González sobre la molida integral o el potencial energético de la paja de caña, publicados respectivamente en 1991 y 1981.

Por tanto, aunque ésas mencionadas y otras barreras que se oponen a la solución propuesta constituyen sin lugar a dudas obstáculos perfectamente reales y será necesario poner en práctica múltiples acciones para superarlas −en el entendido de que los beneficios obtenidos mediante su implantación son en todo caso muy superiores a los costos, las desventajas y las dificultades encontrados al hacerlo−, el autor considera que los obstáculos de tipo subjetivo deben ser atendidos en primerísimo lugar porque su solución, entre otros factores, consumirá mucho más tiempo que obtener los recursos financieros faltantes y exige a la vez profundos cambios de concepción en ideas muy arraigadas o prejuicios muy antiguos y fuertemente establecidos en muchas personas.

Referencias

1. Kinoshita, C. M. (1991), Cogeneration in the Hawaiian Sugar Industry, Review Article; *Bioresource Technology,* 35, 231-237.

2. Schwartz, Peter and Randall, Doug (2003), An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security, October 2003.

3. Torres-Martínez, Julio y Llanes-Regueiro, Juan F. (2002), Mitigating GHG Emissions with Sugarcane Biomass, *Mitigación del Cambio* Climático, La Habana, Cuba, 23 y 24 de septiembre de 2002, CIEM-INSMET.

4. Torres-Martínez, Julio, Editor (2004), Empleo Intensivo de la Biomasa Cañera con Fines Energéticos, Informe Preliminar; Observatorio Cubano de Ciencia y Tecnología, enero de 2004, 72 páginas, en proceso de impresión.

ESTUDIO CINÉTICO DE LA GASIFICACIÓN DE RESIDUOS FIBROSOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA
KINETIC STUDY OF SUGAR CANE MILL FIBROUS WASTES GASIFICATION

Dr. Pedro Julio Villegas Aguilar[1], Dra. Magalis Quincoces Suárez[2], Dr. Julio Omar Prieto García[2]; Dr. Julio César Llópiz Yurell[3]

[1]Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 54830, Cuba. Teléf.: (+53) 42 281194 - Fax: (+53) 42 281608 - email: pjva@fim.uclv.edu.cu

[2]Departamento de Licenciatura en Química, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 54830, Cuba. Teléf.: (+53) 42 281164 - Fax: (+53) 42 281608 - email: jopg@divepvc.co.cu

[3]Instituto de Materiales y Reactivos, Universidad de La Habana, Zapata y G, Ciudad Habana, 10400. Teléf.: (+537) 8781182 - Fax: (+537) 8334247 - email: jcllopiz@imre.oc.uh.cu.

RESUMEN

Debido a poca disponibilidad de los combustibles fósiles convencionales, el bagazo de la caña de azúcar, así como los residuos agrícolas cañeros (RAC), han ganado gran aceptación como fuentes energéticas alternativas, particularmente en la industria azucarera, donde éstos se originan. El propio diseño de los combustores y gasificadores que usan estos residuos requiere de la caracterización detallada de la cinética de la gasificación. Sin embargo, la información reportada en la literatura abierta se restringe a la gasificación en aire (combustión) del bagazo de caña de azúcar.

En este trabajo se estudió la cinética de la gasificación de los productos sólidos resultantes de la pirólisis (chars) del bagazo de caña de azúcar, de los residuos agrícolas cañeros así como también de las mezclas bagazo/RAC en la proporción de 70/30 (p/p) mediante termogravimetría isotérmica y no – isotérmica en el intervalo de temperaturas comprendidas entre 623 y 823 K, usando bajas concentraciones de oxígeno (10% (v/v)). Los resultados se representaron considerando la gasificación como una reacción de una sola etapa global con un número reducido de parámetros la cual se ajusta satisfactoriamente a los resultados experimentales en el intervalo de temperaturas de 623 a 773 K. A temperaturas superiores a 773 K los efectos difusivos intrapartícula son significativos. Se encontró que los residuos agrícolas cañeros eran más reactivos que el bagazo y que esto afectaba el comportamiento de la mezcla. Mediante el uso de ambas metodologías se obtuvieron resultados satisfactoriamente concordantes.

Palabras claves: residuos de la industria azucarera, pirólisis, gasificación, termogravimetría isotérmica, termogravimetría no - isotérmica, estudio cinético, reactividad.

ABSTRACT

Arising from the uncertain availability of convencional fosil fuels, sugar cane bagasse as well as sugar cane agricultural residues (SCAR) has gained great acceptance as an alternative energy source, particularly for the sugar cane mills, where it is otherwise disposed. A proper design of combustors and gasifiers using these residues requires a detailed characterization of their gasification kinetics. However, the information reported in the open literature is constrained to the gasification in air (combustion) of sugar cane bagasse.

In this work, the gasification kinetics of solid products prepared by pyrolysis (chars) of sugar cane bagasse, sugar cane agricultural residues as well as a mixture bagasse/SCAR in the proportion of 70/30 (p/p), is studied by isothermal and non-isothermal thermogravimetry within the temperatures interval from 623 to 823 K, using low oxygen concentrations (10% (v/v)). The results were represented considering gasification as a one stage global reaction, with a reduced number of parameters, which satisfactorily adjust the experimental results in the temperatures interval from 623 to 773 K. Intraparticle diffusional effects become significant for temperatures higher than 773 K. It was found that SCAR was

more reactive than bagasse and this affects the mixture behavior. By the use of both methodologies satisfactorily concordant results were obtained

Key words: sugar cane mill wastes, pyrolysis, gasification, isothermal thermogravimetry, non-isothermal thermogravimetry, kinetic study, reactivity.

I. INTRODUCCION

La escasez de reservas de combustibles fósiles en varios países, el paulatino agotamiento de estos recursos no renovables, conjuntamente con los crecientes requerimientos legislativos internacionales respecto a la protección del medio ambiente han conducido, en las dos últimas décadas, a la intensa búsqueda de fuentes alternativas para la generación de energía. Con este propósito, la transformación mediante procesos de conversión térmica de los abundantes residuos generados en el procesamiento de productos agroindustriales constituye una opción de particular interés.[1]

En el caso particular de Cuba, las limitadas reservas de recursos convencionales imponen la búsqueda de alternativas económicamente viables a corto y mediano plazo para autoabastecerse de energía a partir de fuentes renovables que contribuyan a remediar las situaciones adversas suscitadas con la importación de combustibles y otros recursos, especialmente en las condiciones críticas actuales. A pesar de la experiencia de varios siglos en la producción de azúcar de caña, el aprovechamiento de los abundantes residuos generados en la industria azucarera es relativamente pobre. El potencial energético que representan estos recursos no ha sido aún suficientemente investigado y, en consecuencia poco explotado. [11]

Una vía para optimizar el procesamiento de la caña de azúcar como combustible es la gasificación, que permite la utilización de sus residuos fibrosos en eficientes sistemas de generación eléctrica. Con relación al bagazo, esto redundaría en un gran incremento de la generación de energía por tonelada de caña procesada. [4, 9] La gasificación de los residuos agrícolas cañeros, individualmente o mezclados con bagazo, es otra alternativa que permitiría disponer de aportes de energía en épocas fuera de cosecha o durante los períodos en los cuales la provisión de bagazo no alcanza para cubrir la demanda requerida. Es, por ello conveniente, realizar estudios sobre las tecnologías de gasificación, tanto del bagazo, como de los residuos agrícolas cañeros, así como de mezclas de éstos.[14] El conocimiento de la cinética de la gasificación es esencial para el establecimiento de criterios adecuados de diseño y operación de equipos basados en este proceso de conversión.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es la caracterización cinética de la gasificación con bajas concentraciones de oxígeno de los productos pirolizados (chars) de los residuos fibrosos de la industria azucarera (bagazo de caña de azúcar, residuos agrícolas cañeros y de una mezcla bagazo/RAC = 70/30) para contribuir al mejor aprovechamiento de los mismos.

II. MATERIALES Y METODOS

Se emplearon bagazo de caña de azúcar y residuos agrícolas cañeros provenientes del Central Azucarero "Luis Arcos Bergnes" del Municipio de Camajuaní de la Provincia de Villa Clara, Cuba. Para la preparación de las muestras de char, se acondicionaron previamente las biomasas utilizadas, homogeneizando y secando las mismas.

Las muestras de char se prepararon por calentamiento en atmósfera de nitrógeno a 823 K, durante 90 minutos. Para ello, se utilizó un reactor cilíndrico de lecho fijo de 10 cm de diámetro y 18 cm de largo, herméticamente cerrado y con circulación de nitrógeno a 100 ml/min, calentando hasta la temperatura de pirólisis (873 K) a una velocidad de calentamiento de 10 K/min. Se enfria la muestra hasta temperatura ambiente, manteniendo la circulación de nitrógeno. Los chars así obtenidos se muelen y tamizan, reservándose para las mediciones cinéticas las fracciones de diámetro de partícula menores o iguales a 37 μm. La caracterización química de las muestras de biomasa cañera y de los chars se lleva a cabo mediante análisis inmediato y elemental, según técnicas tradicionales.

Se realizaron mediciones de la cinética de gasificación de los chars de bagazo de caña de azúcar y residuos agrícolas cañeros mediante análisis termogravimétrico isotérmico y no- isotérmico en una termobalanza

Netzch STA 409, acoplada a un sistema de adquisición de datos. Los ensayos isotérmicos se llevaron a cabo para las temperaturas entre 623 y 823 K, mientras que los no – isotérmicos se realizaron desde la temperatura ambiente hasta 873 K a una velocidad de calentamiento de 5 K/min, con la cual se observó que los efectos de transporte de calor eran despreciables. Se utilizaron masas de 5 mg de muestra, pues se determinó que con esta masa los efectos difusivos a través de la capa del residuo sobre el portamuestra eran despreciables. Las fracciones de diámetro de partícula empleadas fueron las menores a 37 μm, ya que con las mismas, la resistencia a la transferencia de masa intrapartícula era despreciable. El caudal total fue de 500 ml/min, a fin de minimizar los efectos difusivos en la película externa. Las experiencias se realizaron, como mínimo, por triplicado para asegurar su reproducibilidad.

El sistema de alimentación consistía en cilindros de nitrógeno y aire (99.99% de pureza) con sus correspondientes manoreductores. Los flujos de gases se regulaban mediante válvulas de aguja para obtener la concentración de oxígeno deseada y se medían con caudalímetros capilares, que permitían además verificar la constancia de caudal durante el transcurso de cada experiencia. La muestra pesada se colocaba en un portamuestra dentro del horno; se fijaban los caudales de nitrógeno y aire, a fin de alcanzar la concentración de oxígeno utilizada.

En los ensayos isotérmicos, se calentaba en atmósfera de nitrógeno hasta la temperatura de reacción deseada. Una vez alcanzada esta temperatura, se accionaba la válvula que conectaba el aire al sistema, y se registraba en forma continua la pérdida de peso de la muestra en función del tiempo. En el caso de los ensayos no - isotérmicos, se conectaba el aire desde el inicio de la experiencia.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1, se presentan los resultados del análisis inmediato obtenido para las biomasas y los chars preparados a partir de éstas; la pirólisis conduce a una disminución del contenido de volátiles acompañada por un aumento del carbono fijo y cenizas.

Tabla 1. Caracterización química de las muestras de biomasa cañera y sus chars. Análisis inmediato y elemental.

Muestra	%Volátiles (lh)	% Carbono fijo (lh)	%Cenizas (lh)	%C (lhc)	%H (lhc)	%N (lhc)	%S (lhc)	%O* (lhc)
Bagazo	84.9	12.3	2.8	46.9	5.6	1.2	0.0	46.3
Char de bagazo (T = 823 K)	15.6	73.6	10.8	78.0	2.4	0.0	0.0	19.6
RAC	79.2	15.0	5.8	44.5	5.3	1.2	0.0	49.0
Char de RAC (T = 823 K)	18.9	60.0	21.1	76.6	2.1	0.3	0.0	21.0

lh: libre de humedad. lhc: libre de humedad y cenizas.

* Determinado por diferencia.

III.1. Mediciones cinéticas en condiciones isotérmicas

Las Figuras 1, 2 y 3 muestran los registros isotérmicos obtenidos para los chars de bagazo de caña de azúcar, residuos agrícolas cañeros, y la mezcla de éstos, respectivamente, a las diferentes temperaturas de gasificación empleadas. Estos ilustran la variación de la fracción másica instantánea ($w = m/m_o$) con el tiempo, donde m es la masa del sólido a diferentes tiempos y m_0, la masa inicial del sólido libre de humedad. Se observa que la temperatura influye notablemente en la velocidad del proceso para los dos residuos y su mezcla.

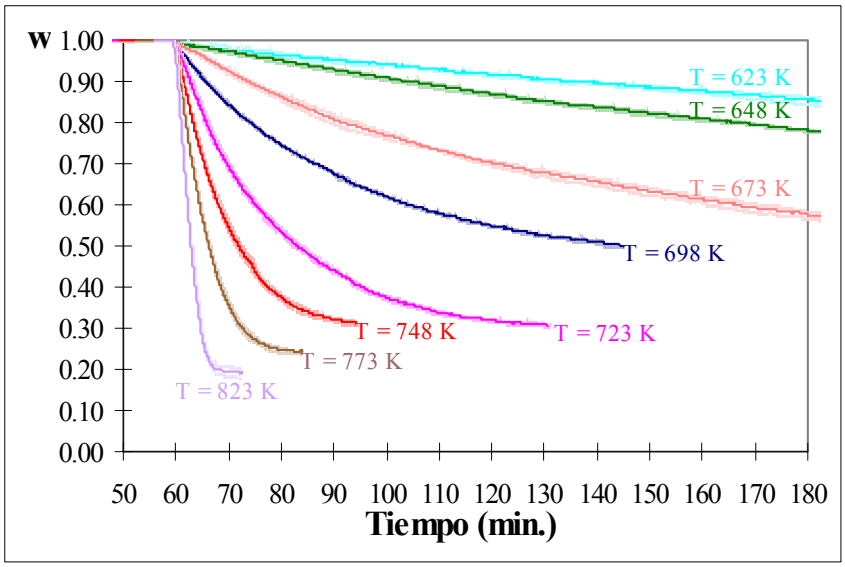


Figura 1. Registros isotérmicos de la gasificación del char de bagazo de caña de azúcar a diferentes temperaturas (10% v/v de O_2; dp < 37 µm, m_0 = 5 mg y caudal total de gas = 500 ml/min).

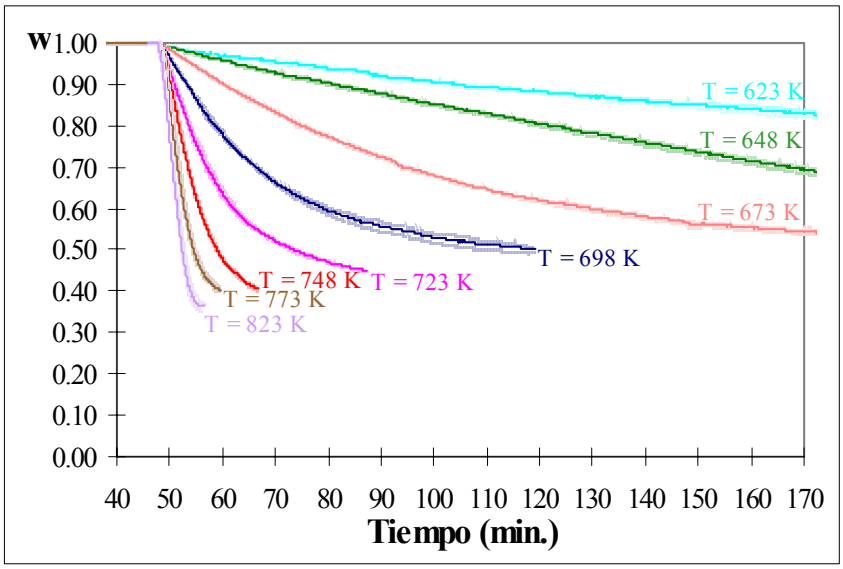


Figura 2. Registros isotérmicos de la gasificación del char de residuos agrícolas cañeros a diferentes temperaturas (10% v/v de O_2; dp < 37 µm, m_0 = 5 mg y caudal total de gas = 500 ml/min).

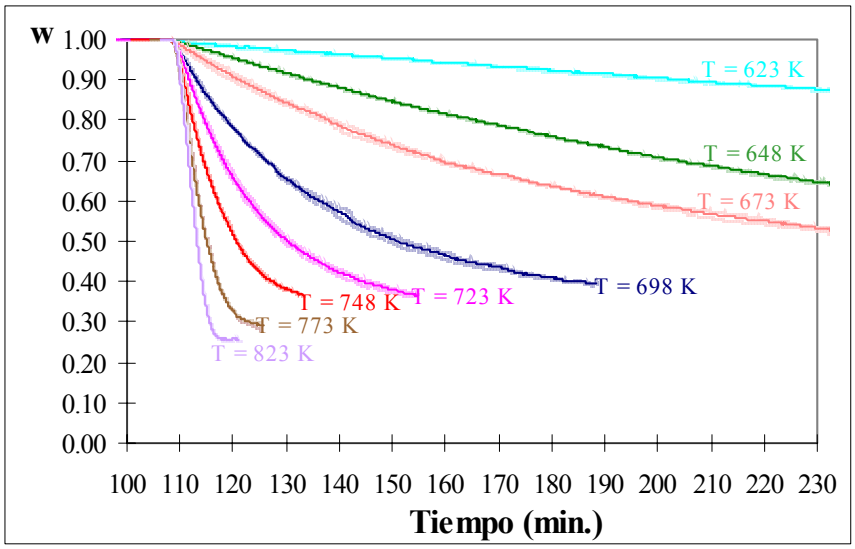


Figura 3. Registros isotérmicos de la gasificación de la mezcla de chars bagazo/RAC = 70/30 (p/p) a diferentes temperaturas (10% v/v de O_2, dp<37µm, m_0 = 5 mg y caudal total de gas = 500 ml/min).

La información sobre la pérdida de masa en función del tiempo, obtenida a partir de estos registros permite aplicar modelos cinéticos y evaluar los parámetros correspondientes que caracterizan la gasificación de cada una de las muestras empleadas.

Para caracterizar la cinética de la gasificación de chars de materiales carbonosos con distintas concentraciones de oxígeno, se ha empleado un modelo que considera la gasificación como una reacción de una sola etapa global de orden r respecto al sólido y orden q respecto al reactivo gaseoso; [3, 6, 10] para la caracterización cinética de la gasificación de los residuos fibrosos de la industria azucarera, bajo condiciones de control químico, o sea, en ausencia de efectos difusivos, se emplea la expresión cinética siguiente:

$$\frac{dX}{dt} = k\,\left(p_{O_2}\right)^{q}\,\left(1-X\right)^{r} \qquad (1)$$

donde: X es la conversión del sólido: $X = \frac{m_0 - m}{m_0} = 1 - w$; t, el tiempo; k, la constante cinética aparente de la reacción global de gasificación; p_{O_2} es la presión parcial de oxígeno; q y r son los órdenes de reacción respecto de los reactivos gaseosos y sólido, respectivamente.

Cuando se trabaja a presión de oxígeno constante, y se sustituye (1 – X) por w, la expresión (1) se reduce a:

$$\frac{dX}{dt} = k'\,w^{r} \qquad (2)$$

siendo: $k' = k\left(p_{O_2}\right)^{q}$

Para la evaluación de los parámetros cinéticos que caracterizan la gasificación de los residuos fibrosos de la industria azucarera, se tomaron los valores promedio de los tres mejores experimentos. El ajuste de los datos experimentales w vs t se realizó por regresión no lineal, considerando el orden unitario (r = 1) respecto al sólido o dejándolo como parámetro de ajuste. En este último caso, se estimaron los valores de k' y r para cada registro isotérmico a fin de evaluar un valor medio del orden r y luego, se reajustaron las curvas empleando el valor de r promedio. En todos los casos, los parámetros característicos del modelo aplicado se estimaron minimizando la función objetivo FO:

$$FO = \sum_{i=1}^{N} \left(\left.\frac{dX}{dt}\right|_{exp_i} - \left.\frac{dX}{dt}\right|_{cal_i} \right)^2 \tag{3}$$

donde N es el número de datos experimentales considerados para el ajuste; $\left.\frac{dX}{dt}\right|_{exp}$ se refiere a la velocidad de reacción experimental, obtenida directamente del registro y $\left.\frac{dX}{dt}\right|_{cal}$ es la velocidad de reacción calculada según el modelo.

Los valores del logaritmo de las constantes aparentes de reacción se representaron en función de la inversa de la temperatura con el fin de calcular la energía de activación (EA) del proceso de gasificación en el intervalo de temperaturas estudiadas, de acuerdo a la ecuación de Arrhenius:

$$k' = k'_0 \, exp\left\{ -\frac{EA}{RT} \right\} \tag{4}$$

donde $k'_0 = k_0 \left(p_{O_2} \right)^q$ es un factor preexponecial aparente; EA, la energía de activación de la reacción global y R, la constante universal de los gases.

En la Figuras 4, 5 y 6 se presentan los diagramas de Arrhenius obtenidos para la gasificación con oxígeno (10% v/v) de chars de bagazo de caña de azúcar, de residuos agrícolas cañeros y la mezcla de chars bagazo/RAC, respectivamente.

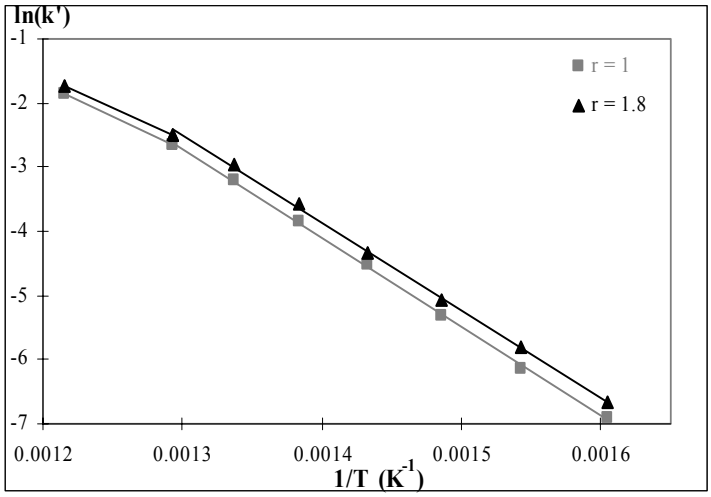


Figura 4. Gráfico de Arrhenius de la gasificación del char de bagazo de caña de azúcar con 10% v/v de O_2.

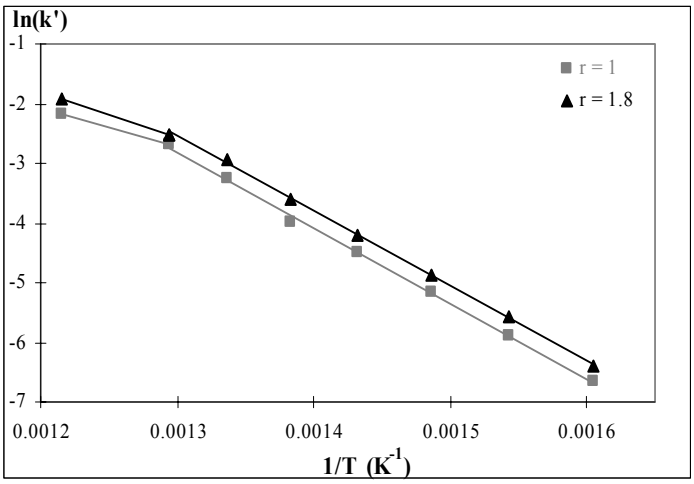


Figura 5. Gráfico de Arrhenius de la gasificación del char de residuos agrícolas cañeros con 10% v/v de O_2.

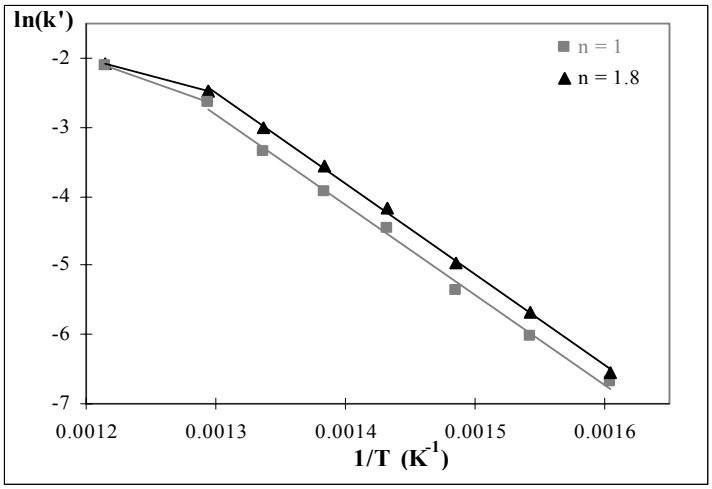


Figura 6. Gráfico de Arrhenius de la gasificación de la mezcla de chars bagazo/RAC = 70/30 (p/p) con 10% v/v de O_2.

En todos los casos (figuras 4 a 6), se observa un comportamiento análogo, es decir, una tendencia lineal para temperaturas de 623 a 773 K, encontrándose un cambio de pendiente para temperaturas superiores a 773 K que puede atribuirse a que los efectos difusivos empiezan a ser apreciables, por lo que para el modelo, se estimarán los parámetros en el intervalo donde la cinética está controlada por la reacción química (T = 623 - 773 K).

Los valores de los parámetros cinéticos estimados a partir de la aplicación del modelo a los datos experimentales en el intervalo de temperaturas de 623 a 773 K fijando los órdenes de reacción respecto al sólido en r = 1 (que es el que generalmente se asume en la literatura) y 1.8 (que fue el determinado experimentalmente en este trabajo), permiten formular las leyes de velocidad que caracterizan la gasificación de los residuos fibrosos de la industria azucarera que se presentan a continuación:

Para r = 1

Para el char de bagazo: $$\frac{dX}{dt} = 4.6x10^{6}\ \exp\left\{-\frac{115.5}{RT}\right\}(1-X) \quad (5)$$

Para el char de los RAC: $$\frac{dX}{dt} = 8.0x10^{5}\ \exp\left\{-\frac{105.1}{RT}\right\}(1-X) \quad (6)$$

Para la mezcla bagazo/RAC = 70/30 (p/p): $$\frac{dX}{dt} = 1.3x10^6 \ \exp\left\{-\frac{108.3}{RT}\right\} (1-X) \quad (7)$$

Para r = 1.8

Para el char de bagazo: $$\frac{dX}{dt} = 3.8x10^6 \ \exp\left\{-\frac{113.1}{RT}\right\} (1-X)^{1.8} \quad (8)$$

Para el char de los RAC: $$\frac{dX}{dt} = 1.0x10^6 \ \exp\left\{-\frac{104.4}{RT}\right\} (1-X)^{1.8} \quad (9)$$

Para la mezcla bagazo/RAC = 70/30 (p/p): $$\frac{dX}{dt} = 1.9x10^6 \ \exp\left\{-\frac{108.7}{RT}\right\} (1-X)^{1.8} \quad (10)$$

La gasificación del char de residuos agrícolas cañeros se caracteriza por la menor energía de activación y factor preexponencial aparente (expresiones (6) y (9)); la mezcla presenta valores intermedios entre los correspondientes a los chars de bagazo de caña de azúcar y los residuos agrícolas cañeros.

Los valores de energía de activación estimados para la gasificación de los chars de los residuos no difieren significativamente de los descritos en la bibliografía para condiciones similares de operación, obtenidos mediante termogravimetría isotérmica y empleando otros residuos lignocelulósicos pirolizados a una temperatura similar a la utilizada en el presente estudio, [7] evidenciándose la validez de los resultados obtenidos en este trabajo. Cabe señalar que la temperatura de pirólisis empleada en la preparación de los chars, que determina el porcentaje de carbono en éstos, afecta la reactividad de los mismos durante la gasificación. Al respecto, se ha encontrado una relación exponencial decreciente entre la velocidad de gasificación y el contenido de carbono de chars de residuos lignocelulósicos y carbones minerales. [2, 8]

III.1.1. Reactividad

A fin de comparar la reactividad de los chars durante el proceso, se calculó la reactividad o velocidad de gasificación específica del char [5] según la ecuación 11:

$$R_r = \frac{1}{(1-X_c)} * \frac{dX_c}{dt} \quad (11)$$

donde Xc es la conversión definida en base a la máxima masa convertible:

$$Xc = \frac{(m_0 - m_f) - (m - m_f)}{(m_0 - m_f)} \quad (12)$$

siendo m_f la masa que queda sin reaccionar para tiempos suficientemente prolongados donde se alcanza una masa constante.

En la Figura 7, se muestra la dependencia de la conversión del sólido respecto a la reactividad de los chars de los residuos pirolizados y las mezclas sometidas a gasificación con O_2 (10% v/v) a la temperatura de 748 K.

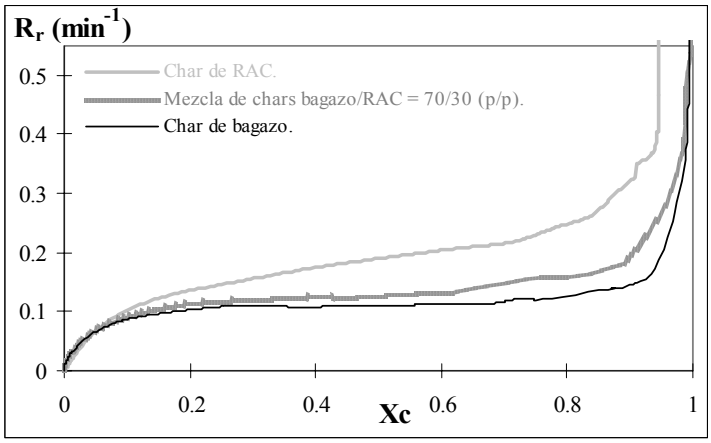


Figura 7. Reactividad de los chars de los residuos de la industria azucarera durante la gasificación con 10% v/v de O_2 a 748 K.

Como puede apreciarse, el char de los residuos agrícolas cañeros es considerablemente más reactivo que el de bagazo de caña de azúcar, en todo el intervalo de conversión. El comportamiento de la mezcla es similar al del char de bagazo de caña de azúcar pero la proporción de residuos agrícolas cañeros presente en ésta induce un incremento de la reactividad respecto a la del char de bagazo de caña de azúcar. Esto se refleja en los valores estimados de EA (Expresiones (5) - (10)), obteniéndose para la mezcla un valor intermedio entre los correspondientes a los chars de bagazo de caña de azúcar y residuos agrícolas cañeros.

Teniendo en cuenta los contenidos de carbono de los chars de bagazo de caña de azúcar, de los residuos agrícolas cañeros y de la mezcla (ver Tabla 1), la tendencia entre reactividad y el porcentaje de carbono concuerda con los datos bibliográficos para chars derivados de otros residuos lignocelulósicos y carbones minerales, señalada previamente. [2, 8] Asimismo, los difractogramas de rayos-X cualitativos de los chars biomásicos, realizados en un equipo PHILIPS PW 1218 empleando radiación CuKα (λ = 1.5406 Å) filtrada con Ni, muestran que las fases fundamentales del char de RAC son: nitrato y cloruro de potasio (KNO_3 y KCl (silvita)), en el char de los residuos agrícolas cañeros, descritos en la literatura como responsables del incremento de la reactividad durante la gasificación. [12, 13]

III.2. Mediciones cinéticas en condiciones no - isotérmicas

Las mediciones cinéticas no-isotérmicas se emplean frecuentemente en estudios comparativos de reactividad de diferentes materiales, así como para la determinación de parámetros cinéticos, pues presentan la gran ventaja de ser una herramienta que provee mucha información en poco tiempo. [3] Se realizaron ensayos preliminares con diferentes velocidades de calentamiento progresivamente menores comprendidas entre 3 y 50 K/min.m, obteniéndose que los gradientes de temperatura eran despreciables, o sea, que la velocidad de reacción no variaba con la velocidad de calentamiento para velocidades inferiores o iguales a 5 K/min, por tanto, las experiencias se llevaron a cabo a 5 K/min.

Se estudió el efecto de la concentración de oxígeno sobre la gasificación de chars de bagazo de caña de azúcar, de los residuos agrícolas cañeros y de la mezcla de chars bagazo de caña de azúcar/RAC de proporción 70% (p/p) de char de bagazo de caña de azúcar. Con este fin, se llevaron a cabo registros no-isotérmicos trabajando con diferentes concentraciones de oxígeno (2, 5, 10, 15 y 21% v/v) a la velocidad de calentamiento de 5 K/min, manteniendo el caudal total de gas en 500 ml/min. En las Figuras 8, 9 y 10 se presentan varios registros no-isotérmicos de la gasificación, con diferentes concentraciones de oxígeno, de los residuos pirolizados y de la mezcla de chars bagazo/RAC = 70/30 (p/p) en el intervalo de temperaturas estudiado. Las figuras ilustran la variación de la fracción másica instantánea con la temperatura, definida en base a la máxima masa convertible ($wc = \frac{m - m_f}{m_0 - m_f}$):

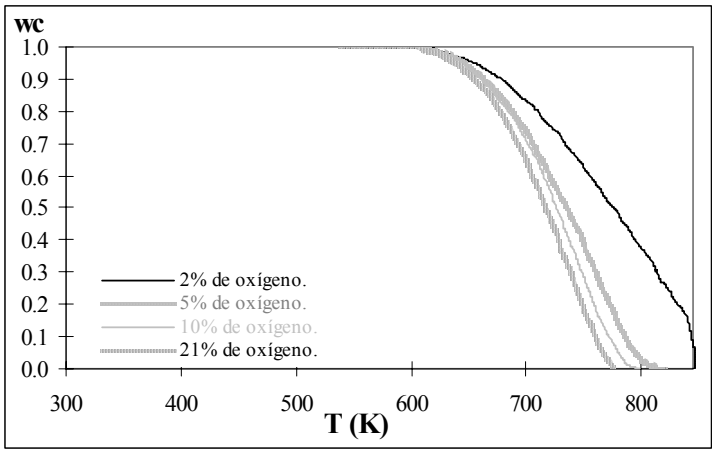


Figura 8. Registros no-isotérmicos de la gasificación del char de bagazo de caña de azúcar a 5 K/min con diferentes concentraciones de oxígeno (dp < 37µm, caudal total de gas = 500 ml/min, m_0 = 5 mg).

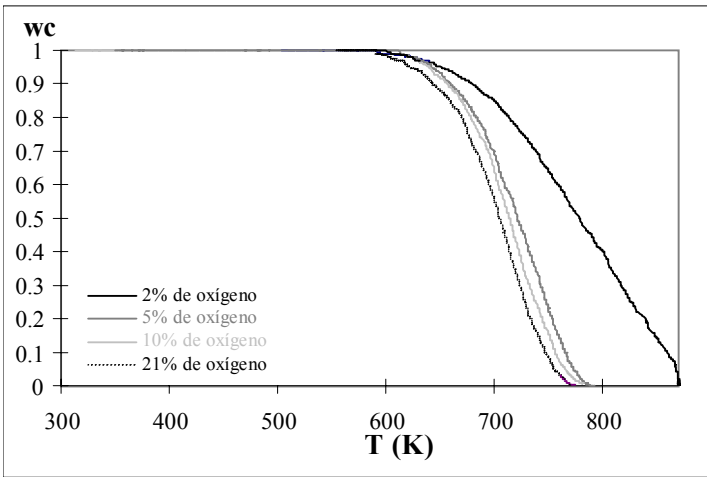


Figura 9. Registros no-isotérmicos de la gasificación del char de los residuos agrícolas cañeros a 5 K/min con diferentes concentraciones de oxígeno (dp<37µm, caudal total de gas=500 ml/min, m_0 = 5 mg).

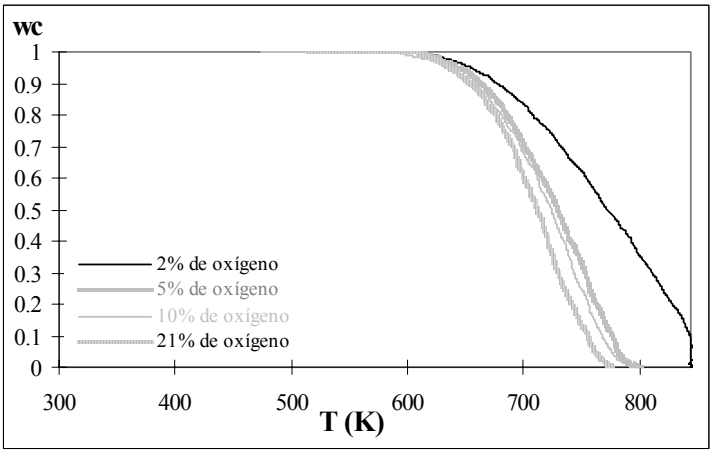


Figura 10. Registros no-isotérmicos de la gasificación de la mezcla de chars bagazo/RAC = 70/30 (p/p) con diferentes concentraciones de oxígeno (dp<37µm, caudal total de gas = 500 ml/min, m_0 = 5 mg).

En los registros de los tres residuos analizados (figuras 8 a 10), se puede observar que para concentraciones de oxígeno menores al 5% (v/v), una modificación en la concentración de este reactivo

ejerce una marcada influencia sobre la pérdida de peso de los chars sometidos a gasificación. Para concentraciones mayores a 5%, la influencia es menos significativa.

Se utilizaron los datos obtenidos por termogravimetría no-isotérmica para caracterizar la cinética de la gasificación de los chars empleados, con distintas concentraciones de oxígeno. Se utilizó el mismo modelo aplicado anteriormente, a fin de comparar los parámetros estimados con los que surgen de las experiencias realizadas en condiciones isotérmicas. Como ya se señaló, el modelo considera la gasificación como una reacción de una sola etapa global de orden r respecto al sólido y orden q respecto al reactivo gaseoso. La expresión cinética está dada por la ecuación (1).

Los datos experimentales w vs (t, T), se ajustaron mediante regresión no lineal, asignando al orden de reacción respecto al sólido el valor medio obtenido de la evaluación de los registros isotérmicos, r = 1.8, ya que en este caso se comprobó que el orden de reacción obtenido mediante análisis isotérmico ajusta adecuadamente los datos experimentales obtenidos mediante termogravimetría no-isotérmica para bajas velocidades de calentamiento, o sea gradientes de temperatura despreciables, en el intervalo de temperaturas de 623 a 773 K, estimándose los parámetros característicos del modelo, minimizando la función objetivo definida previamente por la expresión (3), en el intervalo de temperaturas en el que la cinética está gobernada por la reacción química, siendo despreciables los efectos difusivos.

Los valores de los parámetros cinéticos estimados a partir de la aplicación del modelo utilizado para representar los datos experimentales de la gasificación de los residuos fibrosos pirolizados de la industria azucarera y la mezcla de estos en proporción 70% (p/p) de char de bagazo de caña de azúcar con 10% v/v de O_2, obtenidos a 5 K/min en el intervalo de temperaturas de 623 a 773 K y manteniendo el orden de reacción respecto al sólido, r = 1.8, permiten formular las leyes de velocidad que a continuación se detallan:

Para el char de bagazo: $$\frac{dX}{dt} = 2.8x10^6 \ \exp\left\{-\frac{106.5}{RT}\right\} (1-X)^{1.8} \qquad (13)$$

Para el char de los RAC: $$\frac{dX}{dt} = 8.0x10^5 \ \exp\left\{-\frac{98.7}{RT}\right\} (1-X)^{1.8} \qquad (14)$$

Para la mezcla bagazo/RAC = 70/30 (p/p): $$\frac{dX}{dt} = 2.1x10^6 \ \exp\left\{-\frac{103.9}{RT}\right\} (1-X)^{1.8} \qquad (15)$$

Los valores de las energías de activación calculados para la gasificación de estos residuos no difieren significativamente de los bibliográficos para chars de otros residuos agroindustriales trabajando en condiciones similares y empleando termogravimetría no-isotérmica. [(3)]

Como se señaló anteriormente, la reactividad de los chars sometidos a gasificación sigue una tendencia decreciente con el contenido de carbono, además de que sobre ella interviene notablemente la composición química del char, de ahí la influencia que ejerce la presencia de sales y óxidos de potasio ya mencionada. La tendencia de los parámetros cinéticos estimados a partir de los registros no-isotérmicos concuerda con la encontrada a partir del análisis isotérmico aunque los valores son ligeramente inferiores, lo cual merece destacarse, ya que la termogravimetría no-isotérmica en general no brinda valores precisos, y en la mayoría de los casos difieren significativamente de los determinados según la termogravimetría isotérmica.

A fin de calcular el orden de reacción respecto al oxígeno se estimó el factor preexponecial aparente (k'_0), que incluye la presión de oxígeno, fijando el orden de reacción respecto al sólido en el valor obtenido del análisis isotérmico (r = 1.8) y manteniendo la energía de activación constante en los valores presentados en las expresiones (13, 14 y 15). En la estimación de los parámetros se minimizó la función objetivo definida según (3).

Aplicando logaritmos a la expresión de k'_0 derivada de la ecuación (4), se obtiene:

$$ln\, k'_0 = ln\, k_0 + q \ \ ln\, p_{O_2} \qquad (16)$$

En consecuencia, se representan los valores de $ln\,k'_0$ vs $ln\,p_{O_2}$. Teniendo en cuenta que se verificó que los efectos de transporte de calor y masa eran despreciables con una concentración de reactivo gaseoso de 10%v/v; es probable que estos resultados no se mantengan para concentraciones más altas. Por lo tanto, para determinar el valor de q, se tomaron en cuenta sólo los puntos que corresponden a las concentraciones menores o iguales a 10% v/v. Con los resultados Los valores del factor preexponencial (k_0) y del orden de reacción respecto al oxígeno (q) calculados por regresión lineal a partir de la expresión (16), se replantean las ecuaciones de velocidad de reacción (13 a 15), obteniéndose las siguientes:

Para el char de bagazo: $$\frac{dX}{dt} = 13.2x10^6 \ \exp\left\{-\frac{106.5}{RT}\right\} \left(p_{O_2}\right)^{0.9} \left(1-X\right)^{1.8} \quad (17)$$

Char de los RAC: $$\frac{dX}{dt} = 3.3x10^6 \ \exp\left\{-\frac{98.7}{RT}\right\} \left(p_{O_2}\right)^{0.9} \left(1-X\right)^{1.8} \quad (18)$$

Para la mezcla bagazo/RAC=70/30 (p/p): $$\frac{dX}{dt} = 9.0x10^6 \ \exp\left\{-\frac{103.9}{RT}\right\} \left(p_{O_2}\right)^{0.8} \left(1-X\right)^{1.8} \quad (19)$$

III.2.1. Reactividad

En la Figura 11, se ejemplifica la reactividad, calculada según (11), para la gasificación de los chars de los residuos y la mezcla de chars de proporción 70% (p/p) de char de bagazo de caña de azúcar en función de la conversión, calculada según (12). Los datos representados corresponden a los registros no-isotérmicos con oxígeno 10% (v/v) obtenidos a 5 K/min.

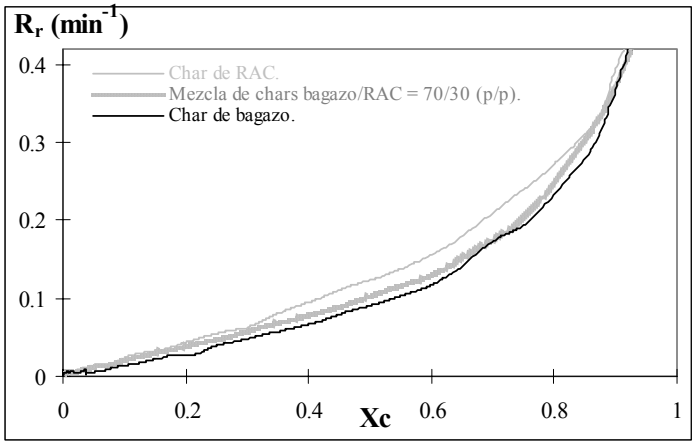


Figura 11. Reactividad de los chars de los residuos de la industria azucarera durante la gasificación con 10% v/v de O_2, calculada partir de los registros no-isotérmicos.

El char de los residuos agrícolas cañeros es significativamente más reactivo que el de bagazo de caña de azúcar en prácticamente todo el intervalo de conversión; asimismo, la mezcla presenta una reactividad intermedia a la de sus constituyentes. Esto se refleja en los valores estimados de EA (Expresiones (13), (14) y (15)) y cuyas causas se discutieron anteriormente, siendo el comportamiento similar al obtenido en condiciones isotérmicas.

IV. CONCLUSIONES

A partir de las experiencias realizadas por termogravimetría isotérmica, se caracterizó la cinética de la gasificación de cada uno de los residuos pirolizados y de la mezcla de éstos en la proporción de 70% (p/p) de char de bagazo de caña de azúcar, con oxígeno (10% v/v) en el intervalo de temperaturas de 623 a 823 K. Se aplicó un modelo que considera la gasificación como una reacción de una sola etapa global con un número reducido de parámetros; éste representa satisfactoriamente los datos cinéticos obtenidos en todo el intervalo de temperaturas estudiado. Los parámetros cinéticos estimados, en el intervalo de 623 a

773 K, fueron: el orden de reacción respecto al sólido, el factor preexponencial aparente y la energía de activación; a temperaturas superiores a 773 K, los efectos difusivos son apreciables.

Se evaluó comparativamente la reactividad de los chars de los residuos y de la mezcla a partir del análisis termogravimétrico isotérmico. Se encontró que el char de los residuos agrícolas cañeros es más reactivo que el de bagazo de caña de azúcar, en todo el intervalo de conversión y de temperaturas (623 - 773K). El comportamiento de la mezcla es similar al del char de bagazo de caña de azúcar pero la proporción de residuos agrícolas cañeros presente en ésta induce un incremento de la reactividad respecto a la del char de bagazo de caña de azúcar. Esto se refleja en los valores de energía de activación estimados, obteniéndose para la mezcla un valor intermedio entre los correspondientes a los chars de bagazo de caña de azúcar y residuos agrícolas cañeros.

La caracterización cinética de la gasificación de los chars y la mezcla de éstos, a partir de la información obtenida en condiciones no-isotérmicas y aplicando el modelo utilizado para describir los datos cinéticos en condiciones isotérmicas, permitió comparar los parámetros cinéticos resultantes y corroborar que la aplicación de ambas metodologías en el intervalo de temperaturas de 623 a 773 K conduce a resultados satisfactoriamente concordantes. El análisis de la influencia de la concentración de oxígeno sobre las reactividades relativas de los diferentes chars sometidos a gasificación mediante termogravimetría no-isotérmica permitió estimar el orden de reacción respecto al reactivo gaseoso. Asimismo, a partir de este análisis, se encontró que se mantiene la tendencia de las reactividades relativas de los chars y de la mezcla de éstos, determinada a partir de la información cinética obtenida en condiciones isotérmicas para una única concentración de oxígeno.

V. REFERENCIAS

1. Buekens, A. G.; Bridgwater, A. V. (**1990**) *Commercial and Marketing Aspect of Gasifiers.* Ed. Brussels.
2. Cukierman A. L., Della Rocca P. A., Bonelli P. R.; Cassanello M. C. (**1996**) *Trends in Chemical Engineering*, 3, 129-144.
3. Di Blasi, C.; Buonano, F.; Branca, C. (**1998**) *Proceeding of the Biomass for Energy and Industry, 10th European Conference and Technology Exhibition*, Würzburg, Alemania.
4. Larson, E. D.; Ogden, J. M.; Williams, R. H.; Hylton, M. G. (**1990**) *International Sugar Journal of Engineering for gas Turbine Power,* 112, 157-163.
5. Lizzio, A. A.; Jiang, H.; Radovic, L. R. (**1990**) *Carbon*, 28, 1, 7-19
6. Luo, M.; Stanmore, B. (**1992**) *Fuel,* 71, 1074-1076.
7. Magnaterra, M.; Fusco, J. R.; Ochoa, J.; Cukierman, A. L. (**1994**) *Proceeding of the International Conference on Advances in Thermochemical Biomass Conversion*, Ed. A. V. Bridwater, Blackie A & P, 116-130.
8. Ochoa J. (**1996**) *Tesis Doctoral*, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
9. Olivares Gómez, E., Silva Lora, E. (**1994**) *Informe de investigaciones.* UNICAMP
10. Radovic, L. R.; Hiang, H.; Lizzio, A. A. (**1991**) *Energy & Fuels*, 5, 68-74.
11. Roque Díaz, P.; Rubio González, A.; Ponce Arrieta, F.; Esperanza Pérez, E.; Alemán, Y. (**1997**) Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, *Informe de investigacione.*
12. Tancredi, N.; Cordero, T.; Rodríguez-Mirasol, J. J. (**1996**) *Fuel,* 75, 13, 1505-1508.
13. Tancredi, N.; Cordero, T.; Rodríguez-Mirasol, J. J.; Rodríguez, J. J. (**1996**) *Fuel,* 75, 15, 1701-1706.
14. Villegas Aguilar, P. J.; Quincoces Suárez, M.; Llópiz Burell, J. C.; Prieto García, J. O. (**2003**) *AFINIDAD,* julio – agosto, 60, 506, 338-343.

EL NUEVO PARADIGMA PARA LOS INGENIOS AZUCAREROS "INDUSTRIAS DE ALIMENTOS Y DE ENERGÍA"

THE NEW PARADIGM FOR THE SUGAR FACTORIES "FOOD AND ENERGY INDUSTRIES"

Pedro Eduardo Pinho de Assis
Consultor Internacional para Azúcar, Etanol y Energía
P.A.Sys Engenharia e Sistemas
eng@pasys.com.br
f: 55 19 3402 4777
Piracicaba – S.Paulo- Brasil

Resumen

Esto trabajo presenta soluciones alternativas para la rehabilitación de los ingenios azucareros, de manera a cambiarlos del simples unidades de fabricación de azúcar al status de industrias de producción de alimentos y energía. Lo que se propone es fundamentalmente la diversificación de la producción de los ingenios con la introducción de procesos complementares para la producción de etanol anhidro carburante, en proporción variable y balanceada con la producción de azúcar, asociando mejorías en el ciclo térmico de la planta y la utilización de la paja de caña, de forma a permitir una considerable cogeneración de excedentes de energía eléctrica para venta. En alternativa a la producción de excedentes de energía eléctrica, también se discute la maximización de la producción de etanol carburante a partir del bagazo sobrante.

Abstract

This paper presents alternative approaches for sugar factories rehabilitation, promoting their status increasing from simple sugar factories to modern food and energy production plants. Basically what is proposed is the diversification of the plant production, introducing anhydrous fuel ethanol process plants, in a variable and balanced proportion with the sugar production, associating some considerations for thermal efficiency increasing and straw use, in the way to permits a considerable exportable electric energy surplus. The maximization of the ethanol production, using the bagasse is also discussed.

Introducción

Ya es tiempo de romper con la tendencia tan perniciosa que pone la industria de azúcar-de-cana en el grupo de industrias de segunda clase. Para el tanto es necesario establecerse un nuevo paradigma para esos emprendimientos, o sea, transformar el concepto de ***Ingenios,*** que hoy día, en general, son considerados como simples productores de azúcar de caña, en ***importantes unidades productoras de energía y de alimentos.***

La caña de azúcar, esa maravilla de la naturaleza, al revés del petróleo, es una fuente renovable de energía limpia. A despecho de todo el desarrollo tecnológico actualmente disponible en escala comercial, su potencial energético esta muy lejos de ser explorado en niveles adecuados, bien sea por desconocimiento, o bien por falta de recursos para inversiones o mismo por la inexistencia de mercados y de políticas públicas generadoras de esos mercados, especialmente en los países donde la caña es producida. Es angustiante saber que 1 tonelada métrica de caña, acrecida de la

paja correspondiente, contiene la energía equivalente a ***1,24 barriles de petróleo*** y que de eso aprovechamos actualmente, cuando mucho, solamente 39%. Eso en los procesos en que se produce azúcar y etanol residual a partir de la fermentación de la miel final.
Eso puesto, es nuestro entendimiento que la rehabilitación de la industria de la caña de azúcar deberá pautarse en la diversificación de productos y en especial en la búsqueda de una mayor eficiencia energética. Además de la producción de azúcar, se debe llevar en cuenta la producción de excedentes de energía eléctrica y de etanol para fines carburantes, cuya demanda puede ser creada, en corto plaza, en los mercados domésticos, debido a los beneficios ambientales y, en muchos casos, a los ahorros de divisas con importación de combustibles que su consumo puede traer. La adopción de un programa de producción de etanol puede, además del mencionado antes, permitir, en futuro próximo, una mayor participación en los mercados mundiales, considerando la expectativa de fuerte aumenta de demanda por eso producto, para usos diversos, tales como: aditivo para aumentar el índice de octanas de los diferentes tipos de gasolinas, aditivo para aumentar la oxigenación de los combustibles derivados de petróleo o aún como agente químico en la producción de biodiesel – gasoil producido a partir de la *transesterificación* de aceites vegetales . Es importante también mencionar que, en un futuro muy breve, el etanol deberá ser ampliamente utilizado como fuente de hidrogeno para las celdas de combustibles, actualmente en fase de desarrollo.

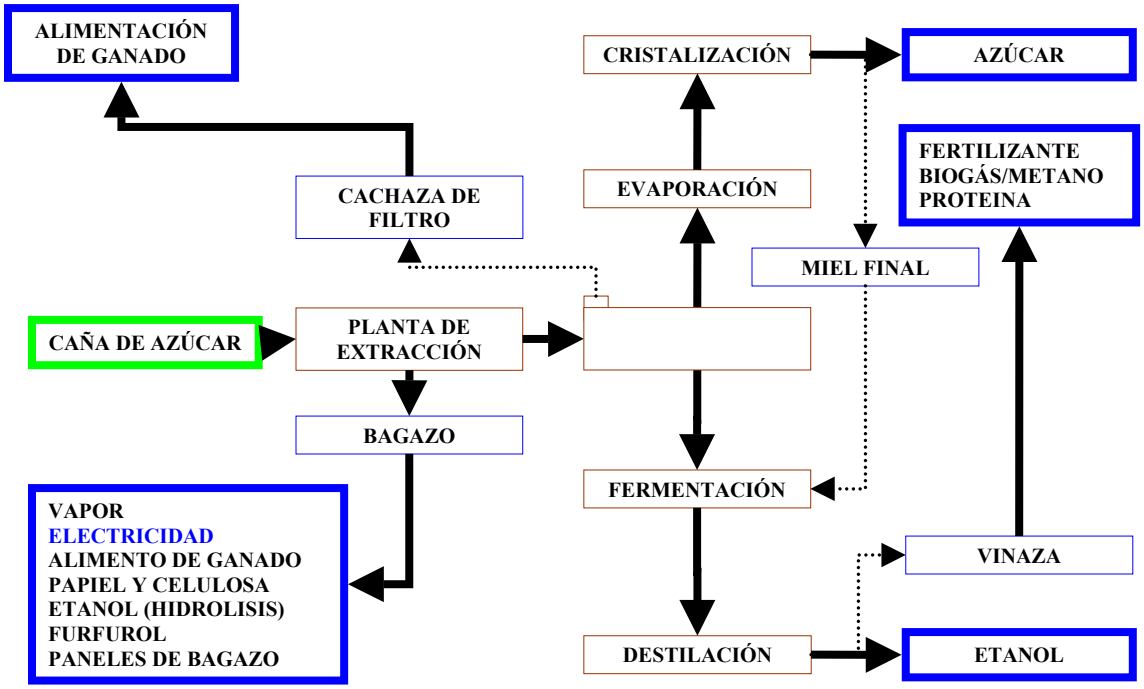
Aspectos Generales de la Cogeneración de Energía Eléctrica

Es necesario llevar en cuenta que no basta quemar la sobra de bagazo, cuando existente, para producir excedentes relevantes de energía eléctrica. En los procesos actualmente en uso, en plantas auto-suficientes en energía, esa sobra bagazo, en general entre 5% a 10% del total producido en los molinos, no es grande o suficiente para producir excedentes importantes. En general, por falta de mejor opción, el bagazo producido es incinerado con mínima eficiencia, apenas el suficiente para generar el vapor necesario a la auto-suficiencia energética del ingenio. Grandes sobras de bagazo acaban trayendo problemas de almacenaje y/o de destinación. Por eso hoy día es común escucharse que los ingenios trabajan, en buena parte de los casos, con una *baja eficiencia "programada"*, de forma a evitar las sobras indeseables de bagazo.
Los números presentados son alarmantes. Es, sin duda, necesario aumentar la eficiencia energética general de esas plantas, para eliminar el desperdicio de energía. Cuba, así como la gran mayoría de los países productores de caña, necesita de energía eléctrica para sostener su desarrollo. Estimase que un ingenio puede generar, con la tecnología hoy día comercialmente disponible, un excedente de energía eléctrica cerca de *10 veces mayor do que aquella necesaria para su plena operación.* Eso nivel puede ser alcanzado con el empleo de diferentes soluciones, en general combinadas, entre las cuales se destacan , la utilización de la paja de caña, hoy día dejada en el campo, como combustible adicional; calderas de alta presión y e temperatura, con eficiencias que puedes sobrepasar a los 87% - referida al poder calorífico inferior del bagazo; turbo-generadores de condensación con extracciones controladas; utilización de motores eléctricos en substitución a las turbinas en los accionamientos de cuchillas, desfibradores, molinos, bombas, etc.; racionalización del consumo de vapor en el proceso, con la maximización de las extracciones de vapor vegetal en la evaporación del jugo, calentadores regenerativos, tachos de cocimiento continuos, deshidratación del etanol a través de tamiz molecular o utilizándose mono-etileno-glicol – deshidratación *extractiva* – en substitución del ciclo-hexano, etc. Además, en ciertos casos, en donde la unidad produce etanol, se puede producir biogás, a partir de la biodigestión anaeróbica de la vinaza producida. Eso biogás, que puede ser normalmente quemado en las calderas, contiene 65% de metano, que presenta un poder calorífico inferior de 8500 Kcal/Kg y corresponde, en valor energético, a una cantidad de bagazo - a 50% de humedad - al rededor de 25 Kg por cada 1000 litros de vinaza producida en la fabricación del Alcohol.

Diversificación del la producción

El cuadro no.1 en adelante, muestra los principales productos y subproductos derivados de la caña-de-azúcar, que hoy día pueden ser explotados en escala comercial. Con el propósito de optimización operacional, la diversificación es fundamental para garantir la supervivencia del emprendimiento. Vale todavía comentar que un cierto nivel de flexibilidad en la matriz de los productos es deseable para permitir compensaciones financieras por ocasión de precios bajos decurrentes de los factores de oferta y demanda de un o otro producto. Resaltase, todavía, que la elección de esos productos en la optimización operacional debe de ser cuidadosa e criteriosa, pues, muchos de los productos derivados, tales como, proteína, furfurol y paneles de bagazo aglomerado, por ejemplo, son productos destinados a ciertos nichos de mercado y dependen de una acción comercial más objetiva y especializada, al contrario de los mercados del azúcar, de la energía eléctrica y, más recientemente, del etanol carburante que pueden ser considerados como productos de comercialización garantida en los mercados de "commodities".

Cuadro no.1 – Productos e Subproductos de la Caña-de-Azúcar



Delante de las consideraciones anteriores y entendiendo como genuino y necesario el deseo de Cuba de recuperar esa actividad esencial, ha que se diseñar una estrategia de retomada que permita la recuperación progresiva e sostenida del sector, agregando valor a sus productos. E eso aspecto, entendiemos que el direccionamiento de un programa de recuperación de la indústria en el país debe llevar en cuenta, además de la producción del azúcar, la producción de *energía eléctrica y de etanol para fines carburantes*, cuya demanda pude ser criada en el mercado doméstico, a corto plazo, debido a los beneficios sobre el medio ambiente y sobre la reducción de importación de gasolina que su consuno pode traer. Además de eso, el programa puede considerar, en futuro próximo, una mayor participación del país en el mercado de exportación, teniendo en cuenta los indicadores de elevado aumento de consuno en el mercado mundial, quiera como aditivo antidetonante, para las gasolinas, quiera como oxigenante de los

combustibles derivados de petróleo, o aún como agente de transesterificación en la producción de biodiesel. Destacase por fin que, luego más, el etanol también va ser largamente utilizado como fuente de hidrógeno para las celdas de combustibles.
Es oportuno mencionar también que la producción de etanol a partir de la hidrólisis del bagazo, en fase final de desarrollo en Brasil, configurase como una importante alternativa de optimización operacional. En la actual fase tecnológica, valores de hasta 120 litros de etanol – 93,6% de concentración en peso – pueden ser alcanzados con bagazo a 50% de humedad.

Consideraciones sobre la matriz de producción en la a optimización energética de la planta

Como punto de partida, llevándose en cuenta las consideraciones anteriores, vamos admitir que la matriz de producción lleve en cuenta la producción de azúcar, etanol y de excedentes para venta de energía eléctrica. El plan de la producción y , consecuentemente, la santificación de los recursos involucrados, tienen que observar que existe un cierto nivel de competencia entre esos productos. Se quisiéramos, por ejemplo, hacer más etanol, para un dado volumen de caña procesada, tendríamos que producir menos azúcar e vise-versa. En eso aspecto la decisión depende de factores como la demanda y precios de mercado para esos productos. Esa decisión, sobre el balanceo de esos dos productos de la matriz de producción, debe siempre llevar en cuenta el histórico y las proyecciones de mercado de medio e largo plazo.

Caminos para la diversificación y optimización de los ingenios de azúcar

Para evaluar los efectos de la diversificación y optimización energética de los ingenios, sobre los resultados operacionales, indicamos en el cuadro no. 2, diez diferentes configuraciones de plantas, cuyas características son analizadas en adelante.

Cuadro no.2 – Escenarios para diversificación de la producción y optimización energética

ESCENARIOS DE PRODUCCIÓN															
CONFIGURACIÓN	N.	Caña	%Caña para Azúcar	Templas	Accionamientos	Turbo generador	Calientamento Regenerativo	Pureza de la Miel Final	Melaza	Etanol	Energía Eléctrica	Sobra de Bagazo	Paja	Vinaza	Presión de la Caldera (bar)
	1	Para Azúcar	100%	3 mc	Turbina	Contra-Presión	No	35%	Para Venta	-	Autosuficiencia	Para Venta	-	Para Riego	21
	2	Para Etanol	0%	-	Motor Eléctrico	Contra-Presión	No	-	-	Jugo	Autosuficiencia	Para Venta	-	Para Riego	21
	3	Para Azúcar	100%	3 mc	Turbina	Contra-Presión	No	35%	Para Etanol	Melaza	Autosuficiencia	Para Venta	-	Para Riego	21
	4	%Para Azúcar	60%	**2 mc**	Turbina	Contra-Presión	Sí	60%	Para Etanol	Jugo	Autosuficiencia	Para Venta	-	Para Riego	21
	5	%Para Azúcar	60%	2 mc	Motor Eléctrico	Condensación y Extracción	Sí	60%	Para Etanol	Jugo + Melaza	Maxima Venta	Para Electricidad	-	Para Riego	**81**
	6	Para Etanol	0%	-	Motor Eléctrico	Condensación y Extracción	Sí	-	-	Jugo	Maxima Venta	Para Electricidad	-	Para Riego	**81**
	7	Para Etanol	0%	-	Motor Eléctrico	Condensación y Extracción	Sí	-	-	Jugo + Bagazo	Autosuficiencia	**Para Etanol**	-	Para Riego	21
	8	Para Etanol	0%	-	Motor Eléctrico	Condensación y Extracción	Sí	-	-	Jugo + Bagazo	Autosuficiencia	**Para Etanol**	For Steam (50%)	Para Riego	21
	9	Para Etanol	0%	-	Motor Eléctrico	Condensación y Extracción	Sí	-		Jugo	Maxima Venta	Para Electricidad	For Steam (50%)	Para Riego	**81**
	10	Para Etanol	0%	-	Motor Eléctrico	Condensación y Extracción	Sí	-	-	Jugo	Maxima Venta	Para Electricidad	For Steam (50%)	**Para Riego y Biogás**	**81**

Descripción y ejemplificación del las diferentes configuraciones de ingenios

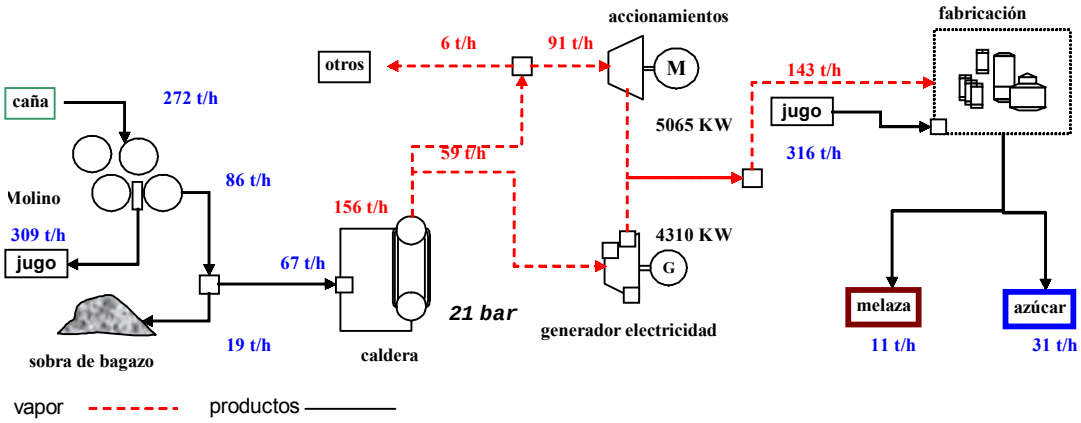
Para facilitar la comprensión y la percepción del valor agregado a la producción, en cada una de las configuraciones indicadas en cuadro no. 2, vamos utilizar un ejemplo numérico para un ingenio con capacidad de procesamiento de *1 millón de toneladas de caña por zafra*, con 'los siguientes parámetros de calidad de materia prima e de producción:

- Duración total de la zafra: 180 días
- Aprovechamiento del tiempo: 85 %
- Molienda efectiva diaria: 6.535 tm
- Pol%caña: 14,0 %
- Pureza de la caña: 83,0 %
- Fibra%caña: 15,0 %
- Azúcares reductores%caña: 1,0 %
- Calidad del azúcar producido: VHP (+/- 99,3 Pol)
- Calidad del etanol: Anhidro carburante

Con eso, se puede objetivamente discutir sobre las diferentes configuraciones, como sigue.

<u>Configuración N.1</u>: Ingenio de azúcar típico, con máxima producción de azúcar e autosuficiencia en energía eléctrica

Tradicionalmente, en los países que no se volverán a la producción de etanol en grande escala, como es el caso de Cuba, la practica usual tiene sido la maximización del la producción de azúcar, con el máximo agotamiento de la miel final, con pureza en el rango de 30 a 40%, en sistemas de cocimiento de 3 templas. La miel final producida que para o nuestro ejemplo fue tomada con 35% de pureza, vía de regla, es vendida a terceros para fabricación de bebidas, alimentación animal o otra aplicación cualquiera. En general la unidad produce vapor directo en calderas de 21 bar @ 300 ºC y co-genera toda la energía eléctrica consumida en sus operaciones industriales, a partir del propio bagazo producido en los molinos. Los accionamientos de las máquinas de preparación de caña y de los molinos son hechos por turbinas a vapor de simple etapa y la energía eléctrica es producida en grupo generador accionado por turbina de contra-presión de múltiples etapas. La evaporación es de 5 efectos con extracción de vapor vegetal en el 1º. Efecto para los tachos de cocimiento y los únicos productos para venta son el azúcar, miel final e, eventualmente algún bagazo.
Los valores anuales de producción están indicados en el cuadro anexo a la figura. Obsérvese que, la sobra de bagazo indicada es teórica y una parte significativa de la misma será utilizada en las retomadas de operación del ingenio, después de las paradas de emergencia o programadas para mantenimiento de rutina. Un mínimo de 7% do bagazo total producido por los molinos debe ser siempre mantenido en estoque estratégico para eso fin.

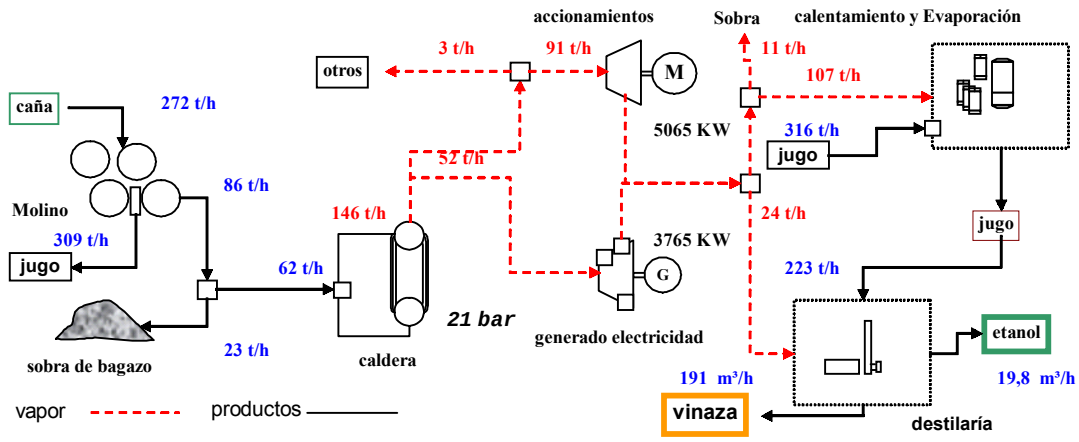


Producción para Venta									
Azúcar		Etanol		Melaza		Electricidad		Vinaza	
tm		m3		tm		MWh		m3	
por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra
737	112.786	0	0	266	40.702	0	0	0	0

<u>Configuración N.2</u>: Destilaría autónoma, autosuficiente en energía eléctrica, produciendo etanol a partir del jugo directo

Esa configuración corresponde básicamente aquella utilizada en Brasil, cuando de la creación del "Programa Nacional do Alcohol – PROALCOOL", en donde toda el jugo extraído de la caña es utilizado para producir etanol. El elevado rendimiento de etanol producido por tonelada de caña, se debe al facto de que ningún azúcar es producido y ninguna miel final resulta de eso proceso. El consumo de vapor de proceso es ligeramente inferior de aquellos de la configuración no. 1, donde solamente se produce azúcar.
La utilización de esa configuración es recomendada e los casos en que ha demanda asegurada de etanol, en un horizonte no menor do que aquel necesario a la amortiguación de las inversiones en el emprendimiento. Por otro lado se debe llevar en cuenta que va ser posible, en cualquier tiempo,

instalarse una fábrica de azúcar anexa, reduciendo la producción de etanol en favor de la producción deseada de azúcar. Eso paso en Brasil, con unidades semejantes, cuando de la estabilización de la demanda del PROALCOOL.



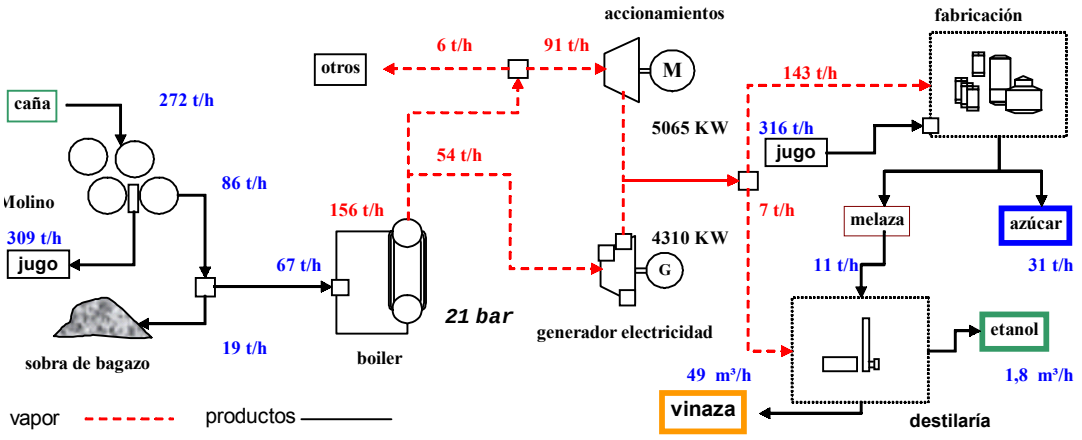
Producción para Venta									
Azúcar		Etanol		Melaza		Electricidad		Vinaza	
tm		m3		tm		MWh		m3	
por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra
0	0	476	72.848	0	0	0	0	4.588	701.969

El jugo enviado a la destilaría debe ser tratado, a través de procedimientos semejantes aquellos utilizados para el jugo destinado a la producción de azúcar (encalaje, decantación y filtración). Una leve concentración de jugo, hasta cerca de 18º Brix, es requerida para optimizar el rendimiento de la fermentación. Nótese aún que esa unidad tiene características semejantes aquéllas de la configuración no. 1, en el tocante a las características de los equipamientos de alimentación, preparación y e molienda de caña, todavía la planta de producción de azúcar fue sustituida por la destilaría de producción de etanol anhidro carburante, cuya fase de deshidratación es realizada en columna de ciclo-hexano. Se puede notar en el ejemplo, una sobra de vapor de escape de 11 t/h, que a rigor no debería existir. Entretanto, teniendo ocurrido en nuestro balance teórico, vamos utilizarla para enriquecer nuestro ejemplo. Esa sobra ocurrió en función de las diferentes eficiencias que están asociadas en el proceso. Para contornear eso, y para que no haya perdida de agua de buena calidad con la descarga de eso excedente, las eficiencias de las turbinas de los accionamientos mecánicos deberían ser revistas de forma a buscar el equilibrio del balance de vapor. En algunos casos, la adopción de turbinas de múltiples etapas, para los equipamientos de mayor potencia, soluciona el problema, como también se podría optar pela utilización de accionamientos eléctricos en substitución de algunas de las turbinas a vapor, siempre en la búsqueda del equilibrio del balance. En esto último caso el generador debería ser redimensionado.

<u>Configuración N.3:</u> Ingenio de azúcar, con máxima producción de azúcar, autosuficiencia en energía eléctrica y produciendo etanol a partir de la miel final

Para mercados donde el etanol aún no está consolidado como una "commodity" y el azúcar debe ser considerado como el producto principal, la diversificación de la producción puede ser la producción de etanol a partir de la miel final producida. La planta a ser instalada en esto caso, por la propia condición en que va ser inserida en el ingenio, es, en general denominada de *destilaría anexa*. Su instalación podrá traer resultados económicos interesantes, siempre que el valor de

mercado para el Alcohol sea superior al equivalente valor pagado para la miel final. En esto caso, el flujo de producción y los valores asociados son mostrados a seguir. Ahí se puede observar que, juntamente con la producción **de 43.000 litros diarios de etanol**, aparece como efluente una cantidad significativa de vinaza, de más de 20 veces el volumen del etanol producido. Eso debido al facto de la miel final, utilizada en la fabricación del etanol presentar-se pobre de azúcar, pues mantuvimos el mismo agotamiento final del ejemplo de la configuración no.1, con pureza de la melaza de 35%. En el caso de Cuba , esa vinaza puede ser utilizada directamente para ferti-riego de los cañaverales. Con eso, además de resolver fácilmente el problema de efluente, resulta en economía de fertilizante en la producción de caña, por el contenido de potasio, fósforo y nitrógeno que la vinaza presenta.



Producción para Venta									
Azúcar		Etanol		Melaza		Electricidad		Vinaza	
tm		m3		tm		MWh		m3	
por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra
737	**112.786**	**43**	**6.642**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1.187**	**181.577**

La deshidratación del etanol producido es hecha en columna de ciclo-hexano y, se puede notar que, a pesar de la producción del Alcohol, el consumo total de vapor se mantuvo, prácticamente inalterado. Nótese también que, además de la producción de etanol, todas las demás características de la configuración no.1 fueron mantenidas.

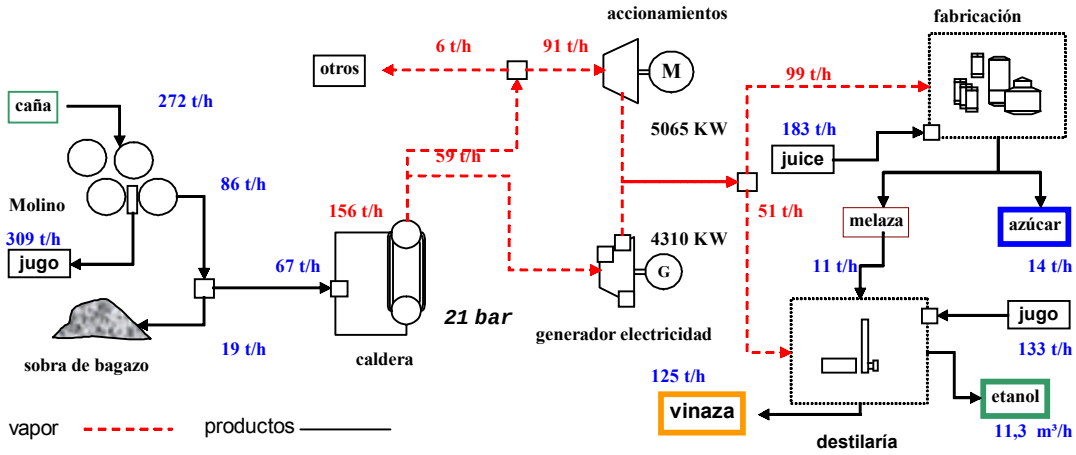
<u>Configuración N.4:</u> Ingenio con producción de azúcar y etanol, autosuficiencia en energía eléctrica y produciendo etanol a partir del jugo directo y miel final.

En esto caso, un porcentaje del jugo total extraído en el molino es desviado directamente para la destilaría, en cuanto que el restante sigue para la producción de azúcar. Aquí, la miel final resultante de la fabricación de azúcar, es también enviada a la destilaría, para fermentación juntamente con el jugo directo.

El porcentaje de jugo directo para etanol, ciertamente va depender de las condiciones comparativas de precios y demandas entre el etanol e el azúcar. Es importante llevar en cuenta que, en esta condición, se puede también optar por no trabajar con máximo agotamiento en la fábrica de azúcar. Eso permite una grande simplificación en el proceso de obtención de eso producto, siendo normalmente suficiente el trabajo con 2 templas y pequeños volúmenes de cristalizadores, al contrario de los sistemas de máximo agotamiento en 3 templas.

Para el ejemplo en cuestión, con base en la configuración de no.1, vamos tomar una proporción de 58% de la molida total para fabricación de azúcar y el restante para producción directa de etanol. Los resultados correspondientes pueden ser vistos en el flujo adelante. Se puede notar que, a pesar

de la alteración de la matriz de los productos, ninguna alteración relevante ocurrió en el consumo de vapor, referido a la caldera, permaneciendo tal cual la configuración no. 1.



Producción para Venta									
Azúcar		Etanol		Melaza		Electricidad		Vinaza	
tm		m3		tm		MWh		m3	
por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra
343	**52.467**	**271**	**41.482**	**0**	**0**	**0**	**0**	**3.012**	**460.799**

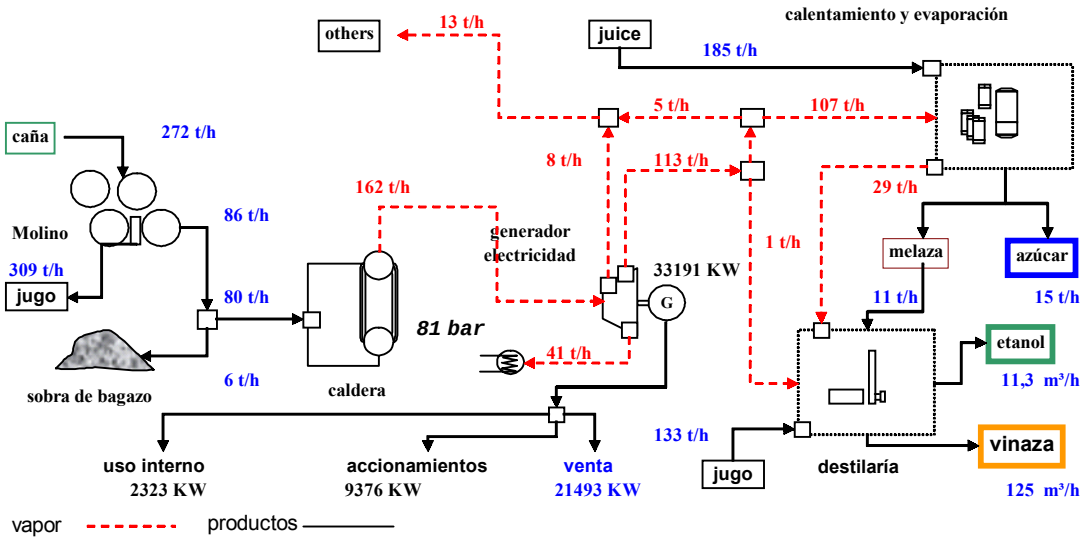
El volumen de vinaza resultante, aún que mayor do que aquel indicado en la configuración no. 3 es significativamente menor en proporción al etanol producido – 11 litros de vinaza por litro de etanol producido – en función de la mayor pureza del mosto enviado a la destilaría que, en esto caso es una mezcla de jugo directo y miel rica, con 60% de pureza, proveniente del cocimiento en sistema de 2 templas.

<u>Configuración N.5:</u> Ingenio con producción de azúcar, etanol e excedente de energía eléctrica.

Tomando como base cualquier de las configuraciones anteriores, la obtención de un considerable excedente exportable de energía eléctrica, depende del mejor aprovechamiento de la energía del bagazo disponible. Para lo tanto, algunas alteraciones en las características de los equipamientos utilizados en las configuraciones anteriores deben ser introducidas, entre las cuales y, principalmente:

- Calderas con mayor presión y temperatura
- Turbo-generadores de condensación e extracción controlada de vapor al proceso.
- Accionamientos eléctricos en substitución a las turbinas en las máquinas de preparación de caña e molinos.
- Mayor explotación de las extracciones de vapor vegetal de la evaporación para calentamiento de jugo.
- Utilización de calentamiento regenerativo en el enfriamiento de la vinaza e el enfriamiento de la porción de jugo enviada directamente a la destilaría.
- Utilización de tamiz molecular o columnas de mono-etileno-glicol en la deshidratación del etanol.

Con base en esas consideraciones y tomando como punto de partida la configuración no. 4, tendremos los resultados indicados en el diagrama a seguir, para una presión de vapor en la caldera de 81 bar @ 510 ºC; extracciones de vapor, para calentamiento de jugo, del primero y segundo efecto de evaporación y destilaría alimentada con vapor vegetal del 1º.efecto de evaporación.

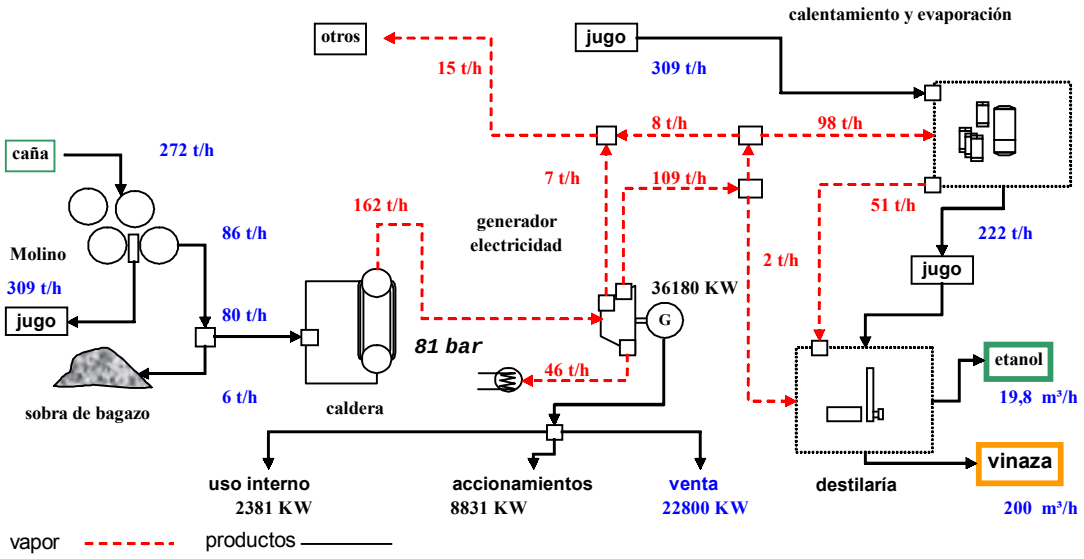


Producción para Venta									
Azúcar		Etanol		Melaza		Electricidad		Vinaza	
tm		m3		tm		MWh		m3	
por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra
343	**52.467**	**271**	**41.482**	**0**	**0**	**516**	**78.921**	**3.012**	**460.799**

En esto ejemplo, podemos ver que, además de la producción del mismo volumen de azúcar e etanol de la configuración 1, la planta puede producir un excedente de energía exportable de 78.921 MWh, o sea, aproximadamente 5 veces más grande do que la energía requerida en la configuración 4 para la auto-suficiencia de la planta. Una reserva técnica de bagazo, equivalente al 7% del total producido fue considerada en el ejemplo.

Configuración N.6: ***Destilaría autónoma con excedente de energía eléctrica.***

Aplicándose los mismos conceptos de 7.5, sobre la configuración no.2 – destilaría autónoma con producción de etanol a partir del jugo directo - los siguientes resultados podrán ser alcanzados:

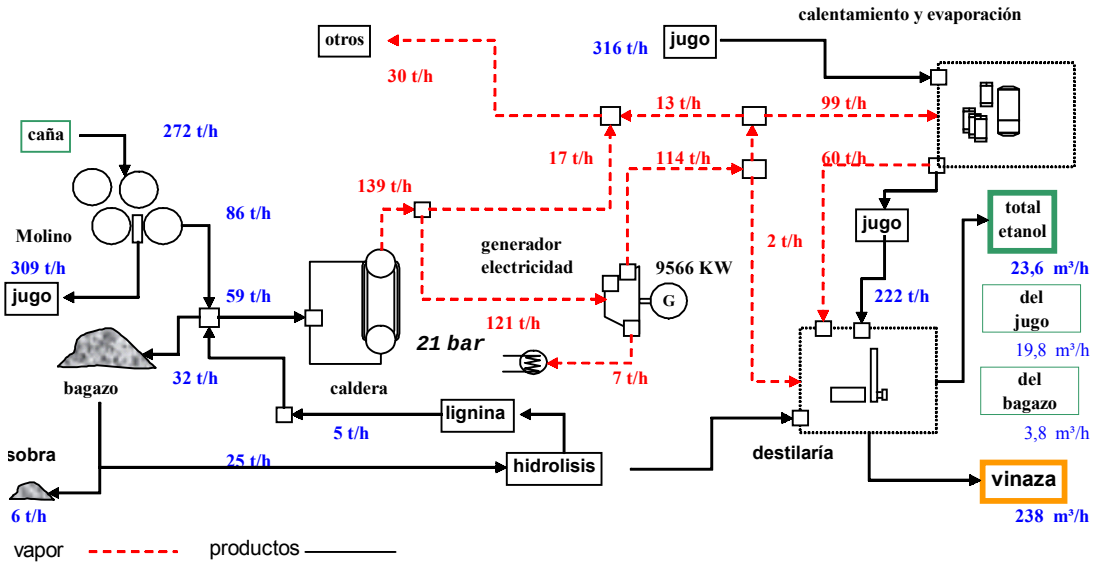


Producción para Venta									
Azúcar		Etanol		Melaza		Electricidad		Vinaza	
tm		m3		tm		MWh		m3	
por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra
0	0	476	72.848	0	0	547	83.720	4.795	733.588

El pequeño incremento en la generación de excedente de energía eléctrica, en relación a la configuración no. 5, se debe al consumo de vapor ligeramente más bajo de la fabricación exclusiva de etanol.

<u>Configuración N.7:</u> Destilaría autónoma auto-suficiente en energía eléctrica, con producción de etanol de jugo directo, complementada con hidrólisis de bagazo

En la configuración no. 6, como visto, se exploto la máxima producción de etanol y de energía eléctrica, utilizándose, además de un ciclo térmico eficiente para la planta termoeléctrica, todo el bagazo disponible, a menos de la reserva técnica de 7%, para producir excedente de energía eléctrica. De otra manera, en esta configuración, la idea no va ser producir excedentes de energía eléctrica, pero sí aumentar la producción de etanol, a partir de la *hidrólisis* del excedente de bagazo, ya descontada la cantidad requerida para la auto-suficiencia energética de la planta.
En esto caso, para que se obtenga la máxima sobra de bagazo para la hidrólisis, la presión de vapor no debe ser tan elevada como en la configuración anterior e, por eso, se adopta 21 bar @ 300 ºC.

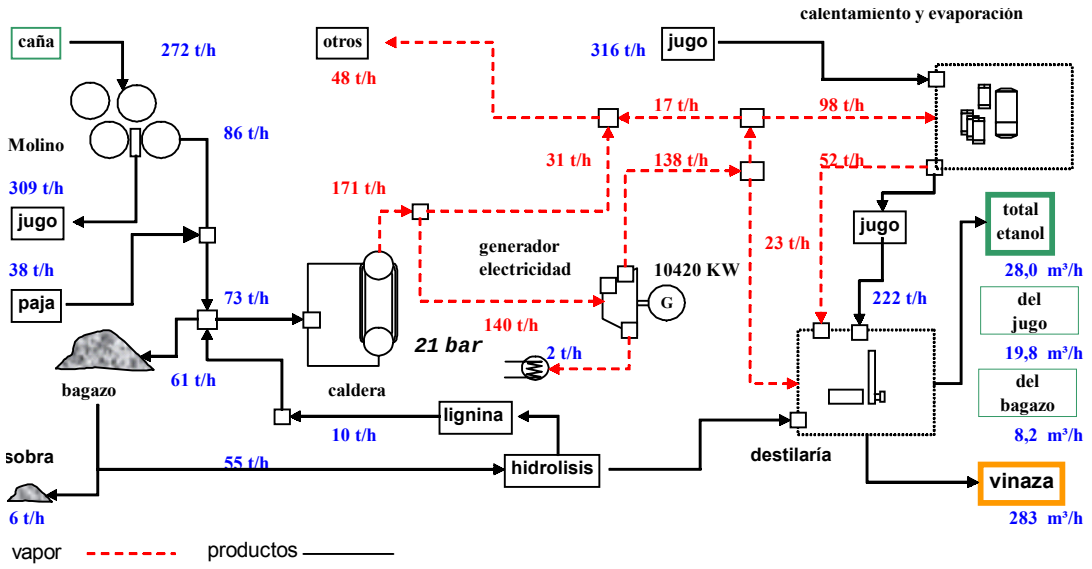


Producción para Venta									
Azúcar		Etanol		Melaza		Electricidad		Vinaza	
tm		m3		tm		MWh		m3	
por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra
0	0	567	86.801	0	0	0	0	5.714	874.259

Esta configuración de planta, como se puede ver, permite la producción de un adicional de etanol del orden de 20%, en relación a la configuración no. 6. Se puede notar también, en el diagrama de la planta, que el proceso de hidrólisis del bagazo produce una cantidad de lignina equivalente a 5 toneladas por hora de bagazo de caña, que es directamente quemada en la caldera juntamente con el bagazo proveniente de los molinos. El volumen de vinaza aumenta, aproximadamente, en la misma proporción del aumento de producción de etanol, con respecto a la configuración no. 6.

<u>Configuración N.8:</u> Destilaría autónoma autosuficiente en energía eléctrica, con producción de etanol de jugo directo, complementada con hidrólisis de bagazo y generación de vapor parcialmente hecha con paja de caña.

El aprovechamiento de la paja de caña, que en general es mantenida en el campo o en muchos casos quemada antes de la cosecha, es una fuente mucho importante de energía. Estimada en 14% sobre el peso de caña limpia – base seca- es posible aprovechar aproximadamente 50% de esa cantidad para quema en las calderas, en mezcla con el bagazo in natura. Se consideramos que esa paja, segundo prácticas recientes en Brasil, llega a la destilaría con una humedad al rededor del 15%, su poder calorífico correspondiente es de 3.100 Kcal/Kg. Eso significa, en términos energéticos, que cada tonelada de paja corresponde a, aproximadamente, 1,75 toneladas de bagazo in natura, con 50% de humedad y 1770 Kcal/Kg .

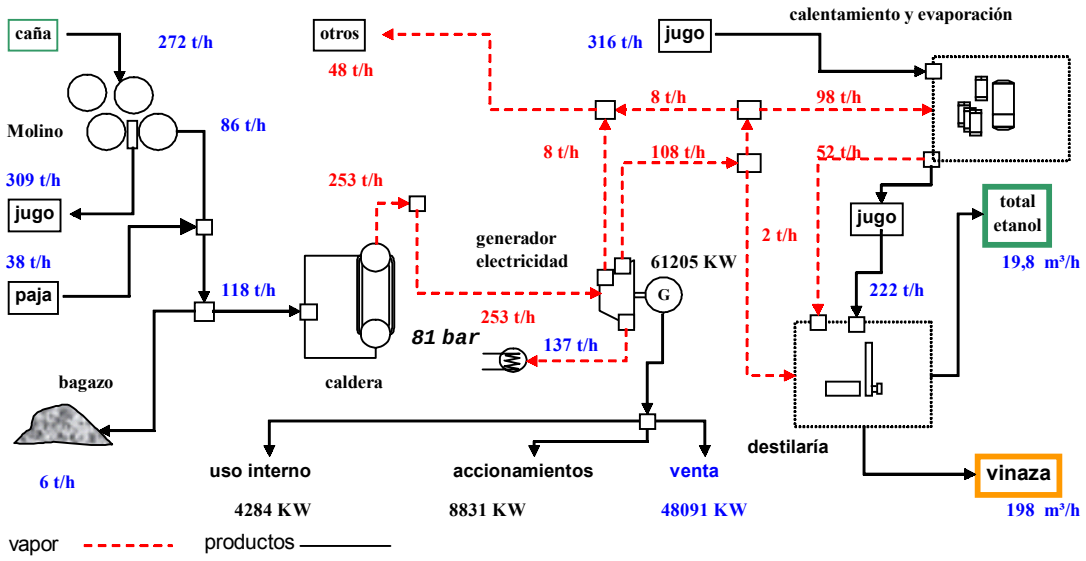


Producción para Venta									
Azúcar		Etanol		Melaza		Electricidad		Vinaza	
tm		m3		tm		MWh		m3	
por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra
0	0	673	103.002	0	0	0	0	6.782	1.037.598

Con base en eso, se puede armar la presente configuración, ilustrada en el diagrama arriba, de manera semejante a la configuración anterior, no. 7, donde el uso de la paja permite un aumento mucho significativo en la sobra de bagazo para el proceso de hidrólisis, y como consecuencia un considerable aumento en la producción de etanol. Nótese que tanto la paja como la lignina, indicadas en el diagrama están referidas a la cantidad de bagazo equivalente.

<u>Configuración N.9</u>: Ingenio con producción de azúcar, etanol e excedente de energía eléctrica, con generación de vapor parcialmente hecha con paja de caña.

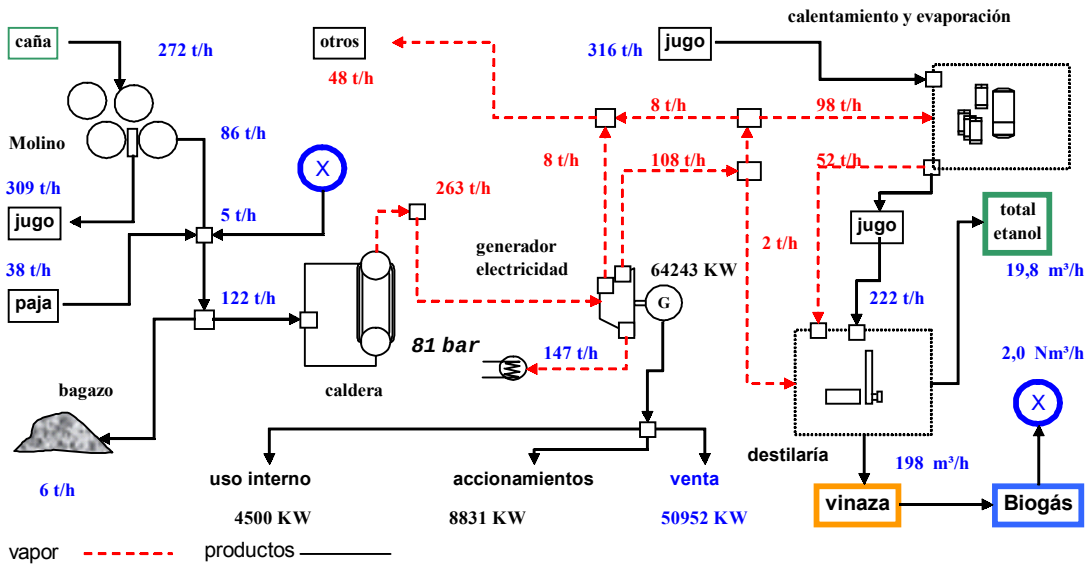
Caso se opte por la producción de energía eléctrica, y no por la hidrólisis, al ejemplo de la configuración no. 6, el uso de la paja puede resultar en un aumento bastante significativo, como se muestra en el diagrama a seguir. De forma semejante e, básicamente con el mismo impacto, el mismo concepto podría ser aplicado a la configuración no. 5, con la producción simultánea de azúcar, Alcohol e excedente de energía eléctrica.



Producción para Venta									
Azúcar		Etanol		Melaza		Electricidad		Vinaza	
tm		m3		tm		MWh		m3	
por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra
0	0	476	72.848	0	0	1.154	176.588	4.795	733.588

<u>Configuración N.10</u>: Ingenio con producción de azúcar, etanol e excedente de energía eléctrica, con generación de vapor parcialmente hecha con paja de caña y biogás.

Finalmente, aún podemos maximizar el excedente de energía eléctrica, indicado en la configuración no. 9, con la utilización de biogás, producido a partir de la fermentación anaeróbica de la vinaza, como combustible suplementar para producción de vapor. Para la vinaza producida con la utilización de jugo directo, cuyo tenor de DQO es de, aproximadamente, 25 Kg por m3, es posible producirse una cantidad de biogás, con cerca de 65% de metano, del orden de 75 Nm3/m3 de vinaza, dentro del estado actual de la técnica de biodigestión. Considerando el poder calorífico del metano como 8500 Kcal/Kg, eso correspondería, en valor energético, a 24 kg de bagazo in natura, para cada m3 de vinaza procesada. Además, después de la biodigestión, el efluente resultante, libre de materias orgánicas, puede ser normalmente utilizado para ferti-riego, sin, prácticamente, ningún prejuicio de sus características de fertilización, conferidas por la presencia de nitrógeno, fósforo y potasio, que no son transformados en la biodigestión. Así, el impacto del uso del biogás, sobre la configuración no. 9, puede ser evaluado en el diagrama a seguir



Producción para Venta									
Azúcar		Etanol		Melaza		Electricidad		Vinaza	
tm		m3		tm		MWh		m3	
por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra	por día	por zafra
0	0	476	72.848	0	0	1.223	187.097	4.795	733.588

Sumario y comentarios sobre las configuraciones presentadas

El cuadro no. 3, a seguir, resume los resultados de las 10 configuraciones presentadas anteriormente, con respecto a los productos e respectivas cantidades obtenidas en cada configuración. Es cierto que tales valores, disociados de las respectivos inversiones e de los valores de esos productos en los mercados, nada representan. Así, estimamos, para cada alternativa, los valores de las inversiones correspondientes para plantas nuevas y los precios de los productos que consideramos alcanzables dentro de los actuales padrones del mercado.
La ultima columna del cuadro, (S)/(I), que representa, con base en los valores estimados, la relación entre ventas e inversiones, es una medida aproximada de la atractividad económica de cada configuración y permite de una forma objetiva, obtenerse una comparación de resultados entre las diversas configuraciones presentadas. Resaltase que esa relación debe ser tomada apenas como una primera referencia, pues es fuertemente afectada por la matriz de productos adoptada y sus respectivos precios. Comparándose, por ejemplo, las configuraciones 1 y 2, el cuadro muestra que, con los precios indicados para los productos, seria más rentable fabricar solamente etanol y no azúcar. Entretanto, eso solamente va ser verdadero, si el precio de venta de la melaza fuera menor do que US$ 50 por tonelada métrica. De esa forma, cualquier análisis debe ser cuidadosa y, suficientemente ponderada, como ya mencionado, con la volatilidad de los precios y oportunidades de colocación de los productos en el mercado.

Comentarios finales

Existe en el sector cañero un dicho que sintetiza la condición básica de suceso de cualquiera inversión como las que estamos aquí discutiendo: “Azúcar se hace en el campo, la industria apenas lo saca”. Así, es de fundamental importancia considerar que, una planta de procesamiento de caña de azúcar para tener éxito, necesita de materia prima, o sea caña, de buena calidad e con precio competitivo. En eso sentido y como punto de partida, la industria azucarera cubana tiene

que establecer como primera prioridad, la recuperación de sus cañaverales, trayéndolos a un nivel productividad compatible con los precios internacionales de sus productos finales. Imposible? No! Basta ver los niveles que fueron alcanzados en el pasado y que, podrían de lejos ser sobrepasados con la introducción de nuevas variedades de caña y nuevos métodos de cultivo.

Palabras Claves: Etanol Carburante, Cogeneración, Diversificación, Destilaría, Paja

Key Words: Fuel Ethanol, Co-generation, Diversification, Distillery, Cane Straw

ESCENARIOS DE PRODUCCION			PRODUCTOS						ANALISIS ECONOMICAS						
										Sales US$x1000 (S)					
	N.	Principales Caracteristicas	Azúcar (t/zafra)	Etanol (m3/zafra)	Potencia Total (Kw)	Potencia p/ Venta (Kw)	Melaza p/Venta (t/zafra)	Demanda Caldera (t/h)	Inversiones US$x1000 (I)	Azúcar	Etanol	Electricidad	Melaza	Total	(S)/(I)
										150 US$/tm	0,3 US$/l	35 US$/MWh	30 US$/tm	US$	
CONFIGURACIÓN	1	Caña para azúcar; 3mc, accionamientos c/ turbinas de contra-presión; melaza p/ venta, autosuficiente en electricidad; caldera de baja presión	112.786	0	4.310	0	40.702	156	58.500	16.918	0	0	1.221	18.139	**0,31**
	2	Caña p/ etanol; accionamientos c/ turbinas de contra-presión; autosuficiente en electricidad; vinaza p/ ferti-riego; caldera de baja presión	0	72.848	3.765	0	0	146	52.000	0	21.854	0	0	21.854	**0,42**
	3	Caña p/azúcar; 3mc, accionamietos c/ turbinas de contra-presión; melaza p/ etanol, autosuficiente en electricidad; vinaza p/ ferti-riego; caldera de baja presión	112.450	6.642	4.310	0	0	156	65.000	16.868	1.993	0	0	18.860	**0,29**
	4	60% caña p/ azúcar; 40% caña p/ etanol, 2mc, accionamientos c/ turbinas de contra-presión; melaza p/ etanol; autosuficiente en electricidad; caldera de baja presión	54.241	40.184	4.310	0	0	156	65.000	8.136	12.055	0	0	20.191	**0,31**
	5	60% Caña p/ azúcar; 40% caña p/ etanol, 2mc, accionamientos con motor electrico, turbo generador de condensación y extracción; melaza p/ etanol, venta de electricidad;vinaza p/ ferti-riego; caldera de alta presión	54.241	41.482	33.191	21.493	0	162	71.608	8.136	12.444	2.762	0	23.343	**0,33**
	6	Caña p/ etanol; accionamientos con motor electrico, turbo generador de condensación y extracción; venta de electricidad;vinaza p/ ferti-riego; caldera de alta presión	0	72.848	36.180	22.800	0	162	59.675	0	21.854	2.930	0	24.785	**0,42**
	7	Caña y bagazo excedente p/ etanol; accionamientos con motor electrico, turbo generador de condensación y extracción; autosuficiente en electricidad; vinaza p/ ferti-riego; caldera de baja presión	0	86.801	9.566	0	0	139	63.582	0	26.040	0	0	26.040	**0,41**
	8	Caña y bagazo excedente p/ etanol; bagazo y paja para vapor; accionamientos con motor electrico, turbo generador de condensación y extracción; autosuficiencia en electriciad; vinaza p/ ferti-riego; caldera de baja presión	0	103.002	10.420	0	0	171	77.030	0	30.901	0	0	30.901	**0,40**
	9	Caña p/ etanol; bagazo y paja p/ vapor; accionamientos con motor electrico, turbo generador de condensación y extracción; venta de electriciadad;vinaza p/ ferti-riego; caldera de alta presión	0	72.848	61.205	48.091	0	253	68.869	0	21.854	6.181	0	28.035	**0,41**
	10	Caña p/ etanol; bagazo y paja p/ vapor; accionamientos con motor electrico, turbo generador de condensación y extracción; venta de electricidad; vinaza p/ biogás y ferti-riego; caldera de alta presión	0	72.848	64.243	50.952	0	263	83.365	0	21.854	6.548	0	28.403	**0,34**

INDUSTRIA AZUCARERA

INDICE
INDUSTRIA AZUCARERA

060 Síntesis de procesos en la industria de azúcar de caña.

050 Efecto de diferentes métodos de desinfección del jugo de caña en un central azucarero.

079 Análisis técnico–económico para la producción de floculantes destinados a la industria azucarera cubana.

080 Dos secadores de bagazo, uno tipo flash con novedoso fluidizador y otro rotatorio

081 Producciones sostenibles para la diversificación azucarera

083 Producto adicional en azúcar refino

084 Posibilidades de aplicación de la tecnologíia magnética integral en la industria azucarera

085 Alternativas para la obtención de glucosa para la fabricación de sorbitol en Cuba

086 Los jugos del filtro: posibilidades de diversificación

088 Molida de caña integral

089 Características hidrodinámicas de los clarificadores instalados en el CAI “Orlando González” por el método de los radiotrazadores.

090 Producción de gluconatos de calcio y sodio en planta piloto

078 Determinación del agotamiento de las mieles finales en la industria azucarera.

092 El boletín, un intercambio de información y conocimiento rápido, fiable y barato.

093 Hacia una nueva concepción del mantenimiento en la industria azucarera

094 Propuesta de tecnología para el almacenamiento de cal, preparación contínua y adecuada dosificación al jugo

096 Composición de carbohidratos de los jugos de caña

098 Comparación entre las escalas y los métodos polarimétricos en el visible e infrarrojo cercano

091 Caracterización de la caña de azúcar mediante diferentes variables agro botánicas e indicadores de calidad del jugo.

087 Uso de la cromatografia en la diversificación de la industria azucarera

157 Sistema para la detección en línea de la calidad de los condensados en fábricas de azúcar

162 Dinámica de evaporadores de calandria

179 Comparación de la eficiencia económica de los ingenios azucareros mexicanos en propiedad pública y privada

102 Aplicación del programa de diagnóstico y pronóstico de molinos en los tandems de las empresas azucareras “Melanio Hernández” y “ Ramón Ponciano” de la provincia de Sancti Spiritus

119 Evaluación de alternativas de purificación en jugos de caña del central IZALCO, simuladas a escala de laboratorio

120 Vigencia actual y perspectiva de la obra de Alvaro Reynoso en el redimensionamiento de la agroindustria azucarera cubana

107 Modelación matemática para los accionamientos del tren de molinos de la caña de azúcar.

129 Lubricante ecológico para la lubricación de acoplamientos cuadrados de los molinos de caña de azúcar

128 Diseño de los couplings de hierro fundido de los acoplamientos cuadrados para molinos de caña mediante el método de los elementos finitos

131 Evaluación del cristalizador rápido contínuo del CAI “José María Pérez”

200 El tratamiento magnético en la purificación de licores

030 El uso de los polímeros en el mantenimiento industrial

252 A produção de açúcares diferenciados nas usinas brasileiras

SÍNTESIS DE PROCESOS EN LA INDUSTRIA DE AZÚCAR DE CAÑA
PROCESS SYNTHESIS IN CANE SUGAR INDUSTRY

Raúl Sabadí, Rafael Hurtado, Mauricio Ribas, Carlos de Armas

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. Ciudad Habana, 11000 Cuba.
Teléfono: 53-7-557237. Fax: 53-7-988243. E-mail: **sabadi@icidca.edu.cu**

Resumen

En este trabajo se presentan diferentes casos de síntesis de procesos en la producción de azúcar crudo y refino. Se describen diferentes enfoques para la síntesis y planificación de operaciones en el área de tachos del ingenio azucarero de caña.

El uso del enfoque de red orientada a eventos (EON) permite el estudio de la utilización del equipamiento en la fábrica y el análisis de la influencia de la planificación de operaciones en el perfil del consumo de vapor buscando la estabilización en su demanda. Se describen dos casos de estudio en los que por primera vez se incluye la producción de refino en el análisis. Se utilizan modelos de programación lineal para el balance de materiales, incorporados en el paquete de programas SIMFAD© y en hojas de cálculo Excel. Para el análisis de la planificación de operaciones se utiliza el software PLANAZUCAR© y se demuestra su utilidad para definir (sintetizar) esquemas de cocción en la producción de azúcar.

En el tercer caso de estudio se utilizan las herramientas gBSS© y PLANAZUCAR 3.0 basadas en el enfoque de red de estados y tareas (STN) para la síntesis de esquemas de cocción en la producción de azúcar crudo. Este enfoque permite estudiar la estrategia de producción sin necesidad de asignar previamente las tareas a los equipos, soportado por un modelo de programación lineal mixta. En el último caso se ajusta el balance de materiales a cada equipo y tarea utilizando un modelo de programación no lineal. En este caso se utiliza el software CALIFA©.

Palabras claves: síntesis de procesos, planificación de operaciones, industria, azúcar, cristalización

Abstract

In this paper, several jobs dealing with process synthesis in both raw and refined sugar production from cane are presented. Some different approaches for process synthesis and operations scheduling in the pans stage for sugar production from cane are described and their advantages demonstrated.

The use of the event oriented network EON approach has allowed a thorough study of the utilization rates of the equipment in the factory as well as an analysis of the influence of the production planning on the steam consumption profile, looking for stability in demand. Two case studies in which by first time the refined sugar production is incorporated into the analysis are also described. Linear programming models for the calculation of the material balances in sugar boiling were built. Software package SIMFAD© and Excel worksheets are used for calculations. For the scheduling analysis, PLANAZUCAR© is used and demonstrated its usefulness for analyzing and defining boiling schemes in sugar production.

In third case study, the software tools gBSS© and PLANAZUCAR 3.0 based on the state task network (STN) approach are used for the synthesis of boiling schemes in raw sugar production. This approach allows studying the production strategy without assigning, a priori, tasks to equipment. It is based over a

mixed integer linear programming model. In the last case study, the material balance is really fitted to the equipment at the operations level developing a non linear programming model. It has been done using the software tool CALIFA©.

Keywords: process synthesis, scheduling, sugar industry, crystallization

Introducción

Las áreas de cocción, cristalización y centrifugación operan en modo discontinuo a diferencia de otras áreas de la fábrica de azúcar. El manejo y control del proceso debe centrar sus esfuerzos en tratar de alcanzar calidades estándar de productos finales y rendimientos deseados, a la vez que mantener niveles adecuados de acumulación de productos intermedios para evitar interrupciones innecesarias.

La eficiencia de la recuperación de azúcar y el máximo procesamiento de materias primas depende de la coordinación de operaciones, uso de materiales reciclados, etc. Un aspecto muy importante es la estabilización de la demanda de vapor a lo largo del tiempo. Los materiales reciclados deben ser enviados de forma tal que nunca desborden los tanques de acumulación o estos estén vacíos para que los tachos y centrifugas se mantengan ocupados el mayor tiempo posible y consecuentemente la fábrica opere a un máximo de capacidad.

Se pueden utilizar diferentes estrategias de operación con los equipos instalados en la fábrica, por lo que encontrar la más apropiada es una tarea importante y a veces difícil. La modelación matemática del proceso resulta de una ayuda extraordinaria en este empeño, pudiéndose llegar al resultado deseado, es decir, a la síntesis del proceso, por la vía de la simulación o por la vía de la optimización. Se han realizado varios trabajos con este propósito.

Aguado (1973) publicó un trabajo proponiendo un modelo de programación discreta para el ordenamiento de operaciones en el área de tachos. En ese trabajo se acepta la existencia del problema pero no se realiza un análisis consecuente; probablemente debido al entorno en el que fue concebido. El modelo se construye con un conjunto de restricciones asociadas a los balances de materiales, el consumo de vapor, la capacidad de almacenamiento para cada material intermedio, relaciones entre el inicio y final de operaciones y requerimientos de alimentación. Como función objetivo se consideró el consumo de vapor. Como se mencionó anteriormente, el problema no se definió y de acuerdo a la forma en que se escriben las ecuaciones, el modelo no describía los aspectos principales del proceso. El problema principal era que no se consideraban los cortes de materiales entre tachos, es decir, se consideró que los cristales de azúcar crecían desde la semilla hasta su tamaño comercial en una sola operación. Este trabajo se interrumpió debido a la dimensión del modelo y a la no disponibilidad del software requerido para resolverlo.

De Armas (1980) propuso otro enfoque, el de representar este problema como una red de actividades con recursos limitados y el uso de la programación lineal para calcular el balance de materiales. El método de Monte Carlo (Polentz, 1980) fue utilizado para estimar los tiempos de duración de las actividades en simulaciones utilizadas para establecer la forma más probable de realizar las operaciones en la casa de calderas. El modelo matemático que describe el proceso elimina limitaciones de los precedentes, pero también tiene otras en este nuevo enfoque. El usuario debe indicar la manera en que piensa que debe usarse el equipamiento. Es decir, la red de actividades se construye sobre una estrategia predefinida de asignar operaciones a equipos. Esto representa una inflexibilidad y puede conducir a una solución que puede no ser la óptima. Por otra parte no hay análisis del uso de facilidades como el vapor.
En otros trabajos, Morejón (1982) usó el lenguaje de simulación GASP-IV para enfrentar este problema, introduciendo el análisis del consumo de vapor y Toledo (1990) propuso el uso de modelos de programación dinámica, ambos con resultados puramente académicos.

Sabadí (1991) implementa un modelo de programación lineal para determinar los balances de materiales y purezas y el cálculo de ruta crítica a partir de una descripción gráfica de la estrategia de fabricación. A partir de este trabajo y basado en las descripciones metodológicas propuestas por De Armas (1980) es que comienza a trabajarse en la concepción del proceso de fabricación de azúcar desde el punto de vista de la receta como unidad básica de información aprovechando experiencias de otras industrias.

Una metodología de análisis para la programación de las operaciones en sistemas de producción complejos es descrita por Graells (1998), desarrollada a partir de criterios establecidos por Puigjaner (1996) en la Universidad Politécnica de Catalunya. Este enfoque, denominado EON (red orientada a eventos), está orientado a posibilitar a expertos y analistas el estudio del problema de programación de las operaciones y a usuarios de la industria una forma de encontrar soluciones prácticas en complejas aplicaciones industriales y se dirige especialmente a sistemas de manufactura compleja (procesos químicos discontinuos, industria farmacéutica y química fina). De esta forma, las recetas de fabricación (Cantón, 1998) requieren de una detallada descripción de las tareas y las operaciones así como de las restricciones de almacenamiento implicadas (actividades simultáneas, inestabilidad de productos intermedios, síntesis de productos y otros procesos concurrentes). El modelo matemático está basado en la programación lineal para determinar los tiempos de inicio, terminación y espera de las operaciones que intervienen en la producción y una vez que se obtiene una solución factible inicial, esta puede ser optimizada mediante la utilización de técnicas de recocido simulado (simulated annealing).

Kondili (1993) y Shah (1993) formulan el problema como de programación lineal mezclada con enteros y lo solucionan por una técnica de "branch and bound". En este caso se analiza el uso de almacenamiento intermedio para dividir el proceso de fabricación de productos en distintas etapas, cada una de las cuales puede efectuarse por separado a partir del empleo de diferentes tipos de almacenamiento. La ventaja de este enfoque denominado STN (red de estados y tareas) radica en que se optimiza la asignación de tareas a equipos.

En este trabajo se describe el uso de los enfoques EON y STN en casos de estudio de la industria azucarera de caña y además un modelo de balances a nivel de operaciones y equipos que los complementa.

Materiales y Métodos

1.- El enfoque de red orientada a eventos (EON)

Las ecuaciones matemáticas que incluye este modelo son:

a) Tiempo final de la operación i en la etapa j en el equipo k (TF_{ijk}) es igual al tiempo de inicio de esta operación en la misma etapa en el mismo equipo (TI_{ijk}) más el tiempo de duración de la operación (TOP_{ijk}), más el tiempo de espera (TE_{ijk}).

$$TF_{ijk} = TI_{ijk} + TOP_{ijk} + TE_{ijk}$$

b) Tiempo de inicio de la operación i+1 en la etapa j en el equipo k es mayor o igual que el tiempo de finalización de la operación i en la etapa j en el mismo equipo.

$$TI_{i+1jk} \geq TF_{ijk}$$

c) Si dos operaciones cualesquiera i e i* correspondientes a tareas j y j* se realizan simultáneamente en dos equipos k y k* y una depende de la otra (operaciones de descarga de materiales de un equipo y carga en otro) entonces se cumple que:

$$TI_{ijk} = TI_{i*j*k*}$$

$$TF_{ijk} = TF_{i*j*k*}$$

d) El tiempo de espera de la operación i en la etapa j en el equipo k (TE_{ijk}) es menor o igual que el tiempo de espera máximo definido por el usuario para esa operación en esa etapa y el mismo equipo ($TE_{ijk}^{\max}$).

$$TE_{ijk} \leq TE_{ijk}^{\max}$$

e) El tiempo de duración de la operación i en la etapa j en el equipo k (TOP_{ijk})se define como:

$$TOP_{ijk} = a_{ijk} + b_{ijk} Q_{kij}^{cijk}$$

donde:

a_{ij}, b_{ij}, c_{ij} :Son coeficientes suministrados por el usuario que permiten pronosticar el tiempo de duración de la operación (TOP_{ij}) en función de la carga que tenga el equipo k en el momento que se realice la operación i de la tarea j (Q_{kij}).

f) El consumo del material l por cada operación i dentro de cada etapa j y en el equipo k, se define de forma análoga al tiempo de duración de la operación:

$$Cons_{ijkl} = d_{ijkl} + e_{ijkl} Q_{kij}^{fijkl}$$

donde:
$d_{ijkl}, e_{ijkl}, f_{ijkl}$:Son coeficientes suministrados por el usuario que permiten calcular el consumo del recurso l en función de la carga que tenga el equipo.

g) Adicionalmente es necesario introducirle al modelo restricciones de cotas para las capacidades del equipamiento con el objetivo de evitar el desbordamiento de los mismos.

$$Q_k^{\min} \leq Q_{kij} \leq Q_k^{\max}$$

h) A este modelo matemático se le incorporó la función objetivo de minimizar el tiempo de duración total del proceso:

i) Función objetivo: $$Min \sum_{j \in J_k} \sum_{i \in I_{jk}} \sum_{k=1}^{n} TI_{ijk} + TE_{ijk}$$

donde:
J_k : Conjunto de tareas que se realizan en el equipo k.
I_{jk} : Conjunto de operaciones que se realizan dentro de la tarea j en el equipo k.

Este modelo matemático ha sido implementado e incorporado en la versión 2.0 del software PLANAZUCAR desarrollado en el ICIDCA (Hurtado, 1999).

2.- El enfoque de modelo de programación lineal mixta (MILP) sobre red de estados y tareas (STN)

La característica distintiva de la red de estados y tareas (STN) es que tiene dos tipos de nodos: los "estados", que representan los productos intermedios y finales así como materias primas y las "tareas", que representan a las operaciones de proceso que transforman el material de uno o varios "estados" de entrada a uno o varios "estados" de salida. La representación STN es adecuada para redes de tareas continuas, semi-continuas o por cargas (batch). Las reglas que se siguen en su elaboración son:

a) Una tarea puede tener tantos estados de entrada o salida como materiales diferentes existan.

b) Dos o más corrientes que entran al mismo “estado” son necesariamente de igual calidad. La mezcla de corrientes diferentes debe ser representada como una “tarea”.

El problema de síntesis con enfoque de planificación para un sistema discontinuo puede expresarse como “Dados la Red de Estados y Tareas de un proceso discontinuo y la información asociada a ella, y un horizonte de tiempo de interés, determinar el "horario" de las operaciones para cada unidad, es decir, que tareas, si las hay, se realiza en la unidad y en que momento en el horizonte de tiempo; y el flujo de materiales a través de la red de forma tal que se optimice un criterio objetivo definido”.

Una consideración clave en cualquier algoritmo de "scheduling" es la representación del tiempo. Esta formulación se basa en una representación discreta del tiempo. El horizonte de tiempo de interés se divide en intervalos de igual duración. Los intervalos se numeran desde 1 hasta H, con tiempo inicial y final 1 y H+1. La principal ventaja de este tipo de representación del tiempo es que facilita la formulación a partir de una malla de referencia en la que se coloquen todas las operaciones compitiendo por recursos. En la práctica la longitud del intervalo de tiempo se define como el máximo factor común de los tiempos de procesamiento involucrados en el problema. Si los niveles de recursos requeridos en una tarea cambian durante la duración de la misma, la longitud del intervalo de tiempo debe reducirse para asignar que dichos cambios coincidan con límites del intervalo.
Las restricciones fundamentales que deben ser satisfechas incluyen:
a) la resolución de conflictos cuando las tareas deben ser asignadas a unidades de equipamiento,
b) limitaciones en las capacidades de las unidades y tanques de almacenamiento,
c) los balances de materiales.

A continuación se formulan matemáticamente estas restricciones mencionadas.

a) Restricciones de asignación.

En cualquier tiempo dado t, en un equipo sólo puede comenzar una tarea. Esto conduce a la expresión:

$$\sum_{i \in I_j} w_{ijt} \leq 1 \qquad \forall_{j,t}$$

$$w_{ijt} \begin{cases} 1 & \text{Si la unidad j comienza a procesar la tarea i al principio del periodo de tiempo t} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Si un equipo comienza una tarea dada, entonces no podrá comenzar ninguna otra hasta que la anterior no haya concluido. Esto implica que si $w_{ijt} = 1$, entonces $w_{i'jt'} = 0$ para cualquier tarea $i' \in I_j$ y $t' = t+1,...,t+TP_i - 1$. Todos estos requerimientos pueden ser expresados como:

$$\sum_{i' \in I_j} \sum_{t'=t}^{t+TP_i-1} w_{i'jt'} - 1 \leq M(1 - w_{ijt}) \qquad \forall_{j,t,i \in I_j}$$

Donde M es un número positivo suficientemente grande. En esta ecuación se puede notar que si $w_{ijt} = 1$ para algún i, j, t entonces la doble sumatoria en el término de la izquierda es forzada a no exceder el valor de uno (1), lo cual implica que todos los demás $w_{i'jt'} = 0$.

b) Limitaciones de capacidad

La cantidad de material que se utiliza para iniciar la tarea i en la unidad j en el tiempo t está limitada por las capacidades máximas y mínimas de la unidad:

$$w_{ijt} v_{ij}^{\min} \leq B_{ijt} \leq w_{ijt} v_{ij}^{\max} \qquad \forall_{i,j,t \in E_i}$$

B_{ijt} : Cantidad de material que comienza a producir la tarea i en la unidad j al principio del periodo de tiempo t.

$V_{ij}^{máx}$: Capacidad máxima del equipo j para realizar la tarea i.

$V_{ij}^{mín}$: Capacidad mínima del equipo j para realizar la tarea i.

La cantidad de material almacenado en el estado s no puede exceder en ningún momento la capacidad máxima de almacenamiento para este estado:

$$0 \leq S_{st} \leq C_s \qquad \forall_{s,t}$$

S_{st} : Cantidad de material acumulado en el estado s en el instante t.

C_S : Capacidad máxima de acumulación del estado s.

c) Balances de materiales.

Los balances de materiales se expresan matemáticamente como:

$$S_{st} = S_{s,t-1} + \sum_{i \in \overline{T}_s} \overline{\rho}_{is} \sum_{j \in E_i} B_{i,j,t-TP_{is}} - \sum_{i \in T_s} \rho_{is} \sum_{j \in E_i} B_{ijt} \qquad \forall_{s,t}$$

ρ_{is} : Proporción de material suministrado por el estado s para realizar la tarea i.

TP_{is} : Tiempo de procesamiento para la salida de la tarea i al estado $s \in \overline{S_i}$.

TP_i : Tiempo total de procesamiento de la tarea i, $TP_i = \max_{s \in \overline{S}_i} TP_{is}$.

Esta restricción establece que el incremento neto $\left(S_{st} - S_{s,t-1}\right)$ en la cantidad de material almacenado en el estado s en el tiempo t está dado por la diferencia entre la cantidad producida y la cantidad utilizada de este estado. La cantidad inicial del material en el estado s $\left(S_{s0}\right)$ se asume como conocida, esto permite especificar la condición inicial de los inventarios de materiales, incluyendo productos intermedios y finales.

Otras restricciones que se incluyen son:
d) Entrega de productos y recepciones de materia primas durante el horizonte de tiempo.
e) La falta de disponibilidad temporal de equipos
f) La disponibilidad limitada de utilidades y mano de obra
g) Utilización de equipos como unidades de almacenamiento de corrientes de alimentación a tareas.
h) Función objetivo

El modelo es capaz de acomodar una variedad de medidas económicas o de comportamiento del sistema. El criterio principalmente usado en el estudio presente es la maximización de la ganancia. La ganancia puede expresarse como:

Ganancia = Valor de productos – Costo de existencias - Costo de almacenamiento – Costo de utilidades

Cada uno de estos términos de la ganancia se cuantifica debajo:

$$\text{Valor de los productos} = \sum_{s} (C_{s,H+1} S_{s,H+1} + \sum_{t=1}^{H} C_{st} D_{st})$$

donde:

C_{st} : Precio unitario asociado con el material en el estado s en el tiempo t.

La expresión anterior incluye tanto el valor de material dejado en el almacenamiento de la planta al final del horizonte, como el valor de material entregado a clientes durante el horizonte. Si es indeseable para el material en ciertos estados (por ejemplo intermediarios) que sea dejado en almacenamiento al final del horizonte de tiempo, esto puede ser evitado asignando el correspondiente $C_{s,H+1}$ a valores negativos grandes o añadiendo explícitamente la restricción $S_{s,H+1} = 0$ a la formulación matemática.

$$\text{Costo de existencia s} = \sum_{s} (\mathrm{C}_{s0}\, S_{s0} + \sum_{t=1}^{H} C_{st}\, R_{st})$$

De nuevo, tanto el valor del inventario inicial como el costo de material recibido durante el procesamiento se tienen en cuenta. Merece la pena destacar que las cantidades R_{st} y D_{st} o pueden fijarse a priori o pueden variar, sujeto a los límites superiores dados. En el último caso, el algoritmo determinará el horario óptimo de obtener materias primas y/o entregar productos, aprovechándose de cualquier precio, disponibilidad y variaciones de la demanda con el tiempo y aprovechándose del almacenamiento local disponible al mejor grado posible. El costo algorítmico de permitir esta flexibilidad adicional es mínimo, dado que R_{st} y D_{st} son variables continuas que aparecen linealmente en las restricciones y la función objetivo.

$$\text{Costo de acumulación} = \sum_{\mathrm{s}} \sum_{t=1}^{H} C_{st}^{S}\, S_{st}$$

Donde C_{st}^{s} es el costo corriente de guardar una cantidad unitaria de material en el estado s sobre el intervalo que empieza en el momento t. Semejante costo puede, por ejemplo, ser incurrido si se requieren facilidades de almacenamiento refrigerado o calentado para ciertos estados. Aquí C_{ut}^{u} es el costo unitario de la utilidad u en el intervalo t.

$$\text{Costo de utilitarios} = \sum_{\mathrm{u}} \sum_{t=1}^{\mathrm{H}} C_{ut}^{\mathrm{U}}\, \mathrm{U}_{\mathrm{ut}}$$

Este modelo matemático ha sido implementado e incorporado en la versión 3.0 del software PLANAZUCAR desarrollado en el ICIDCA (Hurtado, 2003).

3.- Balances a nivel de tareas y equipos

Tanto en el enfoque EON como en el STN se hace necesario el balance de materiales a nivel de tareas y equipos. En el proceso de fabricación de azúcar crudo se pueden encontrar diferentes configuraciones de las corrientes de materiales en el área de cocción, cristalización y centrifugación. En trabajos precedentes se ha utilizado un modelo de programación lineal para representar estos balances (De Armas, 1993), resolviéndose primero el balance de flujos y sobre este el balance de purezas. El modelo de optimización no lineal que se utiliza en este trabajo es fácilmente adaptable a cualquier esquema de fabricación de azúcar y permite conocer los valores de sólidos, purezas y brix de todas las corrientes en un solo cálculo, resolviéndose con un algoritmo de programación cuadrática sucesiva (SQP). El modelo incluye las siguientes restricciones:

a) Ecuaciones de balance de flujo

Estas ecuaciones describen el comportamiento del flujo de materiales durante todo el esquema. La suma de los flujos que entran a un nodo es igual a la suma de los flujos que salen.

$$\sum_{j=1}^{Tflujo} C_{ij} F_j = 0 \qquad \forall_i$$

b) Ecuaciones de balance de sólidos

Estas ecuaciones modelan la transferencia de sólidos en peso entre los distintos nodos del esquema. En el caso del esquema de la figura 1 los balances de sólidos se plantean para todos los nodos. Para escribir las ecuaciones de balances de sólidos es necesario definir los sólidos en peso.

$$S_l = F_j * D_j * B_l \qquad l = 1,..,Tsólidos$$

Para el cálculo de la densidad del flujo se construyó una ecuación de regresión que expresa la densidad del material en función del brix.

$$D_j = 62.430 * (62.209 + 0.228 * B_l + 0.001 * B_l^2)$$

A partir de la definición anterior, el balance de sólidos plantea que la suma de los flujos de sólidos que entran a un nodo es igual a la suma de los flujos de sólidos que salen:

$$\sum_{j=1}^{Tflujo} \sum_{l=1}^{Tsólidos} C_{ij} \gamma_{jl} S_l = 0 \qquad \forall_i$$

c) Ecuaciones de balance de purezas

Los balances de purezas son ecuaciones que nos permiten calcular las purezas de las corrientes que entran y salen de cada nodo, estos balances se pueden expresar de la forma siguiente:

$$\sum_{j=1}^{Tflujo} \sum_{l=1}^{Tsólidos} \sum_{k=1}^{Tpurezas} C_{ij} \gamma_{jl} \alpha_{jk} S_l P_k = 0 \qquad \forall_i$$

En el esquema de la figura 1 no se plantea el balance de purezas en los nodos de disolución de mieles y azúcar C ya que en todos ellos no hay cambio de purezas.

d) Relaciones tecnológicas y operacionales

Estas relaciones pueden cambiar de un esquema a otro. Las mismas se adicionan al modelo con el objetivo de que se cumplan algunos requerimientos industriales que no se pueden expresar solamente con las ecuaciones de balances. El usuario tiene la libertad de seleccionarlas todas o algunas de ellas e incluso introducir otras. En la medida en que estas restricciones tecnológicas se acerquen más a la realidad, más confiables serán los resultados que ofrece el modelo.

e) Función Objetivo

El modelo matemático está basado en la programación no lineal y el mismo admite diferentes funciones objetivos: minimizar la pureza de la miel final, maximizar el recobrado, minimizar el consumo de vapor. Para propósitos de este trabajo se utilizó el máximo de recobrado como función objetivo:

$$Max \quad \frac{F_{ACom.} B_{ACom.} P_{ACom.}}{F_{mel.} B_{mel.} P_{mel.} + F_{Sir.E} B_{Sir.E} P_{Sir.E} + F_{Sir.Afin.} B_{Sir.Afin.} P_{Sir.Afin.}} * 100$$

Este modelo matemático está implementado en la versión 1.0 del software CALIFA (Hurtado, 2002).

Resultados y Discusión

1) Caso de estudio con el enfoque EON

Para validar este modelo se definió un caso de estudio real basado en el esquema de producción de azúcar crudo de tres masas cocidas con doble semilla de un ingenio azucarero argentino (Paz, 2000). En este trabajo se presenta la simulación del sector cocimientos y refinería de una fábrica de azúcar de caña, que muele 24000 toneladas de caña por día. Se definieron una serie de recetas para la producción de las tres masas cocidas y se realizaron los balances de flujos totales, sólidos y purezas para el esquema completo. Se definieron 20 recetas de fabricación: 14 de COMERCIALES y 6 de AGOTAMIENTO, a partir del fraccionamiento del proceso de fabricación en recetas flexibles. Cada una de ellas se describió de la forma siguiente:

a) Cálculo de los coeficientes de las corrientes: Indican si la corriente es de entrada o salida a la receta y además expresan la proporción en que se utilizan los materiales involucrados en el proceso. Al menos una de las corrientes debe tener valor igual a 1.0 ó –1.0, lo cual indicará que es la de referencia. Los coeficientes del resto de las corrientes relacionan la cantidad de las mismas en relación con esta corriente principal. Este valor se determina según los balances de materiales calculados previamente.

b) Cálculo de los factores de tamaño: Se toma la relación entre el volumen de la subtarea de mayor tamaño y el volumen de la corriente de referencia.

c) Cálculo de la duración de las operaciones (TOP): Se establecen teniendo en cuenta el comportamiento histórico de las operaciones en la industria según la expresión: $TOP = a + b * Q^c$. En la descripción de las recetas esto se ha representado asignando al coeficiente a del tiempo de operación el valor mínimo y colocando un tiempo de espera (TW) igual al complemento requerido para llegar al valor máximo de duración de la sub-tarea. Durante la realización de los cálculos, este tipo de definición permite que la tarea tome valor entre el mínimo y el máximo según lo requieran las circunstancias para disminuir el tiempo total del proceso.

d) Utilización de recursos en las operaciones: El consumo de recursos de la operación (CR) viene dado por la expresión: $CR = a + b * Q^c$ Se analiza en fracciones de tiempo (INICIO y FINAL) ya que las operaciones no consumen uniformemente algunos de estos recursos a lo largo de su tiempo de duración.

A continuación se describieron las rutas de trabajo, o sea, asignar equipos a las tareas de cada una de las recetas establecidas y finalmente se combinaron estas rutas para formar árboles generales (lanzamientos) que se correspondieran con las estrategias de trabajo en la industria. Este caso de estudio se analizó con el software PLANAZUCAR 2.0 (Hurtado, 2000). El análisis de las estrategias de fabricación con el sistema PLANAZUCAR determinó que era factible la utilización de un sistema orientado a la planificación de operaciones en plantas batch en la casa de calderas del ingenio azucarero. La flexibilidad en la elaboración de recetas de fabricación resultó determinante en la concepción de las estrategias de trabajo en la casa de calderas.

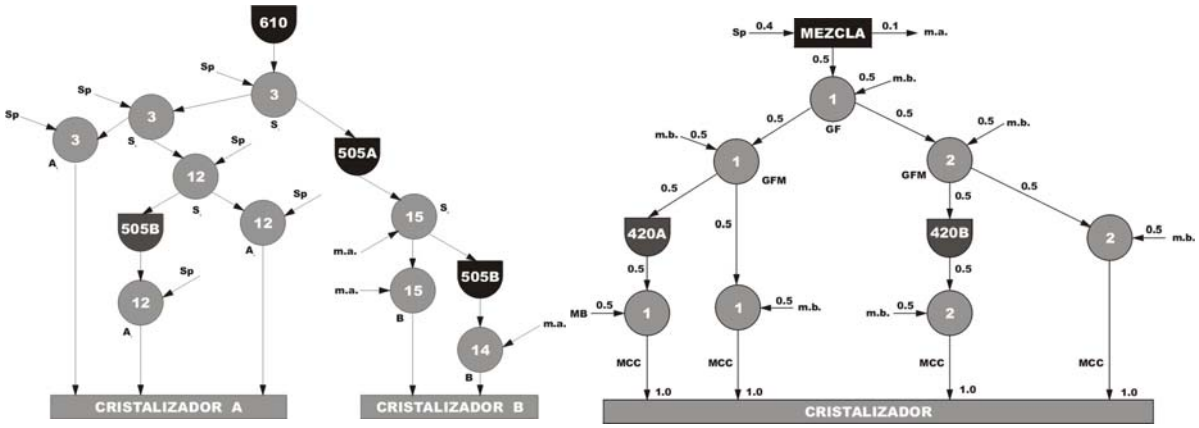
2) Caso de estudio con el enfoque STN-MILP

El objetivo de este caso es evaluar la herramienta de software gBSS (General Batch Scheduling System), desarrollada en el Imperial College y la versión 3.0 de PLANAZUCAR, desarrollada en el ICIDCA, en la síntesis de esquemas de cocción en ingenios azucareros. Aunque es un caso de estudio real, no se ha representado con un alto nivel de detalle buscando evaluar principalmente el enfoque de trabajo y el software.

En las figuras 1 y 2 aparecen representadas las estrategias de operación en la producción de azúcares comerciales y en la figura 3 la correspondiente a la producción de azúcares de agotamiento. En estos esquemas los círculos representan los tachos, identificados por su número en el interior, y los otros

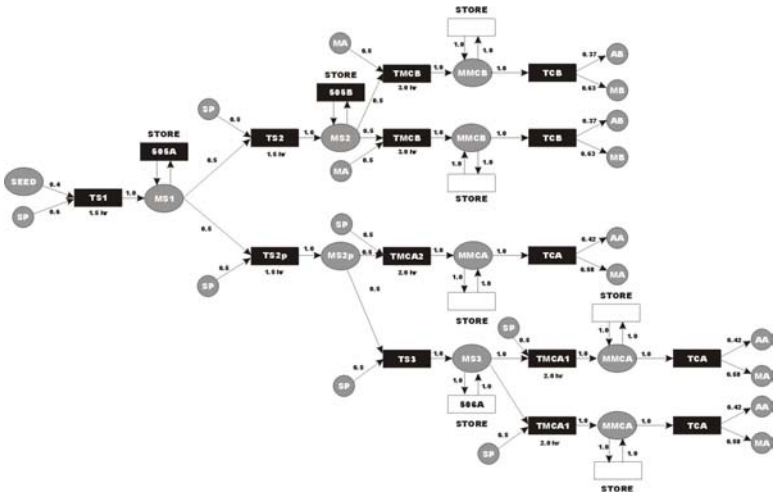
equipos (cristalizadores, tanques intermedios por ejemplo) están representados por rectángulos y otros símbolos. Las flechas indican los movimientos de los materiales (cortes entre equipos, descargas de materiales, cargas de materia prima). Cercano a ellas se colocan números que indican las fracciones de uso de cada material, éstas se obtienen de los balances de materiales previos y/o se asignan por requerimientos tecnológicos. Las masas cocidas A y B se producen utilizando siete tachos y las masas cocidas C se realizan en dos tachos. En todos los casos existe descarga de materiales intermedios a tanques.

Figuras 1 y 2. Estrategias de producción de azúcares comerciales y de agotamiento.



En la figura 3 se muestra la representación STN de las estrategias de producción de azúcares comerciales. De igual forma se hace con la producción de azúcares de agotamiento. A partir de estas representaciones, de las características del equipamiento instalado y de las tareas y operaciones que se realizan en él se preparan los archivos de datos para gBSS y PLANAZUCAR. En esta información se incluye la descripción de las posibles recetas de producción, indicando en cuáles equipos podría realizarse cada operación; pero sin asignar uno de ellos en particular. Otras informaciones que se incorporan en la descripción del proceso son los consumos de servicios como el vapor en cada operación.

Figura 3. Representación STN de las estrategias de producción de azúcares comerciales.



Las características del caso de estudio son las siguientes:
Horizonte de Tiempo: 24 horas.
Intervalo de análisis: 1 hora.

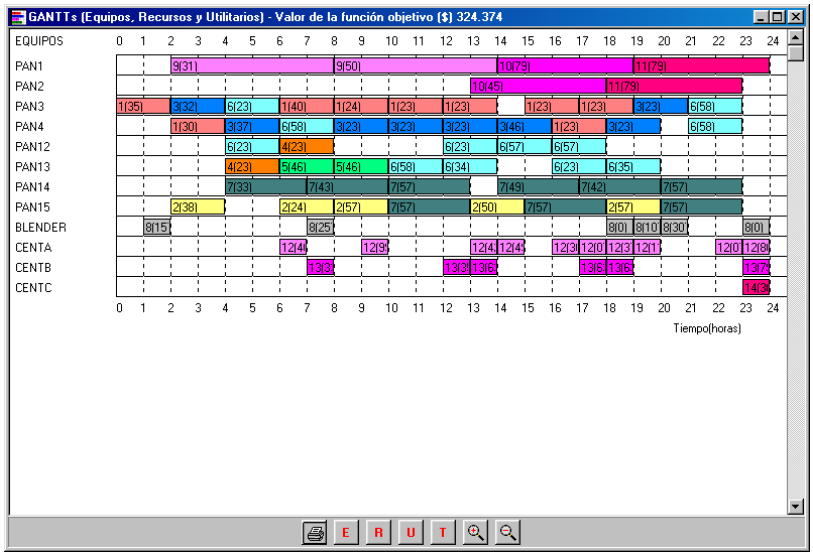
Utilitario: Vapor.
Función objetivo: Maximizar la cantidad de Azúcar A y Azúcar B, considerando como precios de estos productos 1.0.
Algoritmo de solución: LP-SOLVE Versión 2.0.

Tabla 1. Características del modelo matemático que representa el problema estudiado

	GBSS	PLANAZUCAR
Horizonte de tiempo:	24 unidades reales	24 unidades reales
Intervalo de discretización del tiempo:	1.00 unidades reales	1.00 unidades reales
Número de variables enteras:	584	584
Número total de variables:	1620	1617
Número de restricciones:	1543	1905
Tiempo total de CPU (segundos):	4575	3240
Valor óptimo de la función objetivo:	336.23	324.4

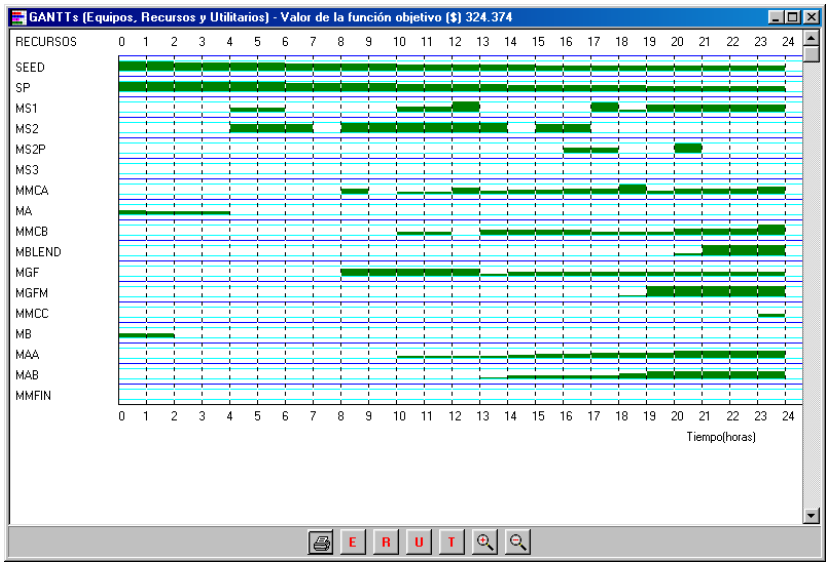
En las figuras 4 y 5 se muestran los resultados de la síntesis del proceso a través del diagrama Gantt y de los perfiles de utilización de recursos.

Figura 4. Diagrama GANTT del proceso (PLANAZUCAR).



A pesar de que en este caso de estudio no se definieron los detalles de las operaciones correspondientes a cada tarea en las recetas de cocimientos, se puede apreciar que el modelo admite perfectamente esta definición y su análisis en la búsqueda de la solución óptima del problema. Esta solución permite que se utilicen de una forma más efectiva las capacidades instaladas ya que no se trabaja con una propuesta inicial que puede hacer inflexible el análisis. Por supuesto que cualquier solución deberá tener en cuenta la conectividad real entre los equipos del área de trabajo para evitar soluciones no factibles en la práctica en la fábrica. Esto también puede incluirse como una extensión del modelo en las restricciones del problema.

Figura 5. Perfiles de producción y consumo de materiales (PLANAZUCAR).



El hecho de utilizar variables discretas del tiempo (problema MILP) provoca que el número de variables sea muy grande incluso para casos pequeños de análisis:

Tabla 2. Dimensiones del modelo generado (8, 12, 16, 20 y 24 horas)

	Variables			Restricciones			
Horas	**Total**	**Enteras**	**Total**	**Localización**	**Capacidad**	**Balances**	**Utilitarios**
8	497	168	593	96	336	153	8
12	777	272	921	144	544	221	12
16	1057	376	1249	192	752	289	16
20	1337	480	1577	240	960	357	20
24	1617	584	1905	288	1168	425	24

Esta situación provocó que los trabajos iniciales de Aguado (1973) se quedaran en el planteamiento teórico. Con gBSS y PLANAZUCAR ya es posible encontrar solución al problema aunque con un requerimiento mayor de tiempo de máquina (tiempo de CPU); en nuestro caso la solución requirió para ambas aplicaciones de software tiempos cercanos o que pasan la hora. Esta no es una limitación definitiva de este enfoque dado que la evolución de las microcomputadoras permite avizorar equipos cada vez más rápidos en el futuro cercano. Vale significar que cuando comparamos PLANAZUCAR con gBSS estamos comparando un software que se ejecuta sobre una microcomputadora con uno que lo hace sobre una estación de trabajo que han sido usualmente equipos más potentes. Es decir, ya con PLANAZUCAR sobre una PC se logran velocidades de cálculo mayores que con gBSS sobre una estación de trabajo sólo con 2 años de diferencia. Esto último además es uno de los aspectos novedosos de este trabajo.

3) Caso de balances a nivel de equipos y tareas

Este modelo se validó en un esquema real de fabricación de azúcar crudo de tres masas cocidas correspondiente al ingenio azucarero cubano “Camilo Cienfuegos” (Ribas, 2002). En los nodos se representaron las operaciones de cocción, centrifugación, preparación de semillas y distribución de materiales, considerando el flujo de sólidos entre los nodos y las aguas evaporadas en el proceso. En la tabla 1 se muestra aquellas magnitudes que son datos, en este caso se fijan todos los valores de las corrientes de sólidos de entrada al esquema así como su brix y pureza. También se dan como dato los valores de brix de las mieles disueltas y del azúcar C disuelta.

Tabla 3. Datos del modelo

Corrientes	Sólidos (ton.)	Brix	Purezas
Meladura al sistema	611.11	68	86
Sirope E	81.20	68	90
Sirope de adinación	71.90	68	90
Miel A disuelta	-	68	-
Miel B disuelta	-	65	-
Azúcar C disuelta	-	88	-

Adicionalmente a los datos mostrados en la tabla 1 es necesario dar información acerca de los tamaños de los cristales de semilla, en este caso se trabajó con cristales de 0.25 mm, los tamaños de los cristales de azúcar A y B, se consideró 0.65 mm y 0.60 mm. Otra magnitud importante lo constituyen las fracciones de cristales de azúcar en las masas cocidas, se fijaron en 0.5.

El modelo calcula el consumo de vapor a través de índices suministrados por el ingenio.

$$Cons.Total.Vapor = 1.15 * AE_{MCA} + 1.20 * AE_{MCB} + 1.10 * AE_{MCC}$$

Se consideraron además las siguientes restricciones tecnológicas.

a) Las condiciones de equilibrio entre los cristales y las masas cocidas A, B y C y sus licores madres correspondientes (mieles), pero sobre todo las directivas de producción con vista a la facilidad de manipulación en las centrífugas, así como el máximo aprovechamiento del equipamiento, permiten establecer relaciones bastante estrechas que se deben cumplir en cuanto al rendimiento en cristales de cada tipo de masa. Se considera un rendimiento de un 50% para los cristales de las masas cocidas A, B y C con respecto a dichas masas.

$$S_{Azúcar(A),(B),(C)} = 0.5 S_{MC(A)(B)(C)}$$

b) Una relación muy importante la constituye el crecimiento de cristales a partir del tamaño de semilla. Estas ecuaciones están incluidas en el modelo de tal forma que se puede estudiar muy fácilmente el efecto de diferentes tamaños de semillas desde el punto de vista de los balances sin tener en cuenta algunos aspectos fenomenológicos de la transferencia de masa en la superficie del cristal.

c) Para escribir las ecuaciones de crecimiento de cristales para cada masa cocida, se asume que los cristales forman un cubo perfecto y las relaciones en peso son iguales a las relaciones de volumen.

$$\frac{S_{Azúcar(A),(B)}}{F_{cs} * S_{semilla}} = \left(\frac{d_a}{d_s}\right)^3$$

Los valores de d_a pueden variar en dependencia del tipo de azúcar, siendo ligeramente mayor para el azúcar A (0.65 – 1.1 mm), le sigue el azúcar B (0.60 – 1.0 mm) y el azúcar C Los valores de d_s varían en un rango de (0.15 – 0.55 mm).

Los resultados se obtuvieron utilizando el software CALIFA (Hurtado, 2002). La aplicación concreta de este modelo mostró el efecto que tiene la selección de los tamaños de cristales de semilla y de azúcares A y B sobre el recobrado, el consumo de vapor, la miel final, el azúcar C y la pureza de la miel final. Se realizaron un total de 56 simulaciones con diferentes tamaños de cristales de semillas y azúcares A y B. En todos los casos se consideró como función objetivo el máximo de recobrado y se obtuvo convergencia del

algoritmo en pocas iteraciones. Para tamaños fijos de cristales de azúcar A y B el máximo de recobrado comienza a disminuir a partir de un determinado tamaño de semilla. Para tamaños de semillas menores de 0.22 mm los valores del máximo de recobrado se mantienen constante independientemente de los tamaños de los cristales de azúcar A y B en el rango estudiado. A medida que aumenta los tamaños de cristales de azúcar A y B mayor es la probabilidad de poder aumentar los tamaños de cristales de semillas sin que se afecte significativamente el máximo de recobrado. Un decrecimiento notable del máximo de recobrado por esta causa se traduce en un aumento de la miel final manteniendo constante la pureza de la misma. Una disminución del recobrado producto de una mala proporción entre el tamaño de semilla y el de los azúcares A y B implica un aumento del azúcar C disuelta, esto trae como consecuencia un incremento del consumo de vapor y por lo tanto de la proporción de vapor consumido/azúcar producido. Se debe decir que todos estos resultados fueron obtenidos a partir de las ecuaciones de balances del modelo y por lo tanto no tienen en cuenta otros fenómenos que se presentan en la cristalización como el de la viscosidad de las masas cocidas sino simplemente muestran como a partir de un tamaño adecuado de semilla y azúcares A y B se puede mejorar los valores de recobrado.

Conclusiones

Se pudo comprobar que es posible la síntesis de esquemas de procesos de la industria azucarera con el uso de modelos de optimización. Para ello se probaron los enfoques EON con programación lineal y STN con programación lineal mixta. Igualmente se comprobó la utilidad de formulaciones no lineales para los cálculos de balances a nivel de equipos y tareas.

En el caso de la representación EON se comprobó su utilidad para llegar a la síntesis por la vía de la simulación y después mejorar la solución obtenida con algún método de optimización. El algoritmo evaluado de “simulated annealing” no resultó el más adecuado.

La formulación MILP del enfoque STN permite, por primera vez, que no haya que proponer “a priori” la asignación de equipos a tareas en la estrategia de trabajo para evaluar su factibilidad y optimizarla. El sistema propone una solución óptima para las condiciones de proceso y equipos. El modelo matemático que describe a esta representación del proceso es más riguroso que el enfoque EON desarrollado en la UPC. Por la razón anterior el modelo es mayor y requiere mayor potencia de cálculo, es decir, una computadora más potente. Sin embargo, las pruebas realizadas demuestran que no es prohibitiva esta supuesta desventaja teniendo en cuenta el desarrollo de los medios de cálculo actuales. El algoritmo de solución LPSOLVE resultó ser adecuado para el modelo estudiado. Se logran mayores velocidades de cálculo que con gBSS (45 minutos contra 76 minutos en el caso de 24 horas de horizonte de tiempo).

En el caso de los balances en equipos y tareas se pudo construir y resolver un modelo matemático que suministra una importante información para el análisis del proceso de fabricación de azúcar y la toma de decisiones. El modelo matemático construido es de naturaleza no lineal y ofrece una mejor descripción del proceso que el modelo escrito con restricciones lineales únicamente. El algoritmo SQP de solución empleado es lo suficientemente potente como para resolver problemas de optimización de este tipo a gran escala.

Los enfoques de trabajo utilizados en los casos de estudio es de aplicación general para industrias de procesos discontinuos por lo que el hecho de disponer de este conocimiento permite que se pueda emplear en casos de estudio de procesos como los de producciones farmacéuticas, polímeros, etc. Todos estos enfoques se han recogido en las herramientas de software PLANAZUCAR y CALIFA.

Referencias

- Aguado, A. (1973), "Un modelo de programación discreta para la secuenciación de los tachos en los centrales azucareros". Investigación Operacional, No.8, Enero-Febrero., 16-22.
- De Armas, C. (1980), "Design and management of production systems in boiling house of sugars mills". PhD Thesis, Brno.
- De Armas, C. and Sabadí, R. (1993), "Balances de sólidos y purezas en el área de cristalización. Su enfoque matemático-computacional". Azúcar y Alcohol. April-may. Year 13, no. 67, 14-19. Brazil.
- Cantón, J., Graells, M., Puigjaner, L. (1998), "Handling of complex recipes in detailed batch production scheduling: application to the pharmaceutical industry" 13th International Congress of Chemical and Process Engineering – CHISA'98, Vol. 6, p. F2.3, Praha, Chec Republic, (ISBN 80-86059-26-X).
- Graells, M. et al. (1998), "General approach and tool for the scheduling of complex production systems". Proceedings European Symposium on Computers Applications in Process Engineering (ESCAPE-8), Belgium.
- Hurtado, R. (1999), "Un planificador de operaciones para la industria azucarera". Tesis de Maestría en Informática aplicada a la Ingeniería. ISPJAE, La Habana.
- Hurtado, R and Sabadí, R. (2000), "PLANAZUCAR 2.0. Manual de Usuario". ICIDCA, La Habana.
- Hurtado, R., Ribas, M., Sabadí, R. (2002), "Analysis of sugar production flow sheets. Part II: Software tool and case study". Proceedings PRES 2002, Prague, August 2002.
- Hurtado, R , Sabadí, R., Ribas, M. (2003), "PLANAZUCAR 3.0. Manual de Usuario". ICIDCA, La Habana.
- Morejón, A. (1982) "Simulación de la casa de calderas usando el lenguaje GASP IV". Trabajo de Diploma, ISPJAE, La Habana.
- Paz, D, Sabadí, R., Cantón, J.(2000), "Uso de un software de simulación de operaciones batch en el área de cocimientos en la producción de azúcares de caña". Revista Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT). Tomo 77 (1-2), pag. 27-43.
- Polentz, LL. M. (1980), "The Monte Carlo method of predicting production time", Chemical Engineering, Agosto.
- Puigjaner, L., Espuña, A., Santos, G. and M. Graells (1996). "Design of batch plants". Batch Processing Systems Engineering (Eds.: G. V. Reklaitis, A. K. Sunol, D. W. T. Rippin and O. Hortaçsu), NATO ASI Series No. 143, Springer-Verlag, Berlin pp. 86-113.
- Ribas, M., Hurtado, R., Sabadí, R. (2002), "Analysis of sugar production flow sheets. Part I: Mathematical modelling". Proceedings PRES 2002, Prague, August 2002.
- Sabadí, R. et. al. (1991), "SIMFAD: un sistema para la simulación de fábricas de azúcar y derivados. Parte I: Descripción de módulos de procesos". Cuba Azúcar No. 4.
- Sabadí, R. et. al (1999), "A new approach for short-term scheduling in the production of sugar from cane". 2nd. Conference on Process Integration, Modeling and Optimization for Energy Saving and Pollution Reduction. Proceedings, pags. 559-564. ISBN 963 8192 87 9.
- Sabadí, R. et. al. (2001), "Process scheduling in sugar refinery industries". Proceedings PRES´01, Florence, Italy. Pag.185-188.
- Kondili, E., Pantelides, C. C., Sargent, R. W. H. (1993), "A general algorithm for short-term scheduling of batch operations – 1. MILP formulation" Computers & Chem. Eng., Vol. 17, No. 2, 211-227.
- Shah, N., Pantelides, C. C., Sargent, R. W. H. (1993), "A general algorithm for short-term scheduling of batch operations. II Computational issues". Computers & Chem. Eng., Vol. 17, No. 2, 229-244.
- Toledo, A. L. (1990), "Investigación y desarrollo de un sistema de conducción del área de cristalización en centrales azucareros", Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, ISPJAE, La Habana.

EFECTO DE DIFERENTES MÉTODOS DE DESINFECCIÓN DEL JUGO DE CAÑA EN UN CENTRAL AZUCARERO.

EFFECT OF DIFFERENT SANITIZATION METHODS ON THE CANE JUICE IN A SUGAR MILL.

Georgina Michelena[1], Aidín Martínez[1], Antonio Bell[1], Emilia Carrera[1],Graciela Cerutti[2], Mónica Coronel[2], Gerónimo Cárdenas[2], Agustín López-Munguía[3], Clarita Olvera Carranza[3], Meiling Carbonero[1], Roberto Portuondo[4], Lázaro Mergarejo[4], Silvano Legrá[1], Mayté Oliveros[1], Silvia Armenteros[1].

1. ICIDCA, Vía Blanca 807 esq. a Carretera Central, P.O. Box 4026, C. Habana, Cuba, miche@icidca.edu.cu

2. EEAOC, Las Talitas, Tucumán, Argentina

3. IBT, Av. Universidad 2001, Cuernavaca, Morelos, México

4. CAI "España Repúblicana", Perico, Matanzas, Cuba

RESUMEN

En la etapa productiva de fabricación del azúcar que transcurre desde la molienda de la caña hasta la clarificación del jugo una causa importante de la destrucción de sacarosa es la acción de microorganismos que acompañan a la caña.

En este trabajo se presenta el efecto de diferentes métodos de desinfección sobre los jugos de la caña, en la disminución del tenor microbiano y los índices de pureza, lo cual incide directamente en un mayor rendimiento de azúcar.

Se demostró el efecto microbicida del inhibidor a 0.007 % sobre la flora microbiana del jugo primario y mezclado de un central azucarero.

SUMMARY

In the productive stage of sugar production an important causes of the sucrose destruction it is the action of micro organisms that accompany to the cane.

In this work the effect of different sanitization methods on the cane juices is presented, in the microbial tenor decrease and the purity indexes, that impacts directly in a bigger yield of sugar.

The effect microbial was demonstrated from the inhibitor to 0.007% on the microbial flora of the primary and blended juice in a sugar mill.

Palabras Claves: inhibición, *Leuconostoc*, dextrana, azúcar

Key words: inhibition, , *Leuconostoc,* dextran, sucrose

INTRODUCCION

En la etapa productiva de fabricación del azúcar que transcurre desde la molienda de la caña hasta la clarificación del jugo una causa importante de la destrucción de sacarosa es la acción de microorganismos que acompañan a la caña, más los que pueden proliferar en equipamientos fabriles como recipientes, canales, cañerías y otros equipos que por sus características resultan apropiados para el crecimiento microbiano.

Las pérdidas directas de azúcar producidas por microorganismos, se calcula entre 1-3 % del total producido (2). Al consumir el azúcar, los microorganismos producen polisacáridos que elevan la viscosidad de las mieles y producen pérdidas adicionales de hasta 4 %.

Las dextranas están consideradas el enemigo principal de la cristalización y de la calidad de los crudos, los responsables de la elongación de los cristales y de las dificultades en la refinería. Los polisacáridos tienen un efecto adverso en el proceso de extracción de la sacarosa debido a que representan un gasto de sacarosa en su formación y en segundo lugar por los aumentos de viscosidad que pueden alargar el proceso productivo y aumentar las pérdidas en el proceso y las centrífugas.

El *Leuconostoc mesenteroides* es el microorganismo que sintetiza la dextransucrasa y ésta a su vez la dextrana. Se ha demostrado que puede invadir el tejido de almacenamiento de la caña de azúcar antes de la cosecha, entrando por las rajaduras (3).

Las características físicas y químicas del jugo de caña de azúcar hacen de éste un excelente sustrato para el desarrollo de microorganismos. Las características metabólicas de los microorganismos le permiten degradar la sacarosa presente en el jugo y formar e incorporar al mismo metabolitos como el ácido láctico, acético, etanol, manitol y polisacáridos como dextranos y levanos (1).

La incidencia de este fenómeno se hace notable en el área de molienda, donde se observa una caída de pureza del jugo primario a jugo mezclado que puede llegar a dos enteros por una alta incidencia de la degradación bacteriana.

Para contrarrestar este hecho, se ha convertido práctica usual la limpieza exhaustiva del área de molinos aledaña a donde pasa el jugo con agua caliente y vapor y posterior uso de bactericida.

Actualmente diversas sustancias químicas son empleadas como bactericidas y consideradas como agentes de sanitización para ingenios azucareros. Entre ellas se encuentran los halógenos, compuestos organosulfurados y compuestos de amonio cuaternario (2). Sin embargo, pocos agentes de sanitización de origen biológico han sido probados en la industria azucarera.

Según análisis realizado por Organismos Internacionales y otras instituciones la afectación que se produce en las pérdidas económicas por la acción microbiana puede ser ejemplificada con los siguientes datos:

Valoración de las pérdidas por efecto de los polisacáridos

1. Pérdidas de 24 000 t de azúcar refino y 11 000 t de crudo
2. Incremento de 2 800 t de petróleo en la refinación
3. Afectación de la calidad del azúcar. Multas por contenido de dextrana desde 1.5 a 3.5 USD/t

En este trabajo se presenta el efecto de diferentes métodos de desinfección sobre los jugos de la caña, en la disminución del tenor microbiano y los índices de pureza, lo cual incide directamente en un mayor rendimiento de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Producción de metabolitos con efectos inhibitorios:

La *Pseudomonas* sp. PSS fue crecida en un medio con ácido glutámico y sales a 30 ^{o}C. Se separó la biomasa por centrifugación y se secó por secado por aspersión sobre sulfato de amonio. Este producto se conoce comercialmente como gluticid.

Métodos en medios sólidos: para determinar el efecto antimicrobiano de los metabolitos se utilizó la técnica de difusión en agar (4).

Métodos en medios líquidos: se empleó el medio compuesto por sacarosa 20 g/l, extracto de levadura 6 g/l, Na_2HPO_4 5 g/l y sales para estudiar la inhibición del crecimiento y producción de dextrano por las cepas de *Leuconostoc*. El crecimiento se determinó por absorbancia a 540 nm. El consumo de sacarosa se determinó por HPLC y dextrano según el método fenol-sulfúrico (5).

a) Efecto del inhibidor sobre la pureza presente en los jugos en la industria.

Para la realización de esta experiencia se aplicaron 10 litros del producto inhibidor diluido 1:1 en un pulso dividido a la mitad en el primer y sexto molino, repitiendo la aplicación a los 30 minutos.

El número de células viables (UFC/ml) se determinó empleando medios de cultivo selectivos para establecer el efecto microbicida de cada uno de los productos en estudio sobre los microorganismos totales (Agar nutriente), productores de polisácaridos (Extracto de levadura- Glucosa-Agar) y eucariotas (levaduras y hongos, Malta-agar). La incubación se realizó a 37 y 30 ^{o}C durante 48 h. Las experiencias se llevaron a cabo por triplicado. El % de inhibición se definió como % Inhibición = $(UFC/ml_{inicial} - UFC/ml_{final}) / UFC/ml_{inicial} \times 100$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Efectos en la inhibición del *L. mesenteroides* por diferentes métodos a nivel de laboratorio y banco.

La Fig. 1 muestra la acción del gluticid, la aplicación de ozono y el inhibidor sobre el crecimiento del *Leuconostoc* a nivel piloto y a 30 ^{o}C. Como puede observarse el gluticid en su forma sólida a las dos concentraciones ensayadas favoreció el crecimiento comparado con un control. Esto puede deberse al efecto del sulfato de amonio sobre el cual se soporta los metabolitos del gluticid y que se ha reportado tiene una incidencia favorable sobre el metabolismo del *Leuconostoc*. Por otra parte, tanto el ozono como el inhibidor mostraron un marcado carácter biocida al disminuir en más de dos órdenes el conteo de *Leuconostoc,* encontrándose los mayores efectos con la aplicación al 0.2% de inhibidor. Igualmente, se manifiesta carácter fungícida al reducir en 3 órdenes el número de eucariotas en el jugo. En las condiciones estudiadas una dosis de 0.2 % de inhibidor produce un severo efecto microbicida a 30 ^{o}C, temperatura frecuente durante el período de zafra en el proceso fabril de los ingenios cubanos.

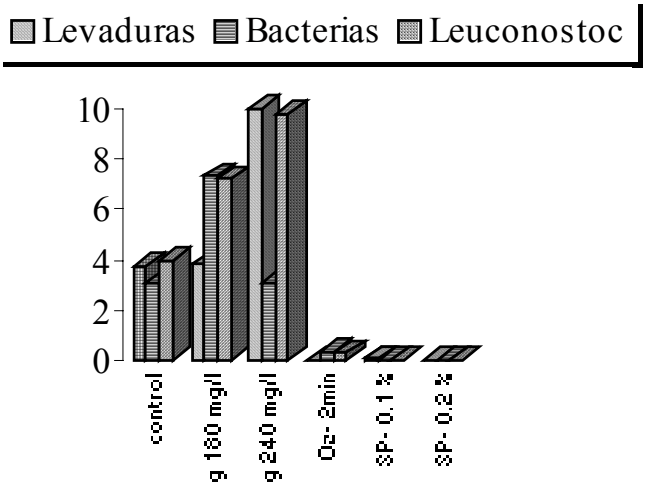


Fig.1. Efecto inhibitorio del Gluticid, el ozono y el inhibidor sobre el L. mesenteroides 1101-1 en medio líquido.

Efecto de la adición del inhibidor en la estación de molinos del central "España Repúblicana"

Con estos antecedentes se procedió a realizar el estudio en la industria de la aplicación del producto.

Para conocer el estado de sanitización e higiene del central se efectuó un diagnóstico de la situación microbiológica de la zona de los molinos. La Tabla 1 muestra el resultado del análisis de la flora microbiana en el proceso de extracción de los jugos de la caña .

Tabla 1. Conteo microbiano de la estación de molinos del CAI "España Repúblicana".

	Bacterias mesófilas, UFC/ml	**Bacterias productoras de polisacáridos, UFC/ml**	**Levaduras, UFC/ml**
Jugo de caña en el basculador	1.10^6	4.10^7	$1.1.\ 10^7$
Jugo primario	$3.\ 10^7$	2.10^7	$1.\ 10^7$
Jugo mezclado	$7.\ 10^6$	$1{,}2.10^7$	$8{,}3.\ 10^6$

Aunque existen reportes de ordenes de 10^7 en jugos mezclados cubanos, normalmente la cantidad de bacterias mesófilas y gomosas suele estar con exponente entre 7 y 8. Si comparamos estos a resultados con anteriores reportados en Argentina, observamos que son considerablemente menores los de la fábrica cubana al ser inferior en 2 órdenes a su similar argentina.

Estos resultados reflejan el poco tiempo de estadía de la caña después de cortada en el central, indicando un pobre deterioro del vegetal y unas adecuadas condiciones higiénico- sanitarias de la estación de molinos del CAI España Republicana, donde además se han realizado modificaciones técnicas para acortar el tiempo de residencia del jugo en esta etapa.

Con vistas a determinar el efecto del producto, que por demás tiene las características de su fácil manipulación, como agente de desinfección en el área de molinos, para reducir el número de microorganismos cuya presencia es perjudicial en el proceso industrial y en el producto final.

Considerando que una concentración de inhibidor al 0.2% es elevada para ser empleada normalmente en la corriente de mayor caudal de la planta como es el jugo mezclado, donde hay que conciliar el costo del germicida con el azúcar que se perderá por acción microbiana, se ensayó el efecto de dosis inferiores, determinando el efecto microbicida sobre la carga microbiana total, bacterias productoras de polisacáridos a partir de sacarosa (géneros *Leuconostoc y Bacillus* principalmente) y levaduras del jugo primario y mezclado.

Los resultados obtenidos para concentraciones de 0.007 % se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Efecto microbicida del inhibidor 0.007 % sobre la flora microbiana del jugo primario y mezclado del CAI "España Republicana".

	Bacterias mesófilas, UFC/ml	**Productoras de polisácaridos, UFC/ml**	**Levaduras, UFC/ ml**
Jugo Primario			
0	$3.\ 10^{7}$	$2.\ 10^{7}$	1.10^{7}
1er ttmto			
1 min	$1{,}5.\ 10^{6}$	$2{,}7.\ 10^{6}$	$5.\ 10^{5}$
5 min	$8{,}9.\ 10^{5}$	$1{,}2.\ 10^{6}$	$3{,}9.\ 10^{5}$
2do. Ttmto			
5 min	$1.\ 10^{5}$	$6{,}1.\ 10^{5}$	$2{,}4.\ 10^{5}$
30 min	$1{,}1.\ 10^{5}$	$2{,}9.\ 10^{5}$	$4{,}0.\ 10^{5}$
% Inhibición	99,6	98,5	96,0
Jugo mezclado			
0	$7.\ 10^{6}$	$1{,}2.\ 10^{7}$	$8{,}3.10^{6}$
1er ttmto			
1 min	$2{,}6.\ 10^{5}$	$3{,}8.\ 10^{6}$	$6{,}2.\ 10^{5}$
5 min	$9{,}3.\ 10^{5}$	$1{,}3.\ 10^{6}$	$1{,}4.\ 10^{6}$
2do. Ttmto			
5 min	$7{,}5.\ 10^{5}$	$3{,}2.\ 10^{5}$	$1.\ 10^{6}$
30 min	$4{,}5.\ 10^{5}$	$4{,}9.\ 10^{5}$	$7{,}3.\ 10^{5}$
% Inhibición	93,6	95,9	94,2

En este estudio, se ensayaron tiempos de contacto durante un período máximo de 30 min. Los datos obtenidos permiten concluir que dosis de 0.007 % con 30 min de contacto es efectiva para inhibir por encima del 90 % y hasta 99,6 % de la población inicial de bacterias y por encima del 96 % de los microorganismos productores de polisacáridos y capaces de degradar sacarosa, así como también por encima del 94 % de las levaduras presentes.

Los resultados indicaron que aún con 1 min. de contacto el producto es capaz de ejercer efecto microbicida inmediato a su adición, lo que se manifiesta por la brusca reducción y la elevada inhibición del crecimiento de los tres grupos de microorganismo.

CONCLUSIONES

- La aplicación de ozono y el inihibidor tienen efecto biocida sobre el *L. mesenteroides*, observándose los mayores efectos con la adición del último.
- Dosis de 0.007 % de inhibidor con 30 min. de contacto resultó efectiva para inhibir por encima del 90 % y hasta 99,6 % de la población inicial de bacterias y por encima del 96 % de los microorganismos productores de polisacáridos y capaces de degradar sacarosa, así como también por encima del 94 % de las levaduras presentes en el jugo primario y mezclado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al financiamiento otorgado por el Fondo Tributario Pérez Guerrero y el PNUD para el soporte de este trabajo.

REFERENCIAS

1. Michelena G., Bell A., Valdés I. (1992) *Sobre los derivados* XXVI (1):10-15.
2. Cerutti de Guglielmone G., Diez O., Soria R., Cárdenas G. (2000) *Avance agroindustrial*, 77: 37-40
3. Demole, E.; Lederer, E. y Mercier, D**.** (1962) *Helv. Chim. Acta* 45: 675-685
4. Panreac.(1992). Métodos oficiales de análisis. Montplet y Esteban, S. A., 80-81.
5. Technical Report No.1 (1981). *Sugar Processing Research Inc*.pp: 1-14

ANÁLISIS TÉCNICO–ECONÓMICO PARA LA PRODUCCIÓN DE FLOCULANTES DESTINADOS A LA INDUSTRIA AZUCARERA CUBANA.

TECHNICIAN-ECONOMIC ANALYSIS FOR THE FLOCCULANT´S PRODUCTION DEDICATED TO THE CUBAN SUGAR INDUSTRY

Lic. Elier Angulo Acosta - Dr. Rubén Monduí González

ICINAZ elier@icinaz.co.cu monduy@icinaz.co.cu

Summary

The sugar industry has used for years flocculants with the objective of improving the one purification process, so much in raw as in I refine. The flocculants are polyelectrolities prepared starting from polymers of high molecular weight and inside them the anionics polyacrilamides has been those more used for this end, although the cationics could be employees in the production of I refine. The high price of the flocculants and the necessity of their employment in the production of raw has motivated the search of alternatives for the production of the same ones at a lower cost.

The present work seeks to know the economic feasibility of that process under the conditions current, to be able to cover the national demand of these inputs, they took for the study the production of anionics flocculants in watery phase and in invested emulsion.

The costs of factory of the synthesized flocculants were calculated, taking into account the one cost of the matters cousins, the suitable personnel, the containers, etc. Was also essential the necessary investment that it would be necessary to confront for these syntheses and lastly the flow was determined of box for the productions.

You concludes that the production of anionic flocculant in invested emulsion is the only case whose production is economically favorable, although it is interesting the possibility of to increase the production levels spreading in bill that it stops quantities bigger than those same their economic indicators make them more favorable.

Resumen

La industria azucarera ha empleado desde hace años floculantes con el objetivo de mejorar el proceso de purificación, tanto en crudo como en refino. Los floculantes son polielectrolitos preparados a partir de polímeros de alto peso molecular y dentro de ellos las poliacrilamidas aniónicas han sido las más utilizadas para este fin, aunque las catiónicas pudieran ser empleadas en la producción de refino. El alto precio de los floculantes y la necesidad de su empleo en la producción de crudo han motivado la búsqueda de alternativas para la producción de los mismos a un costo más bajo.

El presente trabajo pretende conocer la factibilidad económica de ese proceso en las condiciones actuales, para poder cubrir la demanda nacional de estos insumos, se tomaron para el estudio la producción de floculantes aniónicos en fase acuosa y en emulsión invertida.

Se calcularon los costos de manufactura de los floculantes sintetizados, tomando en cuenta el costo de las materias primas, el personal idóneo, los envases, etc. También se precisó la inversión necesaria que habría que afrontar para estas síntesis y por último se determinó el flujo de caja para las producciones.

Se concluye que la producción de floculante aniónico en emulsión invertida es el único caso cuya producción resulta económicamente favorable, aunque resulta interesante la posibilidad de incrementar los niveles de producción tendiendo en cuenta que para cantidades mayores de los mismos sus indicadores económicos los hacen más favorables.

Floculantes / Polielectrolitos / Evaluación
Flocculants / Polyelectrlities / Evaluation

Introducción

La industria azucarera ha empleado desde hace tiempo polielectrolitos con el fin de perfeccionar los procesos de purificación. De este modo se emplean en la sedimentación de jugos con el objetivo de incrementar la velocidad de sedimentación y la compactación de la cachaza, en concentraciones entre 2 y 10 ppm en la fabricación de azúcar crudo, según plantearon Hunkeler y Hernández Barajas (1997) así como Gupta y Singh (1992).

Las poliacrilamidas aniónicas han resultado los polímeros más ampliamente utilizados en la sedimentación de jugos y se ha determinado un mejor comportamiento en la medida en que se incrementa el peso molecular y se recomiendan en la literatura por Bango (1997) y Morales (1987) para enfrentar jugos refractarios en diferentes momentos de la zafra.

Igualmente, los floculantes son productos químicos que se emplean ampliamente en la producción de azúcar refino en los procesos de purificación mediante el empleo de la defecoflotación de los licores tratados con ácido fosfórico y lechada de cal, como lo plantea Crees y otros (1977).

Una posible producción en Cuba de floculantes, podría suplir las necesidades de la industria azucarera y tener acceso a un mercado nacional amplio por cuanto se conoce del empleo de este tipo de productos en las industrias metalúrgica, de tratamiento de aguas residuales, de cosméticos, de papel, textil, etc.

En el ICINAZ, se ha montado una planta piloto para la producción de floculantes (entre otros usos) con el financiamiento obtenido de un convenio de colaboración con la Escuela Superior Técnica de Lausana, Suiza y se han realizado diversas síntesis.

En la actualidad se comercializan de tres formas diferentes:
.

- En emulsión: En el mercado casi el 60% se comercializa en forma de emulsión
- En solución acuosa: A pesar de sus inconvenientes es muy barata por lo que pudiera resultar interesante en cuanto a las materias primas
- Sólidos: Alcanzan precios entre 3000 y 4000 USD/t y no son el tipo de floculante que más se comercializa, aunque sí el que más usa la industria azucarera

Conocer la factibilidad técnico-económica de este proceso en nuestras condiciones reales, es de vital importancia para poder escalar y asumir producciones mayores que satisfagan las necesidades actuales del país.

Materiales y Métodos

Para el cálculo del costo de manufactura se tuvieron en cuenta los precios de las materias primas según ofertas del 2001. En la Tabla I se muestran los resultados de este cálculo para los floculantes aniónicos sintetizados en fase acuosa y en emulsión invertida. En el caso del producido en solución, se ha tomado en cuenta la dilución y el costo de la tonelada de principio activo, presente sólo un 20% en el producto final, no así en los producidos en emulsión invertida por cuanto se demostró prácticamente que se comportaban como productos puros, comparados con los floculantes comerciales.

Tabla I. Cálculo del Costo de Manufactura de los floculantes sintetizados

Costo de Materia Prima (USD)

		Aniónico solución		Aniónico emulsión invertida	
	Precio/kg	**kg/t**	**Costo**	**kg/t**	**Costo**
Acido acrílico	1.39	58.9	81.64	97	134.44
Acrilamida	1.62	137.3	222.43	224	362.88
EDTA	2.16	0.12	0.26	0.040	0.09
KBrO3	7.2	0.31	2.23	0.16	1.15
MeBNa	24.26	0.61	14.80	0.022	0.52
NaOH 50%	0.245	32.3	7.91	108	26.46
Isopropanol	20			0.6	12.00
Simulsol OX1309	4.81			35.1	168.83
Exxol (Esscaid)	0.72			231	166.32
Montane 70	2.46			19.4	47.72
G1076	4.81			2.7	12.99
Montane 80SP	2.46				
Montanox 85 SPI	2.22				
DMEA 80%	4				
Ácido Adípico	3.48				
Ácido Láctico	3.9				
Ácido Sulfúrico	8.95				
NP 10	4.81				
Total			329.26		933.41
Total/t de principio activo			1679.92		
	Salario			**Mantenimiento**	
1 Téc.Medio	1 Operario	8 horas/día			
Primer Año	135			150	
Segundo Año	90			100	
Tercer Año	67.5			75	
Total Gastos Directos de Manufactura					
Primer Año			2164.92		1418.41
Segundo Año			2069.92		1323.41
El resto			2022.42		1275.91
GASTOS INDIRECTOS					
Laboratorio			20		20
Envase (bolsas de polietileno de 5 kg) a 0,20 USD c/u			40		40
Total Gastos Indirectos			60		60
GASTOS FIJOS					
Depreciación			245.3		245.3
Total Costo de Manufactura					
Primer Año			2470.22		1723.71
Segundo Año			2375.22		1628.71
Tercer Año			2327.72		1581.21

Resultados y Discusión

Los costos de las Materias Primas constituyen entre un 60 y un 75% del total de gastos de manufactura, y dentro de estas el costo de los monómeros constituyen respectivamente un 13 y un 31% del total para el

floculante aniónico en solución y en emulsión invertida. Los tensoactivos representan de este mismo total para los floculantes aniónicos en emulsión el 14%. La mano de obra constituye sólo entre un 2,5 y un 4% de este total en ambos casos.

La Inversión necesaria se expone en la Tabla II, para la cual se han tenido en cuenta ofertas de equipos de uso, específicamente un reactor de 1 t de acero inoxidable completo (agitación, sistema de enfriamiento y calentamiento, posibilidades de trabajar a vacío y con pequeñas presiones, etc.) valorado en 250 MUSD; una ensacadora de bolsas de polietileno valorada en 20 MUSD y un emulsionador valorado en 50 MUSD, para un total en equipos de 320 MUSD.

Tabla II. Valores para la Inversión en la síntesis de floculantes

COSTO DE LA INVERSIÓN			
Capital Fijo			
Equipos	320000		
Instalación y montaje	48000		
Instrumentación	32000		
Aislamiento	25600		
Edificio, tierra	10000		
Ingeniería y construcción	30000		
Contingencias	25000		
TOTAL	490600		
Capital de Trabajo			
		Aniónico en Solución	Aniónico en Emulsión
Producción 1 mes		128657.39	17237.07
Mat Prima 1 mes		16799.22	9334.07
Créditos extendidos (1 mes de producción a precio de venta		130208.33	25000
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO		275664.95	51571.13

En la Tabla III se muestra el resultado de los cálculos para el Flujo de Caja en el caso de la producción de los floculantes aniónicos en solución y en emulsión invertida, en un horizonte de análisis de 5 años y una producción prevista de 100 t el primer año, 150 t el segundo año y 200 t a partir del tercer año, que constituye un estimado de la demanda total de estos productos para la Industria Azucarera Cubana.

Adicionalmente, aunque los resultados no se reportaron en la tabla, se realizaron los cálculos para el floculante catiónico a pesar de que su factibilidad técnica no ha sido del todo demostrada, pero teniendo en cuenta una demanda mucho menor con producciones de 20, 30 y 50 toneladas respectivamente en los años primero, segundo y a partir del tercero.

Tabla III. Flujo de caja para la producción de floculantes aniónicos y catiónicos

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Producción (t)	**100**	**150**	**200**	**200**	**200**
Aniónico en solución		**Precio: 2700 USD/t**		**VAN=**	**($107,395.3)**
Costo de la producción	222492.19	319488.29	416484.39	416484.39	416484.39
Ingreso por venta	270000	405000	540000	540000	540000
I - G	47507.81	85511.71	123515.61	123515.61	123515.61
Inversión	490600				
Flujo neto	-443092.19	85511.71	123515.61	123515.61	123515.61
Flujo financiero	-443092.19	-357580.48	-234064.87	-110549.26	12966.35
Aniónico en emulsión		**Precio: 3000 USD/t**		**VAN=**	**$463,653.84**
				TIR=	**77%**
Costo de la producción	147840.66	207510.99	267181.33	267181.33	267181.33
Ingreso por venta	300000	450000	600000	600000	600000
I - G	152159.34	242489.01	332818.67	332818.67	332818.67
Inversión	490600.00				
Flujo neto	-338440.66	242489.01	332818.67	332818.67	332818.67
Flujo financiero	-338440.66	-95951.66	236867.02	569685.69	902504.36

Se ha tomado una tasa de descuento del 15% y no se ha incluido la depreciación, el capital de trabajo ni el costo del financiamiento.

El único caso que resulta favorable es la producción de floculante aniónico en emulsión invertida, con unos indicadores financieros favorables y un tiempo de recuperación de la inversión de 2,3 años.

Los valores negativos de las cifras del Valor Neto Actualizado (VAN) tanto para la solución de floculante aniónico como para los floculantes catiónicos no reportados en la tabla III, desaconsejan la inversión para la producción de estos floculantes. El caso de la solución de floculante aniónico se agrava aun más teniendo en cuenta que los costos de transportación serán superiores por el elevado contenido de agua que posee. Para los floculantes catiónicos, la baja demanda considerada condiciona los pobres resultados económicos. Para una producción similar a la considerada para el floculante aniónico (100, 150 y 200 t en los años primero, segundo y el resto) brinda indicadores económicos muy favorables (VAN=821,1 MUSD, TIR=139% y un tiempo de recuperación de la inversión de 1,3 años). Este resultado indica la posibilidad de esta producción de identificarse una demanda mayor para este tipo de productos, que pudiera estar no sólo en la Industria Azucarera sino también en otras sectores tanto nacional como internacionalmente.

Conclusiones

- Se cuenta con la tecnología para la obtención de floculantes aniónicos y catiónicos para la industria azucarera y otros sectores con una variante más factible bajo las condiciones cubanas.

- La producción de floculantes aniónicos en emulsión invertida resulta factible desde el punto de vista técnico económico para las capacidades indicadas por la demanda de la industria azucarera.

- La identificación de una demanda superior para floculantes catiónicos tanto en la industria azucarera como en otros sectores haría atractiva una Inversión para su producción.

Referencias

- Hunkeler; D., Hernández-Barajas, J. (1997), "Polyacrylamides" in Handbook of Thermoplastics. Marcel Dekker, O. Olabisi Ed
- Gupta, B., Singh H. (1992), "Polymerization in microemulsion systems" .PolyPlast. Technol. Eng 31 (7&8) 635-58
- Bango, J. C. (1999), "Evaluación de polielectrolitos empleados como floculantes en la clarificación de bajo tiempo de residencia (rápida)". ICINAZ. Informe CITMA
- Morales, S., (1987), "Estudio y Utilización más Efectiva de los Floculantes en la Producción de Azúcar Crudo de Caña". Tesis en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV.
- Crees O. L.; Whayman E. and Willersdoff A. L. (1977),"Further studies on flocculation". 44 Conf QSSCT Bundaberg Queensland.p. 225-33.

DOS SECADORES DE BAGAZO, UNO TIPO FLASH CON NOVEDOSO FLUIDIZADOR Y OTRO ROTATORIO

Guillermo Arias Polo. Investigador Titular. Ingeniero Mecánico
Zoilo Guillermo González Díaz Especialista en Generadores de Vapor

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras ICINAZ
direnergia@icinaz.co.cu

RESUMEN

Los Secadores de Bagazo aún conservan un gran espacio en la industria azucarera y sus derivados, no solo como medio tradicional de recuperar la energía de los gases de escape de las calderas, sino como paso necesario para un procesamiento ulterior del bagazo, por ejemplo, para las fábricas de tableros de partículas, para su gasificación, involucrando una combustión más eficiente, etc.
En el presente trabajo se muestran dos experiencias de varios años de utilización de Secadores de Bagazo donde los usuarios han estado complacidos con sus ventajas.
En la primera experiencia se ofrecen los resultados de un secador del tipo Flash o Neumático instalado en el ingenio Pablo Noriega de la Provincia de la Habana desde 1984. Originalmente es un viejo éxito de una investigación del ICINAZ. Ya en el presente trabajo se expone una novedosa modificación donde se fluidiza el bagazo integral, aumentando sustancialmente la capacidad de la instalación y la calidad del bagazo seco. Ha sido probado exitosamente desde 1997.
En la segunda experiencia se ofrecen los resultados de un Secador de Bagazo Rotatorio que desde la cosecha azucarera 1988 - 1989 viene trabajando exitosamente en el ingenio Frank País de Cuba.
Fue diseñado por la EDIMEC que en la actualidad está integrada al ICINAZ.

Palabras claves: Secador de bagazo, Secador neumático, Secador tipo Flash.

TWO BAGASSE DRYERS, ONE FLASH TYPE WITH NOVEL FLUIDIZER AND ANOTHER ROTARY TYPE

Guillermo Arias Polo — Senior Researcher. Mechanical Engineer
Zoilo Guillermo Gonzalez Diaz — Specialist on Steam Boilers.

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras ICINAZ
direnergia@icinaz.co.cu

ABSTRAC

The Bagasse Dryers still conserve a great space in the sugar industry and its derived, not alone as traditional means of recovering the energy of the flue gases of the steam boilers, but as necessary step for an ulterior processing of bagasse, for example, for the factories of particles boards, for its gasification, involving a more efficient combustion, etc.
The current work show two several years experiences in using Bagasse Dryers where the users have been pleased with their advantages.
In the first experience, is offered the results of a Flash or Pneumatic Dryer type, installed in the Sugar Mill Pablo Noriega in the Havana Province from 1984. Originally it was a success of an old research of ICINAZ. Now a novel modification is exposed where the integral bagasse is fluidized, increasing the capacity of the installation substantially and improves the state of dry bagasse. It has been proven successfully so far from 1997.
In the second experience is offered the results of a Rotary Dryer that come working from the sugar crop 1988 - 1989 successfully in the Sugar Mill Frank País in Cuba.
It was designed by the EDIMEC that at the present time is integrated the ICINAZ.

Key words: Bagasse dryer, Pneumatic dryer, Flash dryer.

DOS SECADORES DE BAGAZO, UNO TIPO FLASH CON NOVEDOSO FLUIDIZADOR Y OTRO ROTATORIO

1. Introducción

Los Secadores de Bagazo aún conservan un gran espacio en la industria azucarera y sus derivados, no solo como medio tradicional de recuperar la energía de los gases de escape de las calderas, sino como paso necesario para un procesamiento ulterior del bagazo, por ejemplo, para las fábricas de tableros de partículas, o para su gasificación, donde se involucra una combustión más eficiente, etc.

Las calderas de quemar bagazo también sufren de problemas de estabilidad debido a su alto contenido de humedad (50% o más al quemarse). Bajo una gama amplia de condiciones del horno existe el mismo ciclo (acumulación material, secado y combustión). Algunas condiciones del horno pueden presentar grandes fluctuaciones en la presión del generador, reducción en la producción de vapor y generalmente un comportamiento inestable. La estabilidad es importante debido a que de tales generadores de vapor depende a menudo el suministro de toda la energía del ingenio.

El secado de bagazo como forma de recuperar el calor disponible en los gases de escape de la combustión del horno ha centrado el interés de muchos productores en el mundo. Han sido reportados secadores de bagazo con varios grados de éxitos sucesivos entre los que se encuentran: Thompson, S. P. (1980)[9], Arrascaeta & Fridman P. (1986)[1], Correira Maranhao (1986) [3], Dixon & Jorgensen (1988)[5], EDIMEC (1989)[6], Wang et al (1990)[10], Kinoshita (1991)[7], Arrascaeta, A (2000)[2], Narendranath & Prasada Rao (2002)[8]

No obstante lo éxitos obtenidos por esta tecnología, son muchos sus detractores. El presente trabajo tiene como objetivo contribuir a demostrar los beneficios y las perspectivas de la misma; y como forma de lograr este objetivo, se muestran dos experiencias de varios años de utilización de Secadores de Bagazo donde los usuarios han estado complacidos con sus ventajas.

2. Beneficios y dificultades del secado

Beneficios

– El secador como superficie recuperativa en la generación de vapor. Es conocido que las calderas de vapor de la producción azucarera muestran en los gases de escape temperaturas superiores que el mínimo posible, lo que provoca grandes pérdidas de energía o bagazo que es su combustible natural.

Al utilizar los gases de escape de las calderas para secar el bagazo, el Secador actúa como una superficie recuperativa adicional de la caldera, que si antes expulsaba sus gases a alta temperatura ($\approx 200^0$ C), perdiendo esa energía, ahora los puede expulsar a la salida del Secador alrededor de los 80^0 C [1,4,6]. Se puede notar la gran diferencia.

Mediante la utilización solo de economizadores y calentadores de aire como superficies recuperativas, resulta económicamente imposible lograr valores tan altos de agotamiento de la energía de los gases de escape. Esto se debe que estos requieren una pared entre los dos fluidos que participa en el intercambio de calor, cuyo tamaño se incrementa en una relación exponencial en dependencia de una cada vez menor temperatura final requerida.

– Incremento del potencial energético del bagazo. Durante el proceso de secado de bagazo ocurren dos fenómenos simultáneos que se contraponen: por un lado la pérdida de la humedad del bagazo incrementa su valor calórico por unidad de peso (el agua disminuida implica una disminución de la pérdida del calor necesario para su evaporación). Por otra parte, el peso del bagazo disminuye en proporción a la pérdida de humedad.

Sin embargo, el crecimiento del valor calórico supera con creces la pérdida de peso, proporcionando una energía total creciente a medida que disminuye la humedad en el bagazo. La tabla I que aparece a continuación cuantifica el fenómeno analizado:

Tabla I. Variación del valor de la energía con respecto a la humedad en el bagazo

Humedad del bagazo %	Valor calórico bajo kcal/kg	Factor de reducción de peso en kg	Energía total kcal
50	1 825,0	1,000	1 825,0
45	2 067,5	0,909	1 879,5
40	2 310,0	0,833	1 925,0
35	2 552,5	0,769	1 963,5
30	2 795,0	0,714	1 996,4
25	3 037,5	0,667	2 025,0

Como puede observarse en la tabla expuesta, el valor calórico crece llegando a ser 1,4 veces en el bagazo a 35 % de humedad (que es un valor aceptable) con relación a 50 % y la disponibilidad de energía de 7,6 % superior, lo que indica que en el proceso de secado tiene un efecto neto de ganancia energética, y que esta ganancia virtualmente es total si se lleva a efecto cuando se emplean los gases de escape de las calderas antes de ser expulsadas por la chimenea.

– Disminución de las pérdidas de calor en los gases de escape. Ya que el volumen de los mismos disminuye debido a dos factores importantes: El volumen de aire necesario para la combustión puede ser menor (menor coeficiente de exceso de aire por una mejor cinética de la combustión. Arrascaeta (1986)[1] reporta una disminución de un 50-60% a un 35-40%) , restándole además la ausencia del vapor de agua que se elimina en el secador. De esto también se desprende que el volumen del horno necesario es mucho menor. Existen también menos pérdidas por arrastre mecánico debido a la disminución del volumen de los gases de escape.

– Disminución de las pérdidas por incombustión química. Esto debido al incremento del nivel térmico del horno y la mejora de la cinética de la combustión.

– Otras ventajas reportadas

1) Se reporta una alta estabilidad en la presión de vapor de la caldera factor debido a la estabilidad de las variables que intervienen en el proceso de la combustión. Esto resulta de un valor incalculable para un ingenio. Este hecho es altamente resaltado por los técnicos y ejecutivos del ingenio Frank País[6].

2) El bagazo en su proceso de intercambio de calor y masa "limpia" los gases producto de la combustión antes de salir a la atmósfera disminuyendo la contaminación ambiental.

Dificultades

Los grandes beneficios listados anteriormente se han visto afectados por un grupo de dificultades que han hecho retroceder en algunas plazas la ampliación de las experiencias del secado de bagazo en la industria azucarera. Los principales problemas reportados son los siguientes:

– Incendios inesperados. A partir de unos pocos caso de principios de incendio, las medidas tomadas casuísticamente eliminaron esta posibilidad[1,2,6]. El nivel de humedad del bagazo que se utiliza (≈35%) no es tan bajo como para que existan incontrolables y dispersas situaciones de incendios.

- Contaminación ambiental. Los problemas inaceptables en este sentido fueron controlados sin grandes dificultades[1,2,6]. Con un adecuado diseño y operación de la instalación estos problemas fueron completamente eliminados.

- Problemas de operación y control. En muchos de estos problemas se presentaron en los primeros momentos[1,2,6]. Varios relacionados con el dominio de la operación de las válvulas rotatorias. La selección y el montaje de las mismas deciden sobre su correcto funcionamiento[2,4,6]

- Uno o más equipos a operar. Se puede llegar a un nivel mínimo de automatización y adiestramiento del personal que simplifiquen las dificultades[2,4,6]

- Existen además muchos problemas subjetivos que en la medida que se vayan imponiendo los beneficios de la nueva tecnología, estos desaparecen.

Comentarios al respecto

Es obvio que la introducción de una nueva tecnología lleva consigo nuevas dificultades. En los casos que se presentan, una vez resuelto los problemas, se recogen todas los importantes beneficios que anteriormente fueron explicados.

3. Secador de bagazo del Ingenio Pablo Noriega[1,2]

En el Ingenio cubano "Pablo Noriega" de la Provincia de la Habana en Cuba desde 1984 ha venido trabajando con éxito un secador de bagazo del tipo Flash o Neumático.

Originalmente es un viejo éxito de una investigación del ICINAZ[1] pero más recientemente se le incorporaron varias mejoras y simplificaciones entre las que se encuentran una novedosa modificación donde se fluidiza el bagazo integral, aumentando sustancialmente la capacidad de la instalación y la calidad del bagazo seco[2]. Ha sido probado exitosamente durante cinco zafras desde 1997 hasta el año 2002 en que este ingenio realizó su última temporada.

Descripción del sistema (ver figura 1):

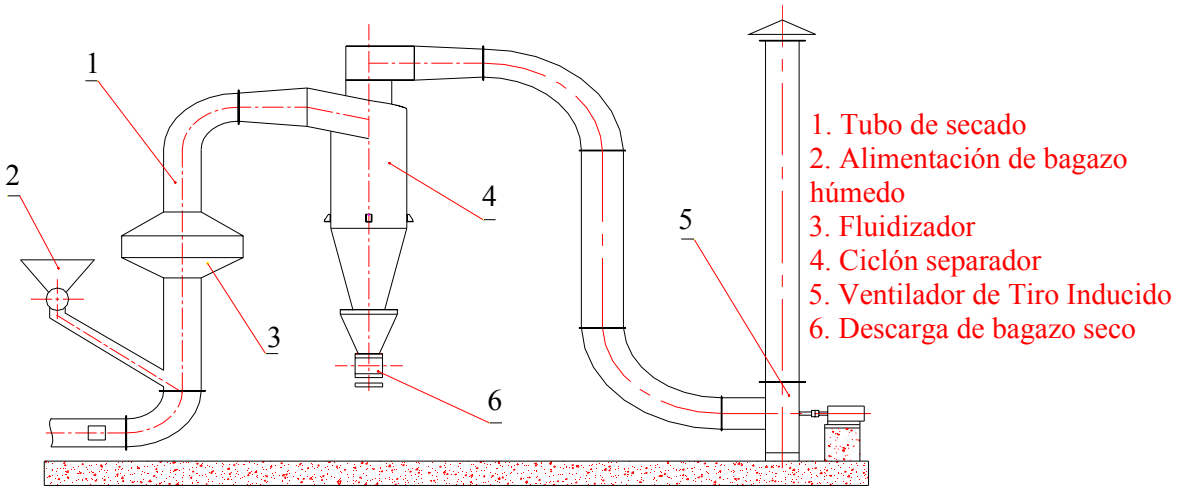


Figura 1. Secador tipo Flash o neumático del Ingenio Pablo Noriega

Tabla II. Secador Tipo Flash o Neumático. Datos técnicos y resultados

1.	Capacidad de molida del Ingenio	1 000 t/d
2.	Producción de vapor (una caldera)	25 t/h
3.	Incremento del índice de generación desde 2,16 a 2,6	16,9 %
4.	Eficiencia bruta	87 %
5.	Capacidad del secador	10 t/h
6.	Temperatura de los gases de escape a la entrada del secador	280^0 C
7.	Temperatura de los gases de escape a la salida del secador	100^0 C
8.	Humedad de entrada del secador	48 %
9.	Humedad en la salida del secador sin fluidizador	35 %
10.	Humedad en la salida del secador con fluidizador	28 %

En la figura 1. se puede apreciar un esquema de la instalación del secador de bagazo del tipo flash o neumático del Ingenio Pablo Noriega, que originalmente se concibió para una capacidad de procesamiento de 10 t/h de bagazo húmedo. En el listado de la misma figura 1. se pueden apreciar los principales componentes del Secador donde se destaca con el número de posición 3 la inclusión de un nuevo componente llamado Fluidizador.

Este fluidizador, de sencilla construcción, tiene como ventaja la facilitación de la evaporación del agua libre en un tramo relativamente corto de la sección de secado. Este hecho, trae como consecuencia que para instalación inicialmente concebida para una capacidad de 10 t/h , exista un posible incremento de la capacidad nominal de la misma, ya que de los datos del secador que se presentan en la Tabla II. de la temperatura de salida de los gases se observa un margen hasta llegar a valores admisibles de alrededor de los 80^0 C En la foto 1 del Anexo se presenta el secador de bagazo del ingenio Pablo Noriega.

4. Secador de bagazo del Ingenio Frank País[6]

En la segunda experiencia se ofrecen los resultados de un Secador de Bagazo Rotatorio que desde la cosecha azucarera 1988 - 1989 hasta el año 2002 en que fueron paralizadas las labores del ingenio, vino trabajando exitosamente en el ingenio Frank País de la Provincia de Holguín en Cuba. Fue diseñado por la ex-Empresa de Diseño Mecánico EDIMEC que en la actualidad está integrada al ICINAZ.

Descripción del Sistema: Como se puede apreciar en la figura 2. el sistema consta de los siguiente elementos:

1. Conductor de bagazo húmedo
2. Válvula rotatoria para la alimentación del bagazo húmedo al tambor
3. Conducto de entrada de los gases de escape proveniente del horno del generador de vapor
4. Cono de transición.
5. Tambor rotatorio
6. Accionamiento del tambor. Motor-reductor-transmisión por cadena
7. Rodillos de apoyo
8. Cámara de expansión
9. Tolva de salida
10. Sinfín para la salida del bagazo grueso seco
11. Conductor de salida del bagazo grueso seco
12. Transportación neumática del bagazo fino hacia los ciclones
13. Ciclón de separación del bagazo fino (2 unidades)
14. Sinfín para la salida del bagazo fino seco
15. Sistema para la extracción y transporte neumática del bagazo fino seco

16. Quemador de fino en la caldera
17. Salida de los gases y el vapor de agua a la atmósfera

El bagazo húmedo proveniente de la molida, es transportado por conductores (1) que lo descargan en un transportador sinfín (2) que fuerza su entrada hacia dentro del tambor rotatorio (5)

Este tambor consta de paletas interiores que durante el giro producen la elevación y el volteo del bagazo creándose una cortina a través de la cual pasan los gases de escape provenientes del horno de las calderas (3). Debido a este intercambio de calor y masa, se produce el secado del bagazo con la subsiguiente fluidización de las partículas de bagazo más finas, las cuales son arrastradas y transportadas neumáticamente (12) para proceder a su separación en los ciclones (13).

Previamente el bagazo más grueso que no logra fluidizarse, llega al extremo del tambor o cámara de expansión (8) por donde es extraído por la parte inferior de la tolva (9), mediante otro transportador sinfín (10) que lo descarga en un conductor (11).

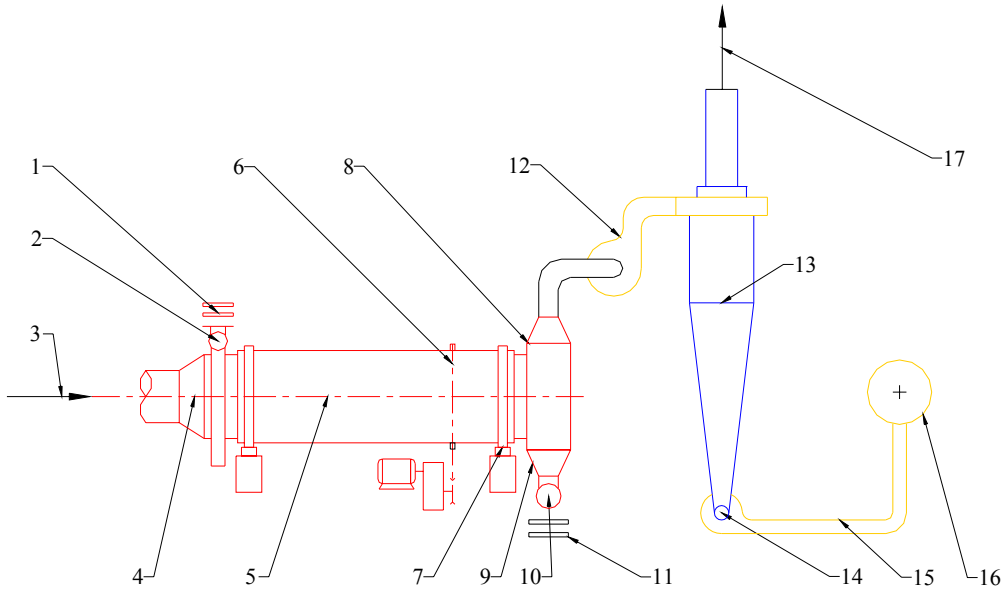


Figura 2. Sistema de Secado del Ingenio Bagazo Frank País

El ingenio Frank País además de la producción de azúcar crudo tiene una refinería de azúcar. Los datos más importantes del ingenio y del sistema de secado son los siguientes (ver tabla III.):

Tabla III. Datos técnicos de la fábrica de azúcar y del Sistema de Secado

No.	Parámetro evaluado	Dato obtenido
1.	Generación de vapor (caldera cubana Retal)	45 t/h, 18 bar, 320^0 C
2.	Caña molida	3 749 t/d (154 t/h)
3.	Producción de azúcar refino	42 t/d
4.	Cantidad de bagazo producido (50 % humedad)	1199,68 t/d (50 t/h)
5.	Fibra en caña promedio	14,47 %
6.	Bagazo entrando al secador a 50 % humedad	35 t/h
7.	Temperatura de gases entrando al secador	251^0 C
8.	Temperatura de gases a la salida del secador	Entre 84^0 y 90^0 C
9.	Humedad de bagazo a la salida del secador	35,24 %

10.	Azúcar crudo producido por día de zafra	342 t/d
11.	Diferencia en consumo de petróleo con respecto a la zafra anterior sin el Secador	15,65 gal / ton de refino

En la foto 2 del Anexo se presenta el secador de bagazo del ingenio Frank País.

5. Conclusiones

- La introducción del secado de bagazo tiene entre otros, los siguientes beneficios en la generación de vapor: aprovecha en mayor grado la energía disponible en la caldera ya que aumenta el valor calórico del combustible bagazo, mejora la cinética de la combustión, disminuye las pérdidas de calor en los gases producto de la combustión, disminuye el volumen necesario del horno, etc. Todo esto trae como consecuencia un aumento de la eficiencia de la caldera, mejora sensible en la generación de vapor y un aumento en la disponibilidad de bagazo con otros objetivos.

- Se presentaron las dificultades más importantes que se reportan que han limitado a la mayor difusión de los secadores de bagazo entre las que se encuentran: incendios ocasionales, dificultades en la operación y control y la necesidad de operar un equipo adicional. Algunos comentarios se hicieron con vistas a solucionar estas dificultades.

- Se presentó una experiencia en condiciones de producción exitosas en el ingenio Pablo Noriega de la Provincia de la Habana de Cuba, esta es, un secador tipo flash o neumático procesando 10 t/h de bagazo que trabajó desde 1984 hasta el año 2002. En el año 1997 se perfeccionó el sistema y se introdujo un sencillo elemento llamado fluidizador que aumentó la eficiencia de la instalación existente.

- Se presentó una experiencia en condiciones de producción en el ingenio Frank País de la Provincia de Holguín de Cuba de un secador del tipo rotatorio procesando 35 t/h de bagazo. Desde la cosecha azucarera 1988 - 1989 vino trabajando exitosamente hasta su última zafra en el 2002.

6. Referencias bibliográficas

1. Arrascaeta, A., Fridman P. (1986), Desarrollo del secado de bagazo. 1ª Conferencia Internacional sobre Alta Eficiencia en la Industria Azucarera. La Habana, Cuba. 1986

2. Arrascaeta, A. (2000), Experiencia sobre la introducción de un fluidizador en un secador de bagazo. Informes internos del ICINAZ, Cuba. Sin publicar.

3. Correia Maranhao L. E. (1986). Seven years experience with bagasse dryers. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 19 Congr. Vol 2, 1009-1016.

4. Dixon T. (2003), Manager Engineering Group Sugar Research Institute. SUGAR ON LINE FORUM DISCUSSION. Thu, 6 Mar 2003 15:32:55 –0500

5. Dixon T F, and G M Jorgensen (1988). Bagasse spreader design for suspension firing. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol, 279-283.

6. EDIMEC (1989) Resultados y Perspectivas del Sistema del Secado del Ingenio Frank País. Informe internos EDIMEC-MINAZ Cuba.

7. Kinoshita C M (1991). Flue gas drying of bagasse. Applied Engineering in Agriculture, 7 (6) 729-734

8. Narendranath M., Prasada Rao (2002) G.V.S. The Andhra Sugars Ltd., India. Improvement of the calorific value of bagasse using flue gas drying. ISSCT ENGINEERING WORKSHOP. BERLIN, GERMANY. 7 - 11 October, 2002

9. Thompson, S. P. (1980) Flue Gas drying Principles and Considerations for the Sugar Industry. Sugar Conference Hawaiian Sugar Technologist.

10. Wang C S, Chang C J and J T Lee (1990). Bagasse drying system by stack gases. Taiwan Sugar 37 (3) 15-19.

11. Wong Sak Hoi L. Calorific value of bagasse - an overview. ISSCT ENGINEERING WORKSHOP BERLIN, GERMANY. 7 - 11 October, 2002

Foto 1. Vista general del secador de bagazo del ingenio Pablo Noriega

Foto 2. Vista general del Secador de bagazo del ingenio Frank País

PRODUCCIONES SOSTENIBLES PARA LA DIVERSIFICACIÓN AZUCARERA

SUSTAINABLE PRODUCTIONS FOR SUGAR DIVERSIFICATION

Marta Delgado Puldón

Juana R. Pérez Riera

Juana M. Chanfón Curbelo

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras.

ceida@icinaz.co.cu

ABSTRACT

The production of different sugar, either solid or liquid, contribute to diversification of the cuban sugar industry.

This work deals with the different raw, white, refined and liquid sugars, including the sugar considered as demostrative productions intended for searching new markets.

The main parameter for operation and quality control are shown for each of the more than ten sugars considered.

RESUMEN

Las producciones de diferentes azúcares sólidos y líquidos permiten diversificar la industria azucarera.

En este trabajo se relacionan los azúcares crudos, blancos y líquidos y además los azúcares considerados como producciones demostrativas para la búsqueda de nuevos mercados.

Se plantean los parámetros de operación y de calidad para cada uno de los más de diez azúcares en cuestión.

INTRODUCCIÓN

La producción de azúcares de diferentes calidades incluye una amplia gama de productos que son comercializados en el ámbito internacional. Además de los azúcares granulados tradicionales como el crudo y el refino, se producen aquellos con una gran variabilidad en el tamaño de sus cristales, en el contenido de sacarosa, en que son moldeados y presentados al consumidor, considerando éstos como algunos de los aspectos que permitan hacerlos más atractivos bien para el consumo directo o industrial.

Los países con amplia tradición azucarera, tanto en caña como en remolacha, han ido incorporando estos tipos de azúcares lo que les ha proporcionado una mayor inserción en los mercados y una mayor posibilidad de aumentar el valor agregado de sus producciones.

Diversificar la industria azucarera mundial ha sido y es un reto para los productores de azúcares naturales ya que la inclusión de edulcorantes sintéticos en los marcados conspira contra estas producciones.

La situación mundial que presenta el mercado azucarero incide de forma desfavorable, en aquellos países donde el azúcar es su principal fuente de ingresos; es por ello que la introducción de nuevas tecnologías reviste gran importancia.

Cuba, a finales de la década de los años 90, con la reducción de la producción y el bajo precio del azúcar vio agravada las condiciones financieras de su agroindustria azucarera, lo que conllevó a un reordenamiento de la misma en busca de una competitividad que le permitiera adaptarse a las condiciones difíciles que se preveían en el mercado azucarero. A partir del año 1999 el sector azucarero cubano comenzó una de las tareas más significativas de toda su historia: la diversificación azucarera.

Pretendemos con este trabajo dar a conocer los diferentes azúcares en los que nuestro país tiene grandes posibilidades de desarrollar sus tecnologías y así diversificar la industria. Se dan a conocer los parámetros de operación y de calidad de 14 tipos de azúcares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Además de las producciones tradicionales de azúcar crudo para exportar y refino de alta calidad, la industria azucarera cubana está en condiciones de producir los azúcares que a continuación se relacionan:

1.- Azúcares Granulados Crudos

a.- Alta Pol y Bajo Color

b.- Afinado.

2.- Azúcares Granulados Blancos

a.- Blanco Directo

b.- Polvo de Azúcar

3.- Azúcares Líquidos

a.- Sacarosa Líquida

b.- Líquido Invertido

c.- Sirope Color Caramelo

d.- Sirope Rico en Fructosa

e.- Sorbitol

4.- Producciones Demostrativas

a.- Azúcar Lustre

b.- Azúcar Instantáneo (Crudo – Refino)

c.- Azúcar Fortificado

d.- Azúcar Cristal Dorado

e.- Azúcar Orgánico

Se presenta una breve descripción de cada una de las tecnologías.

1.- Azúcares Granulados Crudos

a.- Azúcar de Alta Pol y Bajo Color

Para obtener este azúcar es imprescindible incrementar la calidad de los productos intermedios del proceso, esto implica una alta eficiencia en la etapa de clarificación de los jugos y la necesidad de purificar la meladura.

La clarificación de los jugos se realiza mediante el sistema tradicional de cal – calor y la meladura se trata mediante el proceso de fosflotación con la aplicación de polímeros catiónicos y floculantes. Se recomienda el esquema de doble semilla para obtener un solo tipo de azúcar de superior calidad.

b.- Azúcar Afinado

Es un azúcar a la cual se le controlan los parámetros de color y humedad ya que parte de un crudo de alta calidad y que finalmente se incluye la etapa de secado para evitar su deterioro durante almacenamiento

Tabla I. Parámetros de Calidad.

		Alta Pol	Afinado
Polarización	[^{o}Z]	99.30	99.00
Color	[UCH]	8	10
Azúcar Reductor	[%]	0.10	0.15
Cenizas	[%]	0.15	0.20
Insolubles	[%]	0.03	0.04
Humedad	[%]	0.15	0.25
Tamaño de Grano	[mm]	0.7	0.8

2.- Azúcares Granulados Blancos

a.- Azúcar Blanco Directo

La tecnología se basa en la utilización de dióxido de azufre en la etapa de clarificación de los jugos. La producción de este tipo de azúcar lleva un control estricto en lo que respecta a la temperatura (70 ^{o}C) y el pH a que se sulfitan los jugos con la finalidad de obtener un azúcar dentro del rango permisible del contenido de dióxido de azufre (Máx 70 mg / kg).

b.- Polvo de Azúcar

Es la fracción fina de alta calidad que se obtiene en el tamizado del azúcar refino antes de ser Envasado. Por su tamaño presenta una rápida disolución por lo que puede ser utilizado en el consumo directo e industrial.

Tabla II Parámetros de Calidad

		Blanco Directo	Polvo de Azúcar
Polarización	[^{o}Z]	99.50	99.80
Color	[UCH]	3	0.5
Azúcar Reductor	[%]	0.10	0.05
Cenizas	[%]	0.15	0.05
Insolubles	[%]	0.03	-
Humedad	[%]	0.07	0.05
Tamaño Grano	[mm]	0.5	0.2

3.- Azúcares Líquidos

a.- Sacarosa Líquida

Se puede obtener directamente del licor decolorado y filtrado de refinería, siempre que cumpla con los parámetros de calidad establecidos.. Su baja densidad (60 – 70 º Bx) conspira con su descomposición microbiológica por lo que su almacenamiento debe ser inferior a una semana

La sacarosa líquida debe ser un producto exento de color lo que se consigue mediante

tratamiento iónico pero según su utilización puede llegar hasta valores de 1.0 UCH como

máximo. Se puede utilizar en la industria láctica o en cervecería. Su color depende de donde se aplique.

b.- Líquido Invertido

Se toma como materia prima el licor filtrado de refinería y se invierte por vía ácida o enzimático a una temperatura de 80 – 85 º C, se concentra hasta 75 º Bx. El azúcar líquido invertido se puede clasificar en función de su inversión. Se emplea en las industrias cerveceras , farmacéuticas, etc.

c.- Sirope Color Caramelo

Es un producto de alta calidad que se obtiene a partir de derivados del almidón y azúcares. Del azúcar refino se prepara un sirope entre 60 – 62 º Bx y a temperaturas no mayor de 80 º C se realiza la inversión con posterior tratamiento químico a temperatura y presión controladas . Se presenta como un sirope de color oscuro para darle color a su vez a los refrescos y bebidas en general y contribuye al sabor del producto final.

d.- Sirope Rico en Fructosa

Este sirope se obtiene como subproducto de la producción de glucosa. El SRF es mejor asimilado por los diabéticos, es hipocalórico y posee mayor dulzura que los azúcares invertidos.

Se utiliza como sustituto del azúcar en la fabricación industrial de refresco y cervezas productos lácteos y conservas. acompañando otro alimento, su uso doméstico está dado en la confección de refrescos, dulces, en la ingesta directa o

e.- Sorbitol

Se obtiene por la hidrogenación de la glucosa con posterior purificación y concentración hasta 70 % s.s. El sorbitol se produce y clasifica en dependencia al contenido de manitol que posea, que va desde 0.1 % hasta 7 % del producto Es un líquido incoloro y dulce que se utiliza en la industria alimentaria como estabilizador, espesante y edulcorante, en productos para diabéticos y en la producción de vitamina C.

Tabla III . Parámetros de Calidad

a.- Sacarosa Líquida

S. Solubles	(%)	65 – 67	
Color	(UCH)	1.0	Máx
Az. Reductor	(%)	0.3	
pH		6.8 – 7.2	

b.- Líquido Invertido

S.Solubles	(%)	73 - 75	
Color	(UCH)	2.5	Máx
Inversión	(%)	80 – 85	
pH		5 - 6	

.

c.- Sirope Color Caramelo

S.Solubles	(%)	65 – 68
Punto Isoeléctrico:		
Menor de 2 (refrescos)		
Menor de 4 (Bebidas Alcohólicas)		

d.- SRF

S.Solubles	(%)	68 – 73
Color	(UCH)	4 Máx
Fructosa	(%)	55 – 60
pH		3 – 4

e.- Sorbitol

Densidad		1.285	Mín
Indice Refracción		1.455	Mín
Metales Pesados	(ppm)	5	Máx
Azúcar Reductor	(%)	0.2	
Níquel	(ppm)	1	Máx
Residuo Ignición	(%)	0.2	Máx

4.-Producciones Demostrativas

a.- Azúcar Lustre

Se obtiene de la mezcla de azúcar refino, de alta calidad pulverizado y fécula de maíz (97: 3) puede oscilar entre 3 y 5 % y se considera un elemento anticompactante y dispersante que contribuye además a la apariencia del producto terminado.

b.- Azúcar Instantáneo

Crudo Instantáneo : Se elabora a partir de meladura clarificada y se cristaliza cada templa de forma independiente y una vez centrifugado se seca para evitar un rápido deterioro, dado por el tamaño de grano.

Blanco Instantáneo: Es un producto microcristalino que se obtiene a partir de licores de refinería, que se concentran a presión atmosférica hasta 93 – 94 º Bx y alta temperatura entre120 – 124 º C y se cristaliza en mezcladores circulares por enfriamiento de la masa. Es un azúcar de rápida disolución y su uso puede ser dómestico o industrial

c.- Azúcar Fortificado

El azúcar es fortificado con vitamina A para garantizar una concentración de 15 microgramos de retinol/gramo de azúcar, valor que puede variar en función de las necesidades de la población a la cual va dirigido el producto.

Se elabora una premezcla en la cual se introduce la vitamina A (Palmitato de Retinol) para añadirla al azúcar que se fortificará en una proporción de premezcla : azúcar de 1 : 1000.

El azúcar fortificado ve dirigido a grupos poblacionales con déficit de esta vitamina.

d.- Azúcar Cristal Dorado

El azúcar cristal dorado posee características especiales como son el tamaño del grano (3 – 5) mm, su color ámbar y su brillo.

Se obtiene en Tachos con agitación mecánica donde se introducen la cantidad de cristales necesarios de un azúcar crudo (doble semilla) con tamaño de 1 mm y los licores y (o) siropes de refinería para producir la masa correspondiente. Obtener el tamaño de grano requerido demora más de 10 horas. Se emplea con fines turísticos y (o) de exportación.

e.- Azúcar Orgánico

Se produce de cañas consideradas ecológicas cuando son tratadas por medios naturales de cultivo y cosecha. Generalmente, en la toma de decisiones, sobre la utilización o no de determinados productos químicos, inciden sólo las exigencias del cliente quién permitirá, en función de la calidad del azúcar que desee recibir, el empleo de productos tales como: formol, hidróxido de calcio, bióxido de azufre y (o) tensoactivos orgánicos.

El azúcar crudo orgánico puede ser elaborado de igual forma que el crudo normal; aunque se plantea el lavado y descascarado de la caña para una mayor eliminación de las impurezas presentes en su corteza. La calidad del azúcar orgánico debe ser similar a la del crudo de alta calidad. El crudo orgánico puede estar dirigido a consumidores más exigentes o a la elaboración de otros productos orgánicos.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Todos los azúcares mencionados se están produciendo o fueron producidos en su momento. Lo importante es resaltar que la industria azucarera cubana está en condiciones de obtener estos azúcares según sean contratadas sus producciones.

Se puede incluir además productos tan tradicionales como el melado de caña y la raspadura.

La introducción de todas estas tecnología proporcionan una reducción en los costos de producción y un aumento de la eficiencia

Se ha ido a la producción de azúcares de muy alta pol utilizando el sistema de doble semilla que permite producir un azúcar único de superior calidad.

Los azúcares líquidos presentan una amplia gama de productos. En el caso de los invertidos la introducción de la inversión enzimática abarata el proceso y permite obtener un producto final de mayor calidad.

Diversificar la producción azucarera cubana es una posibilidad real ante la alternativa de tantas nuevas tecnologías que permitan obtener productos para se comercialización dentro y fuera del país.

CONCLUSIONES

Existe el personal con los conocimientos necesarios para enfrentar las diferentes tecnologías.

Algunas tecnologías son de fácil implementación y sus producciones pueden ser a corto plazo.

Diversificar la industria azucarera es un reto con amplias posibilidades para acceder a nuevos mercados.

PRODUCTO ADICIONAL EN AZÚCAR REFINO
SUGAR REFINERY ADDITIONAL PRODUCT

AUTORES: EDUARDO DUARTE PEREZ

MARTHA SALERMO MARTINEZ

e-mail eduarte@ icinaz.co.cu

INSTITUTO CUBANO DE INVESTIGACIONES AZUCARERAS

ICINAZ

RESUMEN.

Se presenta una tecnología que permite incrementar el valor agregado en la producción del azúcar en una refinería, disminuyendo costos e incrementando ingresos, con una mínima inversión.

Se hace un análisis técnico económico del proceso, donde se obtiene beneficio por menor consumo de vapor, por lo tanto de combustible, sin pérdidas en sirope off, menos gasto en sacos y procesamiento de este azúcar, disminución de gastos en tachos y centrifugación con obtención de un producto adicional de amplio mercado, contribuyendo a la diversificación de la producción sin afectación adicional al medio ambiente.

Palabras claves fructosa, sirope invertido azúcar líquido.

ABSTRACT

Important profitable product would be obtained by diverting a flow line of decolorized liquor in a sugar refinery to obtain an invert syrup with 45-48% fructose employing a biotechnological process which affords a clean syrup without employing chemicals and no effect of residuals upon the environment.

Benefits are: An added product with a value higher than sugar. No losses in off syrup, bags and sugar processing. Lower fuel consumption. A very low investment cost with total recovery before the first crop ends.

Key words: fructose, invert sugar, liquid sugars.

INTRODUCCIÓN.

La producción de azúcares líquidos tiene un alto desarrollo mundial, determinado por las facilidades que ofrece tanto a productores como usuarios. La sacarosa líquida tiene el inconveniente de su corta duración por no permitir altas concentraciones por su cristalización, este problema se eliminó con el empleo de siropes invertidos, éstos han sido suplantados por los siropes de maíz de primera y segunda generación con 42 y 55% de fructosa, siendo el mayor productor los EE.UU. afectando, por los bajos precios, a los países productores de azúcar de caña, insertando dicho sirope en los mismos.

Como un medio paliativo para la situación económica de la industria se presenta una tecnología que mediante un proceso de inversión enzimática permite incrementar el valor agregado en la producción del azúcar en una refinería, disminuyendo costos e incrementando ingresos, con una mínima inversión.

Se hace un análisis técnico económico del proceso, donde se obtiene un beneficio por menor consumo de vapor, por lo tanto de combustible, sin pérdidas en sirope off, menos gasto en sacos y procesamiento de este azúcar, disminución de gastos en tachos y centrifugación con obtención de un producto adicional, de amplio mercado, contribuyendo a la diversificación de la producción y sin afectación adicional al medio ambiente.

MATERIALES. MÉTODO DE TRABAJO.

El proceso de inversión se realiza a escala de laboratorio con licor decolorado de una refinería, con las siguientes características: Brix 63.0 Pol 62.5 Color de 125 a 200 ICUMSA a 7,0 pH el cual se recircula por una columna que contiene un biocatalizador formado por levaduras inmovilizadas en bagacillo a 65º C con un tiempo de retención de 3,5 horas alcanzando un pol de –15 para 95% inversión. Este sirope se concentra a 75 brix a 70-80º C y 26 pulg. de vacío, manteniendo color igual al original.

Para una producción de 40 t por día se necesita instalar 4 a 6 columnas de 1,5 m^3 , acero inoxidable cuyo costo es de 6000 USD, y un concentrador de 7 m^2 de superficie calórica, suficiente para el volumen de agua a evaporar por hora, es resto del equipamiento es instalación existente en la refinería.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Se considera hacer una extracción diaria de 36 m^3 de licor decolorado de 63 brix (46 t) equivalente a 29.4 t de sacarosa, que se pasa por un sistema de columnas cargadas con el biocatalizador y se invierte a 95 %, se concentra y se calcula el consumo de vapor.

Este volumen de licor se lleva a un sistema de 4 masas, donde se calcula la cantidad de azúcar recuperada, el consumo de vapor y la pérdida en sirope off. adicionalmente la cantidad de sacos a emplear y el gasto de electricidad en centrifugación, calculado el 20% del consumo total por ton de refino, que se estima de 100 a 120 kw / hora.
Para concentrar de 63 a 75% de sólidos hay que eliminar 16% de agua:
36000 (.16)= 5760 l 36000- 5760 = 31320 l sirope 75 Brix
Peso del sirope 31320(1.39)=43,539 t Agua evaporada 5.76 t

Cálculo: Agua evaporada y azúcar obtenida con los 36m^3 licor

Masa A	44% Azúcar	12.974 t	Agua	13.271 t	Miel A 16.673 t
Masa B	42% Azúcar	6.947 t	Agua	8.997 t	Miel B 9.520 t
Masa C	40% Azúcar	3.963 t	Agua	5.237 t	Miel C 5.995 t
Masa D	38% Azúcar	2.228 t	Agua	3.104 t	Miel D 3.631 t
Totales		26.162 t		28.609	

Insumos adicionales diarios respecto al sirope:
Diferencia vapor, simple efecto 22.8 t
Sacos para envasar producción 575
Pérdida sirope off 3.63 t

Calculando estos gastos para 150 días de operación, tendremos:
Sirope a producir en 150 días 6 525 t Azúcar no producida 3 924 t
Consumo adicional de vapor 22,8 (150) = 1 140 t
Sacos para envasar esta azúcar 575(150) = 86 250 sacos
Pérdida en sirope de off 3.63(150) = 544 t
Consumo eléctrico centrifugas 26.16(120)0.20(150) = 94131 kw

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

La primera ventaja que se obtiene es un aumento del peso del producto por un mol de agua en el proceso de hidrólisis de la sacarosa, además de las características inherentes al sirope invertido, mayor solubilidad, higroscopicidad, resistencia a la contaminación por mayor presión osmótica, menor viscosidad y punto de congelación, su facilidad de manipulación y almacenamiento.

Además, en el aspecto económico el ahorro en divisas por concepto de consumo de fuel oil, energía eléctrica y sacos, no es despreciable y el costo de inversión considerando los reactores y el concentrador asciende solamente a 11000 USD, por poder utilizar los equipos existentes en la fábrica. Adicionalmente al ahorro en insumos, se tienen utilidades por las ventas del azúcar o del sirope invertido.

Se obtiene un incremento en el peso bruto del producto de 1.4 % referido al del azúcar. La pérdida en sirope off en los cálculos realizados está dentro su entorno, y ésta no se produce en la producción del sirope. Efectuando un análisis económico que considere los impactos producidos por venta de las producciones de azúcar refino B o del sirope invertido rico en fructosa y los ahorros por concepto de vapor, energía eléctrica y sacos de propileno, se obtienen los resultados siguientes:

Considerando la venta de las 3 924 t de azúcar refino B producidas, equivalentes al azúcar contenida en la corriente de licor separada, se obtienen utilidades de 292 500 USD. Si producimos el sirope, por su venta, las utilidades de la misma es de 844 100 USD más los ahorros en insumos por electricidad, envases y fuel oil que aumentan los beneficios en 88 960 USD.

CONCLUSIONES.

La extracción de una línea de licor decolorado del proceso de producción de azúcar refino representa más ingreso para la fábrica por la venta de un producto con mayor valor agregado, disminución de insumos y la ventaja de poder ofrecer un producto adicional con múltiples aplicaciones en la industria alimentaria.

POSIBILIDADES DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA MAGNETICA INTEGRAL EN LA INDUSTRIA AZUCARERA
POSSIBILITIES OF APPLICATION OF INTEGRAL MAGNETIC TECHNOLOGY IN THE SUGAR INDUSTRY

Lic. Rafael Dunand Castellanos (ICINAZ)
Ing. Carlos M. Acea Fiallo (CUJAE)
Lic. Ricardo Martínez Aguila (CIME)
Ing. Alberto Pérez Govea (DITEL)
Dr. Israel Cepero Acan (ICINAZ)

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ)
Cuban Sugar Research Institute (ICINAZ)
director@icinaz.co.cu

Resumen

Desde el mismo comienzo, la aplicación del tratamiento magnético en la industria azucarera cubana ha estado fundamentalmente dirigida a la mitigación de los dañinos efectos que producen las incrustaciones calcáreas en las superficies de intercambio térmico. Sin embargo, han sido desentendidas o poco estudiadas otras muchas posibilidades que la citada técnica es capaz de proporcionar a un conjunto de operaciones involucradas en las tecnologías azucareras.

Entre los resultados producto de la aplicación de la Tecnología Magnética en la Industria Azucarera se han obtenido en los Sistemas de Evaporación ahorros del 50 % en los productos de limpieza (acido y sosa cáustica); debido a la utilización en la clarificación se prevén aumentos graduales en el rendimiento y el recobrado que pueden llegar hasta 2,5 %; debido a la utilización en licores de refineria se ha incidido favorablemente en lograr entre un 10 - 20 % en la reducción de insumos (cal, acido fosfórico, peroxido de hidrógeno, etc.) y en el caso de la utilización de colectores o trampas magnéticas en el azúcar se han logrado disminuir las impurezas ferrosas hasta 10 ppm.

Este trabajo está dirigido fundamentalmente a proporcionar una visión más completa y actualizada de las posibilidades de utilización del tratamiento magnético en la tecnología azucarera, con un concepto integral en aras de ampliar su campo de acción en busca de mayor eficiencia industrial.

Summary

From the very beginning, the application of magnetic treatment to the Cuban sugar industry has been focused mainly on the mitigation of the harmful effects produced by the calcareous scaling on heating surfaces. However, other many possibilities of application of such techniques to other operations involved in sugar technology have been ignored or given too little attention.

Among the results from the application of Magnetic Technology to the Sugar Industry, savings of 50% have been attained in consumption of cleaning products (acid and caustic soda) in the Evaporation Systems; from its application to clarification, gradual increases up to 2,5 % are expected in sugar yield and recovery; from its use in refinery syrups, savings ranging 10 to 20 % in process inputs (lime, phosphoric acid, hydrogen peroxide, etc.) have been reached; in the case of the magnetic collectors used to remove iron from sugar, ferrous impurities in sugar have been reduced down to 10 ppm.

The chief objective of this work is to provide a more complete, up-to-date view of the possibilities of magnetic treatment in sugar technology, with an integral concept for the sake of enlarging their action field in search of more industrial efficiency.

INTRODUCCIÓN.

Los resultados experimentales, recopilados a lo largo del tiempo, omo consecuencia de la acción del campo magnético demuestran un efecto sobre las soluciones acuosas y los sistemas dispersos en agua , lo que se manifiesta a través de la variación en las propiedades físicas y químicas de estos, incluidos aquellas que son la base de los fenómenos de transpote.
En el estudio de los diferentes efectos de la tecnología magnética sobre los diferentes procesos de la industria azucarera, una tarea primordial es esclarecer los parámetros a través de los cuales pueden evaluarse los efectos del campo magnético sobre el agua, jugo de caña, masa cocida y licores de refinería, substratos básicos en los procesos de clarificación, cristalización y refinación. Colateralmente además se han abordado aspectos sobre la depuración de partículas ferromagnéticas en azúcarindustrial, Por otra parte ya es una aplicación corriente la cual se ha generalizado exitosamente, la aplicación de la tecnología magnética en cuanto a sus efectos anticrustantes en los sistemas de intercambio calórico tales como las bombas de vacío, turbos generadores, sistema de alimentación de agua de calderas, calentadores y evaporadores.

Durante varios años en nuestro país se ha trabajado tanto a escala del laboratorio como industrial en la aplicación del tratamiento magnético a la Industria Azucarera especialmente en el Tratamiento de Aguas de Energéticas en la estación de calentamiento y evaporación. Se han realizado pruebas y experimentos en la extracción de jugos, clarificación y sobre la acción de determinadas bacteria y gérmenes en los jugos. También se ha realizado pruebas y experimentos industriales en la decoloración de licores en la industria refino. En estos campos de efectos se han logrado resultados alentadores.

A pesar de que desde que el punto vista práctico se han obtenido buenos resultados, la explicación teórica de la acción del campo magnético sobre el líquido sigue siendo una hipótesis, pues no están completamente esclarecidos los mecanismos a través de los cuales transcurren éstos efectos. Algunos intuyen que los efectos están relacionados con la propia naturaleza del agua o sustancia acuosa que fluye a cierta velocidad a través de un campo magnético y otros son partidarios de relacionar el efecto con la presencia de partículas coloidales ferromagnéticas que poseen una elevada susceptibilidad magnética.

En el momento actual estamos desarrollando un estudio integral sobre los efectos del tratamiento magnético en los substratos mencionados de la Industria Azucarera a fin de lograr el grado de conocimiento necesario para consolidar todas las aplicaciones que el tratamiento pueda brindar a la Tecnología Azucarera.

El ICINAZ, ha trabajo estrechamente con diferentes entidades productoras de dispositivos magnetizadores y centros científicos (CIME, DITEL, CNEA. IMRE, CUJAE) en la investigación, aplicación, evaluación y comercialización de esta tecnología tanto en el mercado nacional como latinoamericano.

Actualmente las entidades productoras de equipos magnetizadores en nuestro país con la colaboración del ICINAZ perfeccionan el funcionamiento y acabado de los mismos con vistas a entrar en un mercado competitivo. Además se trata de obtener mejores resultados en la aplicación de la tecnología magnética para disminuir costos de producción y aumentar la calidad de la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre los objetivos fundamentalmente del estudio integral se encontraban:

Evaluar las características de diseño, constructivas y operacionales de las tecnologías magnéticas existente en el país y que se aplican en la Industria Azucarera, especificando los beneficios que aportan sus diferentes variantes y las relaciones de mercado existentes con las entidades nacionales y extranjeras, incluyendo costos de producción y venta, ganancia, así como actualización sobre las firmas extranjeras productoras de tecnología magnéticas, el valor de sus ofertas y la competitividad de nuestras tecnologías contra las primeras.

Esclarecer los efectos del tratamiento magnético (TM.) en la viscosidad de las masas cocidas.

Esclarecer los efectos del TM. en la clarificación de jugo de caña, debido a su acción a Través de los principales parámetros de esta operación.

Evaluar los efectos del TM. y su influencia en la refinación de azúcar considerando como fundamental la reducción de insumos en la decoloración de licores.

Realizar estudios sobre efectos del TM. al nivel de laboratorio en jugos de caña, cocidas, y licores de refinería a fin de fijar parámetros para su aplicación industrial.

Evaluar diferentes trampas magnéticas con el fin de especificar las de mejor efecto en la extracción de partículas ferrosas en el colchón de azúcar.

Con este fin se debía valorar las siguientes cuestiones como fundamentales:

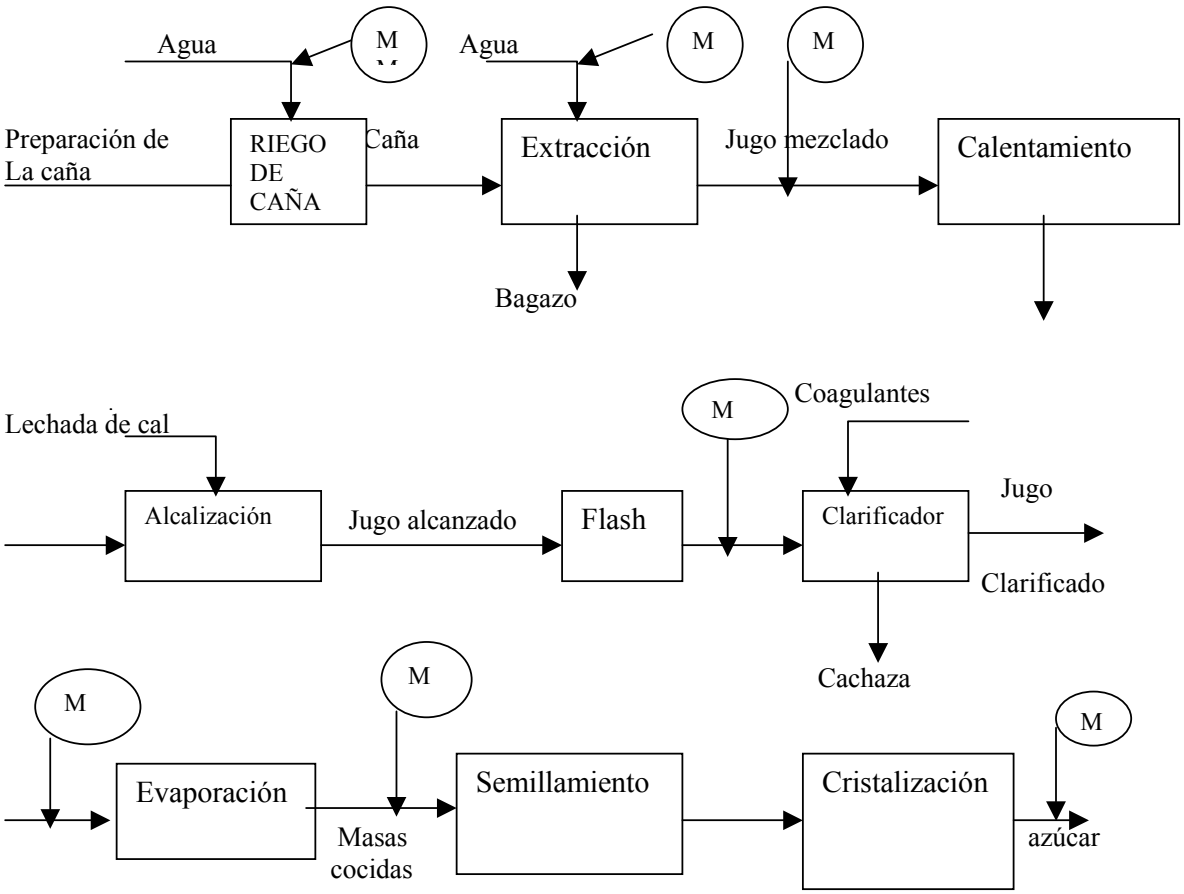
Los diferentes tipos de equipos magnetizadores que se producen en el país y que se están aplicando en las fábricas azucareras del MINAZ, así como se consideraran los efectos sobre los períodos de limpieza en los evaporadores, la reducción de insumos y sobre las características tecnológicas de esta área de fabricación. Por otra parte considerar las características de diseño de los equipos magnetizadores que se producen en el país por diferentes entidades que lo comercializan, así como valorar sus efectos en las diferentes áreas de la fábrica donde son aplicados dentro del proceso azucarero, Además evaluar diferentes trampas magnéticas producidas en el país con vistas a eliminar partículas ferrosas así como sus cualidades y características.

EL efecto del TM. sobre las distintas partículas del guarapo clarificado (dispersiones ordinarias, suspensiones coloidales y dispersiones moleculares e iónicas), también se considerarían los efectos en las cualidades fisicoquímica de la clarificación (precipitación y coagulación, asentamiento de residuos, cantidad de asientos, densidad y volumen de jugo claro), así como se tendrá en cuenta las incidencias sobre la sacarosa y azúcares invertidos, las incrustaciones en los evaporadores, la cristalización, formación de mieles en la fábrica, centrifugación, empleo de productos químicos para mejorar o acelerar el proceso de clarificación.
El efecto del TM. sobre la viscosidad de las masas cocidas de tercera a diferentes niveles de campo magnético y su acción sobre el recobrado y rendimiento industrial.

A nivel de fábrica y laboratorio valorar el efecto sobre la reducción de insumos en la aplicación de procesos tecnológicos en la producción de refino

Para efecto de la integración de la tecnología magnética es necesario analizar la tecnología azucarera como un gran número de operaciones unitarias en los cuales cada unidad influye en la que le precede.

Al analizar el diagrama de flujo típico para la producción de azúcar crudo surge la propuesta de emplear el tratamiento magnético, cuyos efectos físico-químicos favorecen la mayoría de los procesos de la tecnología azucarera tales como:



1.Riego de caña utilizando el efecto sobre la adsorción de nutrientes, brotación y crecimiento.
2.Agua de imbibición utilizando los efectos sobre la disolución y tensión superficial.
3.Jugo Mezclado y alcalizado utilizando los efectos sobre el pH, coagulación y floculación .
4.Jugo clarificado utilizando los efectos sobren el calor específico, temperatura de ebullición y calor latente y cristalización.
5. Masas cocidas utilizando los efectos sobre la viscosidad.
6. Obtención y transporte del azúcar con vista al aumento de la calidad al disminuir impurezas.
USO DE LA TECNOLOGÍA MAGNÉTICA ANTI-INCRUSTANTE.

Hoy nos encontramos que de los 104 centrales que molieron en la zafra 2001-2002, 101 aplicaron el magnetismo:

Las variantes mas generalizadas para el tratamiento a jugo de caña en los sistemas de evaporación de los centrales son las tecnologías DIMAG y MAGCIME con TMS, diferenciándose este ultimo en que es ajustable a las cualidades del jugo de caña (contenido de impurezas) .

Debido a su aplicación:

Se ha obtenido un alargamiento de los ciclos de limpieza en comparación con los históricos, lo cual a incidido en el ahorro de productos químicos de los evaporadores, lo cual incide favorablemente en el costo de los productos químicos utilizados por ton. de caña procesada y por ende en la disminución del costo por ton. de azúcar producida.

Hubo una disminución del costo de productos químico por ton. de caña molida hasta un 29% para el ácida, y hasta un 80% para la sosa cuando se aplica el tratamiento magnético, lo cual favorece la disminución de los costos de la producción de azúcar.

La aplicación del magnetismo en los sistema de evaporación dentro de la Industria Azucarera ha demostrado su eficiencia técnica y económica en nuestro país según los resultados alcanzados en los siguientes indicadores:

- Ahorro de energía (bagazo), que se requiere para la limpiezas.
- Disminución del consumo de productos empleados en la limpiezas (ácido y sosa).
- Menor recambio de placas y tubos de calentadores y evaporadores.
- Incremento del tiempo efectivo de producción (azúcar adicional)
- Reducir tiempo de trabajo (salario).
- Reducir gastos por conceptos de tratamiento dados por el vertimiento al medio ambiente de los productos residuales de limpiezas.

USO DE COLECTORES Y TRAMPAS MAGNÉTICAS PARA LA EXTRACCIÓN DE PARTÍCULAS FERROMAGNÉTICAS EN EL AZÚCAR.

En el proceso tecnológico de fabricación de azúcar en los centrales uno de los grandes inconvenientes que existen para obtener buena calidad del producto es la presencia en él de partículas ferromagnéticas. Esto se debe a que existen algunos pasos en el proceso productivo que incorporan grandes cantidades de partículas ferrosas dadas por los desprendimientos de óxidos que se originan en las paredes de recipientes y conductos debido a que los mismos están fabricados de acero negro. Esta situación conspira contra las aspiraciones de lograr un producto cada vez más ecológico.

El principio utilizado es la captura de partículas ferrosas por campos magnéticos, una vez que dicha partícula penetre en ellos. Para garantizar que este fenómeno de penetración sea mucho más probable se colocan los Colectores o trampas magnéticas dentro del volumen de azúcar o meladura en movimiento y se garantiza en el diseño que en todas las secciones de paso para estos productos haya presencia de campo magnético, con intensidad suficiente, para lograr la captura.

La cuantía del beneficio que han aportado estos equipos a nuestra Industria Azucarera no ha podido determinarse con exactitud, pero se han logrado valores de estas partículas ferromagnéticas en azúcar menores de 10 ppm, por el momento nos limitaremos a señalar aquellos aspectos de mayor incidencia de manera cualitativa.

- Mejoramiento de la calidad del azúcar.
- La disminución o eliminación de las partículas ferrosas es uno de los aspectos que ofrece a nuestra azúcar la categoría de exportable.
- Garantía de una de las normas sanitarias que se exige al azúcar para su consumo.
- La estimulación que reciben los centrales por concepto de calidad de sus producciones sobrepasa con creces el costo de la solución.
- Aumento de la cantidad de azúcar a la venta al disminuirse o hacerse cero la cantidad del producto rechazado por contaminación.

REALIZACIÓN DE ESTUDIOS A NIVEL DE LABORATORIO Y FABRICA DE LOS EFECTOS DEL TRATAMIENTO MAGNÉTICO EN LA CLARIFICACIÓN, REFINACIÓN Y VISCOSIDAD EN MASAS COCIDAS.

Durante la zafra 2001-2002 se realizaron las coordinaciones en el CAI Pablo Noriega y con el laboratorio del ICINAZ, ambos ubicados en La Estación de Quivicán, para realizar la caracterización del jugo mezclado y miel B en dicho ingenio.

Esta evaluación tuvo como objetivo: el poder conocer los intervalos, en los cuales varían las magnitudes que caracterizan al jugo mezclado y las viscosidades de las miel B , sobre las que el campo magnético puede actuar, en aras de lograr un equilibrio químico más propicio y reducir viscosidad , con el que se favorezca el proceso de purificación y cristalización, las investigaciones en este sentido continúan durante los próximos años. Se prevé que se puedan obtener ingresos correspondientes a cantidades adicionales de azúcar por estos efecto de la magnetización en los diferentes equipos en los cuales se instalaran los magnetizadores que se reviertan en aumentos graduales en el rendimiento y el recobrado que pueden llegar en ambos casos hasta 2,5 %.

En la refinería del CAI M. M. Prieto se continuó desarrollando una investigación comenzada en los años 96 -97, dirigida a la implementación del tratamiento magnético como un elemento de apoyo tecnológico al proceso de purificación de los licores crudos.

Con este fin, se realizaron un gran número de mediciones, para diferentes configuraciones magnéticas y en un amplio intervalo de valores de inducción magnética.

Las investigaciones para el estudio de los efectos de la decoloración del TM en la producción de refino se basan en el hecho de la existencia en los mismos de sustancias coloidales las pueden ser alteradas favorablemente por las variaciones que ocasiona el campo magnético sobre el eléctrico asociado al mismo. Este comportamiento se reporta en la literatura comercial para el tratamiento de aguas y ha sido corroborado en estudios de refinería, a nivel de laboratorio para la operación de clarificación de licores.

En el caso de licores de refinería que emplean fosflotación y refino B (CAI Camilo Cienfuegos y MM. Prieto), se obtuvo entre un 15-35 % menor en el incremento del color producido por la concentración en el caso del TM, eso puede incidir favorablemente en lograr entre un 10 –20 % en la reducción de insumos de refinería (cal, ácido, fosfórico, peróxido de hidrógeno, etc.).

CONCLUSIONES.

1. La aplicación del magnetismo en los sistemas de evaporación dentro de la Industria Azucarera ha demostrado su eficiencia técnica y económica en nuestro país según los resultados alcanzados en sus aplicaciones en este sentido:

2. las investigaciones en el campo de la clarificación y de las masas cocidas continuaran durante los próximos años. Se prevé que se puedan obtener ingresos correspondientes a cantidades adicionales de azúcar por estos efecto de la magnetización en los diferentes equipos en los cuales se instalaran los magnetizadores que se reviertan en aumentos graduales en el rendimiento y el recobrado que pueden llegar en ambos casos hasta 2,5 %.

3. La cuantía del beneficio que han aportado los colectores o trampas magnéticas a nuestra Industria Azucarera no ha podido determinarse con exactitud, pero se han logrado valores de estas partículas menores de 10 ppm, por lo que incide favorablemente en la calidad del azúcar.

4. En el caso de licores de refinería que emplean fosflotación y refino B (CAI Camilo Cienfuegos y M.M Prieto), se obtuvo entre un 15-35 % menor en el incremento del color producido por la concentración en el caso del TM, eso puede incidir favorablemente en lograr entre un 10 –20 % en la reducción de insumos de refinería (cal, ácido, fosfórico, peróxido de hidrógeno, etc.).

5. La integración de los efectos producto del tratamiento magnético puede incidir en mayor eficiencia industrial al mejorar todos los parámetros tecnológicos dentro de la producción azucarera tanto de crudo como de refino, amen de aplicaciones en otras áreas dentro de la diversificación azucarera.

RECOMENDACIONES.
Integrar el uso de la tecnología magnética con vista a obtener mayores beneficios económicos en su conjunto al utilizar todas sus posibilidades en las fábricas azucareras

IMPACTO ECONÓMICO, AMBIENTAL Y SOCIAL.
Para un central como fue el CAI Pablo Noriega los resultados económicos obtenidos durante la evaluación de la tecnología magnética durante la zafra 98-99 (solo en producción de crudo), en la cual se utilizaron 9 equipos magnetizadores de ellos 9 en el sistema de evaporación y 3 en el sistema de calentamiento, se obtuvieron los siguientes resultados:

Considerando los ahorros cuantificables contra el costo de la tecnología magnética , la recuperación de la inversión para la fábrica azucarera de crudo seria en menos de una zafra, si cuantificamos los beneficios por los efectos en otras áreas de la fábrica como es en el sistema de enfriamiento de bombas, agua de alimentación de calderas, clarificación de jugo, mieles y cristalización, lo que puede repercutir en aumento del rendimiento y recobrado y por ende en la eficiencia industrial, asi como en mas rápida recuperación de la inversión producto de la tecnología magnética .

REFERENCIAS:

1. Dunand, R y col. (1999). El campo magnético y su utilización como método para inhibir la incrustaciones en instalaciones de intercambio calórico de las fábricas azucareras. Industria Azucarera No.2
2. Martínez, A. R (1999). Tecnología Magnética Bipolar en procesos de la Industria Azucarera METANICA 99. La Habana. Cuba.
3. Nuevo Tecnomag (1995). Informe Técnico, México, Distribuidor en Cuba, grupo JISA. S.A.
4. Cepero Israel (1994) - Programa "Magnetismo del MINAZ".
5. Rubio, E., Morales, M (1997) .Aplicación del tratamiento magnético en la refinería de azúcar. 42 Conferencia ATAC.

ALTERNATIVAS DE OBTENCION DE GLUCOSA PARA LA FABRICACION DE SORBITOL EN CUBA

Lic. Alberto Fariñas Bermúdez
Ing. Rubén Monduí González

INSTITUTO CUBANO DE INVESTIGACIONES AZUCARERA
E-mail: albertof@icinaz.co.cu y monduy@icinaz.co.cu

RESUMEN

Se analiza la situación actual de la producción de glucosa que se destina a la fabricación de sorbitol en Cuba.

Se hace un breve análisis de las dos tecnologías actualmente en explotación para producir glucosa, la de cristalización a partir de sacarosa en dos plantas existentes en el país y la enzimática a partir del almidón de maíz, las producciones de estas están en el entorno de unas 1 300 t/año, se presentan las ventajas y desventajas de ambos procedimientos desde el punto de vista tecnológico y de calidad del producto obtenido, así como el efecto de este último en la producción de sorbitol.

Son analizados otros procesos tecnológicos para obtener glucosa tal como el de separación cromatográfica y otras alternativas.

Todas las variantes analizadas tienen como objetivo lograr que la planta de sorbitol, logre producir por encima del 90 % de su capacidad instalada, lo que pontenciaría la diversificación azucarera cubana.

Palabras claves: glucosa, sorbitol, almidón

ALTERNATIVES OF GLUCOSE OBTAINING FOR THE MANUFACTURE OF SORBITOL IN CUBA

Lic. Alberto Fariñas Bermúdez Ing. Rubén Monduí González

CUBAN SUGAR RESEARCH INSTITUTE
e-mail: albertof@icinaz.co.cu and monduy@icinaz.co.cu

Abstract

This work analyzes the present situation of glucose production destined to manufacture of sorbitol in Cuba.

A brief analysis is made of the two technologies operating at the moment to produce glucose: that of crystallization from saccharose in two existing plants in the country and the enzymatic one from corn starch, each of then with production capacity around 1 300 t/year. The advantages and shortcomings of both procedures are shown from the standpoints of the technological, the quality of the product, and the effect of this on the production of sorbitol.

Other technological processes are analyzed to obtain glucose, such as that of chromatographic separation and other alternatives.

All the analyzed have the of obtaining productions greater than gain to produce by over of 90 % of their installed capacity, with a view to fortify the Cuban sugar diversification.

Key words: glucose, sorbitol, starch

ALTERNATIVAS DE OBTENCION DE GLUCOSA PARA LA FABRICACION DE SORBITOL EN CUBA

Alberto Fariñas Bermúdez y Rubén Monduí González

Albertof @icinaz.co.cu y monduy@icinaz.co.cu

Introducción

El sorbitol es una sustancia empleada en la industria farmaceútica y tambien se utiliza como materia prima para la fabricación de diversos productos tales como: vitamina C, pasta dental, chocolates, helados, polímeros, pinturas, anticongelantes, cosméticos, bebidas, etc (Hough 1979).

Desde principios de la década del noventa en Cuba se instaló una planta para fabricar sorbitol con una capacidad de producción de 10 000 t/año del producto al 70 %. Esta planta opera por debajo del 20 % de su capacidad instalada por déficit de glucosa.

En este trabajo se hace un análisis de los dos procesos tecnológicos implementados en Cuba para obtener glucosa, uno que utiliza como materia prima la sacarosa y otro que parte del almidón de maíz.

Utilizando la sacarosa se puede obtener la glucosa mediante la inversión ácida o enzimática del disacárido y cristalizando la glucosa, se obtiene también un Sirope Rico en Fructosa (SRF), que se emplea como sustituto del azúcar en la industria alimenticia.

El procedimiento mas difundido en el mundo para obtener glucosa es aquel que utiliza almidón. Mediante tratamientos enzimáticos controlados este es convertido en glucosa con gran eficiencia, en el proceso se obtienen subproductos para la alimentación animal.

Se analiza otra tecnología (Herve 1988) que puede dar solución a la demanda de glucosa por parte de la planta de sorbitol, así como la calidad de los productos y las ventajas y desventajas de todos los procesos discutidos.

Producción de Glucosa en Cuba

En Cuba se produce glucosa en tres plantas, dos de ellas a partir de sacarosa con una producción de alrededor de las 1 000 TM anualmente entre ambas (Rodríguez 1996). La tercera planta utiliza como materia prima el almidón de maíz, la producción de esta última depende de las cantidades disponibles de maíz para este fin y su producción para la planta de sorbitol es de unas 1 300 TM/año de solución de glucosa al 65 % de sólidos solubles. Seguidamente se hace una breve descripción de estos procedimientos.

Proceso con sacarosa

Hidrólisis: El azúcar se disuelve en los tanques destinados para este fin los cuales están provisto de agitación y calentamiento con vapor, se le añade ácido fosfórico y se calienta a una temperatura de 85 - 90 ^{o}C. El azúcar se invierte en alrededor de un 95 % y la solución es bombeada hacia los cristalizadores donde se efectúa la primera cristalización de la glucosa.

Primera Cristalización: Los cristalizadores utilizados en esta etapa son de 50 m^3. La cristalización de la glucosa se realiza a temperatura ambiente, la masa se forma lentamente. Esta etapa del proceso demora 18 – 20 días, después de este tiempo la masa posee aproximadamente un 20 % de cristales. Estudios de planta piloto realizados en el ICINAZ, han demostrado que este tiempo se reduce a 12 días si la solución se mantiene en los cristalizadores todo el tiempo a 20 ^{o}C.

Filtración: La separación de los cristales de glucosa formados se realiza en un filtro prensa. La glucosa aquí se obtiene con una pureza de 67 – 70 % (contenido de glucosa) por lo que es necesario recristalizarla.

Las tortas de glucosa formadas son descargadas en un tanque provisto con agitación y calentamiento con vapor para su disolución. La solución preparada es enviada a los cristalizadores donde se efectúa la segunda cristalización.

Durante la filtración de la glucosa, se obtiene el SRF con las siguientes características.

Concentración ---------- 74 – 75 %
Contenido de fructosa ---------- 55 % (b.s.)
Contenido de glucosa ---------- 40 % (b.s.)
Contenido de sacarosa ---------- 5 % (b.s.)
PH ---------- 3.0

Segunda cristalización: La segunda cristalización de la glucosa aunque también es lenta, es más rápida que en la primera, demora unos siete días y también a temperatura ambiente. La masa formada tiene aproximadamente 22 – 24 % de cristales. La misma se envía al mezclador de la centrífuga para su centrifugación.

Centrifugación: La centrifugación de la glucosa se efectúa añadiendo a la misma unos 200 Kg de masa/carga y un tiempo de purga de unos15 min. El sirope que se obtiene en la centrífuga es enviado a los cristalizadores de primera cristalización donde se mezcla con el azúcar invertido.

El producto se pesa y se envasa en sacos de 50 Kg.

La glucosa aquí obtenida tiene las siguientes características:

Es monohidratada
Humedad ---------- 3 – 3.5 %
Contenido de glucosa ------ 92 – 94 %
Contenido de fructosa ----- 6 – 8 %
Color ---------- 160 – 200 ICUMSA

Ventajas de este proceso:

- La glucosa se obtiene sólida, por lo que se puede almacenar por varios meses.
- Se obtiene también SRF.
- No se producen residuales de ningún tipo

Desventajas

- Demora mucho tiempo la cristalización.
- Existe mucho material en proceso.
- En la glucosa se concentran todos los insolubles que posee el azúcar disuelta.

Proceso con almidón de maíz

La planta que produce glucosa a partir de almidón de maíz es de tecnología sueca y data de la década del 70. El equipamiento se encuentra en buen estado técnico y tiene una capacidad de producción cercana a las 20 000 t de glucosa/año. Ha producido siempre muy por debajo de su capacidad instalada debido a déficit de maíz.

En síntesis el flujo tecnológico es como sigue:

Procesamiento del maíz: El maíz es remojado y mojado con agua sulfurosa y posteriormente molido y purificado donde se incluye la sedimentación, filtración y centrifugación. Se obtiene aquí una lechada de almidón con aproximadamente 30 % de materia seca.

Como subproductos se obtiene gluten, germen y forraje (incluyendo el licor de remojo) que se utilizan como alimentación animal.

Tratamiento del almidón y obtención de glucosa: A la lechada obtenida se le adiciona una primera enzima la que fracciona la molécula de almidón en un convertidor a una presión de 25 at. y a una temperatura de 105 ^{o}C. Mediante un ajuste de pH se desactiva la enzima. Seguidamente se adiciona una segunda enzima que lleva las moléculas fraccionadas hasta glucosa.

La solución de glucosa es enviada a los tanques de sacarificación y de ahí a un proceso de pasteurización, primero a 105 ^{o}C y dos pases a 80 ^{o}C. La solución resultante se centrifuga para eliminar las proteínas y se le adiciona carbón para su posterior filtración en un filtro Oliver, seguida de una filtración de seguridad.

La solución filtrada se concentra en un concentrador de película descendente. De esta última operación se obtiene un producto con 65 % de sólidos solubles, el cual es almacenado.

Características de la glucosa:

Concentración ----------65 %
Contenido de glucosa ---------- 92 – 94 %
Color ----------180 – 200 ICUMSA
Otros sólidos solubles ---------- 6 – 8 %
(Dextrinas, maltodextrinas, etc.)

Ventajas del proceso:

- El procesamiento del material se hace en dos días.
- Se obtienen importantes subproductos para la alimentación animal.
- No es necesario disolver y filtrar la glucosa en la planta de sorbitol.

Desventajas

- Es necesario mantener los tanques de almacenaje ligeramente calientes para evitar la precipitación de la glucosa.
- Se produce un volumen considerable de residuales.
- La producción de la planta depende del precio del maíz que se importa para este fin.

La glucosa que se produce en las plantas existentes es insuficiente para sorbitol, es por esto que se han analizado nuevas alternativas para producir por otras vías, entre ellas está la Tecnología por separación cromatográfica.

Proceso de Separación Cromatográfica

Esta es una tecnología que oferta la firma Applexion para producir 7 000 t de glucosa (b.s.) y que utiliza como materia prima la sacarosa, en síntesis es como se describe a continuación.

Disolución, desmineralización y decoloración del azúcar: El azúcar se disuelve a 57 ^{o}Bx y a 70 ^{o}C con agitación y calentamiento con vapor. Posteriormente la solución se filtra y se pasa por un lecho mezclado constituido por dos columnas de intercambio iónico para su desmineralización y decoloración. Esta solución es enviada a los tanques de inversión.

Inversión de la sacarosa: Aquí se emplean enzimas libres con un tiempo de contacto de 48 horas, de esta forma se logra la inversión de la sacarosa prácticamente en su totalidad.

Separación cromatográfica: Esta etapa del proceso está constituido por 4 columnas de doble compartimiento con resinas de intercambio iónico. En esta estación se separa una solución de glucosa de 24.1 % de sólidos solubles (98 % de glucosa), de otra de fructosa con 25 % de sólidos solubles.

Tratamiento de la solución de glucosa: La solución se desmineraliza y se decolora utilizando un lecho mezclado similar al empleado en el tratamiento del azúcar disuelta, posteriormente se envía a un concentrador de película descendente para así obtener una solución de glucosa con las siguientes características:

Concentración ---------- 50 % (s.s.)
Contenido de glucosa ---------- 98 % (b.s.)
Contenido de fructosa ---------- 2 % (b.s.)
Color ---------- 30 ICUMSA

Tratamiento del Sirope Rico en Fructosa: La solución de fructosa se trata por un lecho mezclado, se le hace un pulido con carbón y se filtra por último se concentra antes de su almacenamiento. Se obtiene aquí un SRF de alta calidad, algunas de sus características son:

Concentración ---------- 77 % (s.s.)
Contenido de fructosa ---------- 86.7 % (b.s.)
Contenido de Glucosa ---------- 13.3 % (b.s.)
Color ---------- 20 ICUMSA

Parte del equipamiento de esta tecnología no es necesario adquirirla, debido a que se puede utilizar algunas de las instalaciones de la fábrica de sorbitol en este proceso, tales como:

- Lecho mezclado para el tratamiento de la solución de glucosa.
- Lecho mezclado para el tratamiento del SRF.
- Además de algunas bombas y tanques para productos químicos.

Ventajas del proceso

- Una planta de estas características produciría toda la glucosa que demanda la planta de sorbitol.
- La glucosa que se obtiene es de alta calidad, la planta de sorbitol tendría menos gastos en su procesamiento.
- La cantidad de material en proceso es mínimo.
- No sería necesario almacenar glucosa si la planta se instala anexa al sorbitol.

Conclusiones

1. Se ha hecho un análisis de la problemática glucosa – sorbitol.
2. Existen posibilidades de aumentar la producción de glucosa en Cuba, fundamentalmente en la planta que utiliza almidón de maíz debido a su elevada capacidad productiva.
3. La planta de sorbitol se encuentra en magníficas condiciones técnicas para asimilar toda la glucosa que demanda su capacidad instalada.

Referencias

1. Hough, C. M., Parker, K. J., Vlitos. A. J. (1979). Developments in Sweeteners. 1ra ed. Appied Science Publishers. London .

2. Rodríguez, R. y Fariñas, A. (1996). Tecnología para la producción de glucosa y Sirope Rico en Fructosa. Memorias Diversificación 96.

3. Herve D. (1998) Planta de glucosa por separación cromatográfica. Oferta Applexion, MINAZ

LOS JUGOS DEL FILTRO: POSIBILIDADES DE DIVERSIFICACIÓN
THE JUICE FILTER: DIVERSIFICATION POSSIBILITY

Raquel Fernández Escalona, Juana Valdés Canales.

Instituto de Investigaciones Azucareras (ICINAZ)

SUMMARY

Traditionally juice filter has been represented one serius problem in the sugar cane factory for the necessary recicle this material with high acid edge and low cuality in purity. The use of the filtrate in the alcohol industry can be one very atractive solution.

The elimination of juice filter will produce:

- Decrease the vapour consumption in 15%.
- Aditional bagasse.
- Short retention time clarifiers.
- The viscosity is reduced.
- More quality in sugar production.
- To reduce the sucrose loss.
- The gallons of molasses is lo

This test confirmed the possibilitiesof diversification of juice filter with high efficiency process to sugar cane production.

KEYWORDS
Juice filter, polyelectrolyte, settli.

RESUMEN

Tradicionalmente los jugos de los filtros siguen representando un dilema para los productores de azúcar; por la necesaria recirculación de estos fluidos de elevada acidez y bajas purezas. El empleo de estos filtrados en la producción de alcoholes puede resultar una solución atractiva.

La eliminación de los jugos de los filtros posibilitará:

- Ahorro de vapor de aproximadamente 15%.
- Un sobrante de bagazo.
- Incremento de la cinética de la clarificación.
- Mejoramiento de las viscosidades.
- Reducción de las pérdidas en mieles.
- Menor galonaje de mieles.
- Producción de azúcar con mayor calidad.

Las pruebas realizadas demostraron la posibilidad de diversificación los jugos del filtro, mejorándose la eficiencia fabril.

PALABRAS CLAVES
Jugo del filtro, polielectrolito, sedimentación.

INTRODUCCIÓN

Históricamente los jugos del filtro han representado un dilemas para los productores de azúcar, debido a la necesaria recirculación de este material de baja calidad y con ello la disminución de la eficiencia fabril. A pesar de los diferentes cambios en el manejo de la cachaza, el empleo de los filtros rotatorios al vacío continúan ocupando su espacio universal aunque los filtrados no quedan lo suficientemente claros para pasar directamente a los evaporadores y tienen que retornar a los clarificadores con los inconvenientes que esta práctica acarrea. Cualquier método con los que se obtienen filtrados claros se han adoptados rápidamente pero todos ellos conspiran contra los costos de producción de azúcar.

Estudios realizados por Crees (1983) hablan a favor de retomar la recirculación de los jugos del filtro, siendo esta práctica considerada uno de los avances logrado en la industria azucarera en Sudáfrica. En Cuba, se recomendó enviar los lodos del clarificador hacia el colchón de bagazo en el tándem por Monduí y colaboradores (1998).

La eliminación de los jugos de los filtros según estudios realizado por Rodríguez (1985), posibilitará:

- Ahorro de vapor de aproximadamente 15%.
- Un sobrante de bagazo.
- Incremento de la cinética de la clarificación.
- Mejoramiento de las viscosidades.
- Reducción de las pérdidas en mieles.
- Menor galonaje de mieles.
- Producción de azúcar con mayor calidad.

El proceso de diversificación de la industria azucarera implica necesariamente la utilización de los jugos del filtro para otras producciones como: licores, vinos alcoholes, etc.

MATERIALES Y METODOS

Se ensayaron en el laboratorio el tratamiento a jugos del filtro muestreados en los centrales " Pablo Noriega" y " Héctor Molina" de acuerdo a la siguiente metodología:

1. Ajuste del contenido de sólidos solubles (ºBrix) entre 7 y 13, valores donde la sedimentación es buena reportados por Haces y Navarrete (1988).
2. Alcalización hasta un pH entre 7.8 y 8.0 UpH con lechada de cal 4ºBaumé. Rango donde la sedimentación es considerada por Haces y Navarrete (1988a) como óptima.
3. División de la muestra en porciones de 1 litro.
4. Calentamiento hasta alcanzar una temperatura de 95ºC en una hornilla.
5. Adición de 10 ppm del floculante Quimifloc-400 a partir de soluciones 0.1%. Concentración recomendada por Fernández y colaboradores (2000).
6. Verter el jugo en una probeta graduada de 1 litro de capacidad para el estudio cinético.
7. Se separa el líquido del sedimento a los 30 minutos para su caracterización:

Jugo claro: ªBrix, Pol, Pureza, pH, % de Insolubles, Color ICUMSA, Reductores % Brix y Polisacáridos (y/o Almidón y Coloides).
Fango: Relación sólido- Líquido

RESULTADOS y DISCUSIÓN

C.A.I. "Pablo Noriega"

Tabla I. Caracterización de los jugos del filtro

ºBrix	% Pol	% Pza	PH	Reductores % Brix	% Insolubles	Color ICUMSA	Polisacáridos % Brix
12.78	7.70	71.98	6.40	-	2.06	2 350	0.34
12.03	8.60	71.48	6.35	-	2.55	-	-
13.04	9.20	70.55	6.70	0.05	4.87	1 766	-
7.75	6.20	79.79	7.00	0.04	-	219	0.38
9.18	6.30	68.62	7.25	0.03	2.75	178	0.48
8.64	6.40	74.07	6.95	0.03	2.50	168	0.26
7.85	5.85	74.35	6.35	0.05	2.40	256	0.32
9.26	6.50	70.19	6.55	-	2.63	131	-
7.39	5.20	70.36	7.40	0.05	3.53	148	-
8.93	6.10	68.30	6.60	0.05	-	196	0.39

Nº de muestras 40

La pureza alcanza un máximo de 85.2 y un valor mínimo de 61.97. Los valores altos de las pureza pueden explicarse, entre otras, por los altos tiempo de retención en el clarificador. Debe señalarse que la situación de altas purezas se repiten en varios centrales visitados, presentando Noriega una situación aceptable.

La acidez de los jugos del filtro se evidencia en el 59% de las mediciones, pero continúan sus valores dentro del rango aceptados como buenos.

Una vez eliminada la turbidez de los filtrados muestran un bajo de color en general.

Tabla II. Cinética de la sedimentación

Sk cm/min	Vs %	Análisis cualitativo	Variedades
1.60	48	-	J,T,C.P
0.22	83	-	J,T
0.16	77	-	J,T,C.P,C,B
2.43	41	-	J,B
0.43	66	Claros	J,C.P,B
0.72	56	Turbios	J,B,T
2.74	42	Claros	J,C,B
2.92	68	Claros	J,T,C.P,B,M
0.19	**85**	Muy turbios	J,T,C.P,B,M
4.53	**22**	Muy claros y brillantes	J,B,M

Nº de muestras: 35
J: Jaronú B: Barbados T: Tayabito C: Cuba C.P: Canal Point

La variabilidad de la materia prima tuvo una marcada incidencia en el comportamiento cinético de los filtrados. Como se observa, la velocidad de sedimentación (Sk) alcanza valores desde 0.13 cm/min (jugos muy refractarios) hasta 4.53 cm/min (valor comparable a jugos mezclado con muy buena clarificación) en correspondencia los volúmenes de sedimentos (Vs), están entre 88% y 22% con un rendimiento de jugo claro es de 78% si se combina convenientemente las variedades Jaronú-Barbados-Mayarí.

Tabla III. Caracterización de los claros sedimentados.

ºBrix	% Pol	% Pza	PH	Reductores % Brix	% Insolubles	Color ICUMSA	Polisacáridos % Brix
12.28	9.80	79.80	6.8	-	0.77	5 225	0.43
8.02	6.60	82.29	-	-	-	-	-
8.78	5.70	64.22	-	-	-	-	-
8.04	6.50	80.24	7.4	0.03	-	446	0.29
8.93	6.30	70.74	7.4	0.03	0.72	603	0.28
8.64	6.50	75.23	7.5	0.03	0.54	398	0.33
7.89	6.30	79.84	7.2	0.05	-	685	0.17
9.56	7.00	72.22	7.4	0.03	0.42	413	-
8.14	6.50	79.83	7.5	0.04	0.97	443	-
8.93	5.60	64.51	7.4	0.05	-	434	-

Nº de Muestras: 31

El aumento de la Pureza es indicador de las altas remociones de insolubles entre otras.; existiendo gran variabilidad en la caída de pureza de los jugos del filtro con su clarificado como respuesta a las características de la materia prima.

La caída del pH es de 0.4 Unidades como promedio.

No puede establecerse ninguna tendencia en el comportamiento de los Polisacáridos % Brix

Tabla IV. Característica organolécticas de los fermentados.

Jugos	ºBrix	Reductores .....% Brix	Color ICUMSA	Turbidez	PH
Filtro	11.98	0.05	173	73	6.9
Clarificados	10.93	0.06	3 418	49	7.1
Fermentados sin nutrientes	5.67	0.12	1 047	82	4.0

Análisis Cualitativo de los fermentados :
Color: Amarillo brillante.
Sabor: A vino seco.

C.A.I " Héctor Molina"

Tabla V. Caracterización de los jugos del filtro.

ºBrix	% Pol	% Pza	pH	Reductores % Brix	Insolubles %	Coloides %	Almidón Mg/100ºBx	Color ICUMS A
12.4	9.50	76.3	7.3	0.051	2.52	1.25	350	1 846
12.8	10.7	83.3	7.0	0.051	2.53	1.56	342	3 .950
13.0	9.7	75.0	7.1	0.046	4.36	1.40	375	2 952
13.6	11.8	87.0	7.0	0.053	2.22	1.08	453	2 617
13.8	11.9	86.5	7.0	0.056	2.61	1.56	446	2 251
14.2	11.9	83.80	6.2	0.039	4.63	1.57	189	2 078
11.96	9.80	81.93	6.4	0.036	4.28	1.56	149	2 341
11.39	9.75	85.60	6.5	0.051	4.20	2.15	-	-
11.75	9.75	82.97	7.0	0.041	1.97	1.49	-	-
13.64	11.2	82.47	6.5	0.041	2.42	1.63	-	-

Nº Muestras: 20

Tabla VI . Análisis Estadístico

Etapa Nº1

Parám.	ºBrix corr.	Pol%	Pza%	PH	Red %Brix	Ins. %	Color U.C	Coloides%	Almid mg /100ºBrix
Nº	10	10	10	10	10	10	10	9	10
X_{media}	13.2	10.7	81.6	7.12	.049	2.57	2 641	1.51	365
Varianza	.746	.62	22	.025	$3x10^{-5}$	.536	$2.2x10^{5}$	0.05889	3328
Desviac.	.863	.806	4.69	.158	$5x10^{-3}$	.732	478.59	0.2426	57.6
Mínimo	12.4	9.5	74.2	7.0	0.04	1.72	1 846	1.08	290
Máximo	15.2	11.9	87.0	7.5	0.56	4.36	3 435	1.89	453
CV(%)	6.5	7.5	5.7	2.2	10.2	28.5	18.1	16.06	15.7

Etapa Nº2

Parám.	ºBrix corr.	Pol%	Pza%	PH	Red %Brix	Ins. %	Color U.C	Coloides%	Almid mg /100ºBrix
Nº	10	10	10	10	10	10	5	10	5
X_{media}	12.4	10.4	83.7	6.6	0.043	3.15	1984	1.57	152.78
Varianza	1.45	.418	4.43	.118	2.6E-5	1.82	2.01E5	0.076	1158.2
Desviac.	1.21	0.97	2.10	.343	5E-3	1.35	448.6	0.276	34.0
Mínimo	10.9	9.3	80.4	6.2	0.036	0.20	1231	1.14	108
Máximo	14.3	12	88.0	7.2	0.052	4.63	2418	2.15	189
CV(%)	9.7	9.3	2.5	5.2	11.6	42.8	22.6	17.5	22.2

Las purezas de los filtrados son en general altas alcanzando valores de hasta 88%. Estas cifras son atribuibles (entre otras) a las retenciones en el clarificador lo que genera una reabsorción de la sacarosa por los lodos, a formación de polisacáridos que falsean la lecturas polarimétrica y también a las características de la materia prima. No debe perderse de vista que este indicador sólo tiene valor comparativo por tratarse de materiales de baja calidad.

El grado de acidez de los filtrados depende del grado de deterioro de la caña molida, durante la caracterización se muestrearon jugos en dos etapas (antes y después de la lluvia) sin embargo, se

mantuvieron en el rango de 6.2 a 7.5 el valor de 6.2 unidades de pH se corresponde a después de una parada de mas de 48 horas.

Una vez eliminada la turbidez los filtrados muestran un bajo color en general.

Se destaca en los que los contenidos de almidón se reducen a la mitad en la segunda etapa evaluada. La acumulación de almidón es una función varietal siendo, lo que no pudo ser constatado el en presente estudio al no poderse discernir acerca de las variedades molidas.Al C.A.I. "Héctor Molina" tributan caña varias CPA, CCS y UBPC algunas de las cuales se encuentran distantes del centro y por ende disminuye la calidad de la materia prima que procesa el central. Por otra parte, son disímiles las variedades: Cuba-997, 8751, 1051, 323-68; Jaronú-60-5, 6419, Tayabito-7017, etc.

El análisis estadístico arroja que existe variabilidad en los indicadores: Almidón, Coloides, Insolubles y Color

Tabla VII .Cinética de la sedimentación

Sk cm/min	Vs %	Análisis cualitativo
-	85.1	Floflotación
-	>85	Floflotación
-	>85	Floflotación
4.92	30	Buena floculación
4.46	32	Buena floculación
0.98	52	Floflotación
2.3	37	Floflotación
4.0	-	Muy oscuros
1.47	21.7	Claros con flóculos
0	25	Claro con flóculos

Nº Muestras: 20

Las velocidades de asentamiento de los lodos son comparables en la **primera etapa** de evaluación con la de los jugos alcalizados sedimentados con floculantes (Sk≅ 2.5 cm/min). Se obtiene en este período que:

- en mas 50% de los jugos muestreados la dilución empeora la velocidad de sedimentación .
- el 30% resultan inmedibles o no sedimenta a bajas concentraciones.

El mejor resultado obtiene cuando el jugo tenía ºBrix= 12 y pH= 7.05 unidades de pH, donde la Sk=4.92 cm/min. Se obtienen cachazas cuyos volúmenes no revasan el 35% aun cuando la concentración de sólidos solubles son mayores de 12 ºBrix. El rendimiento (tomado como cantidad de jugo claro) está en el rango de 68% a 76 % valores muy buenos para éstos fluidos por lo que no se hizo necesario durante la etapa realizar extracciones extras de cachaza o sea las capacidades de clarificación y filtración fueron suficientes.

El estudio de la cinética de la clarificación de los filtrados posterior al período lluvioso (**etapa Nº2**) indica que a concentraciones entre 10.75 y 12 ºBrix la sedimentación resulta importante en el 30% de los jugos estudiados es decir, los jugos se mostraron muy refractarios. Las cachazas resultan muy voluminosas en esta etapa con un detrimento del rendimiento que puede llegar a ser del 33%.

El análisis cualitativo arroja que la mitad de los filtrados presentaron durante la **primera etapa** tuvieron buena floculación en la **segunda etapa** la baja calidad de los filtrados; debido a las afectaciones debido a paradas, al tiempo que media entre el corte y la molida y a las lluvias trajo como consecuencias que los flóculos tuvieran una baja densidad; lo que favorece el proceso de

floflotación aún con empleo floculante para la sedimentación y creada las condiciones para que la decantación tenga lugar.

Tabla VIII. Caracterización de los claros sedimentados.

ºBrix	% Pol	% Pza	Ph	Reductores % Brix	Insolubles %	Coloides %	Almidón mg/100ºBx	Color ICUMSA
12.05	7.10	56.92	7.5	0.052	0.27	3.95	236	2 317
8.85	7.10	80.22	7.5	0.072	1.48	1.48	316	4 553
11.80	10.0	84.74	7.1	0.056	0.70	1.75	250	4 980
12.36	10.6	85.76	6.8	0.051	0.78	1.59	248	3 976
11.96	10.2	85.7	6.8	0.052	1.05	1.50	259	3 913
11.94	10.0	83.75	6.2	0.055	0.33	1.81	41	7 356
12.21	10.75	88.04	77.0	0.037	0.59	1.62	30	5 114
11.39	10.00	87.79	7.3	0.057	0.12	1.57	-	-
11.50	10.10	87.82	7.5	0.021	0.34	1.42	-	-
10.64	9.20	86.46	7.2	0.053	0.99	1.53	-	-

Nº Muestras: 20

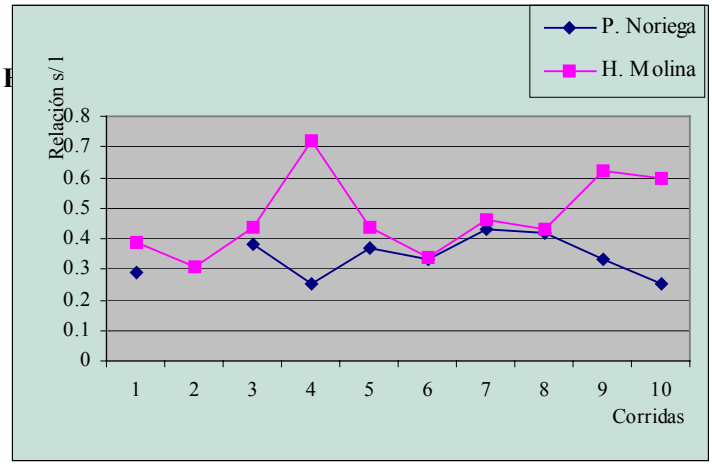
Las purezas son en general altas (ver jugos del filtro) en concordancia con la remoción de insolubles; los que se remueven del 45% al 80% .

Los reductores por su parte manifiestan estabilidad como respuesta al grado de acidez que se manejan.

El almidón presente en los jugos del filtro continúa separándose durante la clarificación no ocurriendo con los coloides, los que permanecen prácticamente inalterados.

El incremento de la coloración se esperaba debido a la alcalización y el calentamiento. Los valores de color ICUMSA promedio de los claros de los jugos del filtro es de 3 956 U.C. son similares a los de los jugos clarificados fabriles durante **primera etapa** (el color promedio de 5 muestras horarias realizadas aleatoriamente es de 4 008 U.C.). El color ICUMSA promedio de los claros de los jugos del filtro en la **segunda etapa** es de 5 280 U.C; incrementándose en relación a la etapa anterior en 1 324 U.C. resultado esperado por el grado de deterioro de la calidad de la materia prima. El tenor de color de los jugos clarificados de fábrica fue de 3 478 U.C. (promedio de 3 muestras horarias), es decir, se incrementó en 1 802 U.C. cosa que no ocurre en la pasada evaluación donde se mantuvo en el rango de los claro fabriles.

Tomando como índice la relación sólido líquido (volumétrica) separados por centrifugación se tiene que el grado de compactación de los lodos Los volúmenes de lodo en el C.A.I. “H. Molina” pueden ser superiores al 70%. Las cachazas resultan muy voluminosas lo que esta en detrimento del rendimiento o cantidad de jugo claro. El C.A.I. P. Noriega durante todo el período que se evalúa presenta volúmenes de cachaza inferiores con un máximo de 43% como se muestra :



CONCLUSIONES

- Debido a la composición de los jugos y las complejidades del sistema, resulta difícil hablar en términos absolutos del comportamiento de los filtrados, teniendo en cuenta que los resultados no se repiten, son una función de las condiciones locales de la caña y del tratamiento de los jugos por lo que la caracterización de los filtrados debe realizarse "in situ" ya que no existe una solución universal, no obstante, los jugos del filtro caracterizados tienden a presentar posibilidades de clarificación. Es necesario tomar medidas correctivas en el sedimentador de los filtrados para la extracción de los lodos floflotados.

REFERENCIAS

1.- Cress P. (1999).A Review of Cane Diffusion in Suoth African Sugar Mills. International Sugar Journal. Vol.1011 Nº1204, pp 192-234.
2. Monduí, R. (1998). Recirculación de la Cachaza. Informa I.C.I.N.A.Z
3. .- Rodríguez, R (1985). Los jugos del filtro dentro de la industria azucarera. Informe M. I. N. A. Z.
4. Haces, J., Navarrete, E. (1988). Purificación y Agotamiento. VI Seminario Nacional para jefes de fabricación. C. N.C. A.
5. Fernández, R., San Germám, Z., Morales, M., Aguila, E., Hernández, M., Tirado, O., Valdés, J., Cabeiro, A. (2000). Evaluación de los Jugos del Filtro en el C:A.I."Pablo Noriega". Informe M. I. N. A. Z.

MOLIDA DE CAÑA INTEGRAL

Gilberto González Martínez
Serapio Morales Márquez
Clotilde Vázquez Borges
Mireya Morales Joa

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ)
e-mail: director@icinaz.co.cu

Resumen

La molida de caña integral propicia la disponibilidad de una mayor cantidad de biomasa para su uso como combustible. Este combustible renovable no contaminante del medio ambiente puede sustituir combustible fósil en otras producciones, lo que significa un aumento del valor agregado de la producción de azúcar. También existen diferentes afectaciones en el proceso tecnológico, estas afectaciones presentan un valor económico determinado, su comparación con las ventajas de un combustible adicional determinará la posibilidad o no de su uso, cuando se realice una prueba completa a escala industrial y su valoración económica correspondiente.
En una primera etapa se efectuó un estudio de banco con diferentes variedades comerciales de caña en forma de caña limpia , caña integral , caña semi-integral (sin el cogollo) y además se realizaron estudios analíticos al cogollo y a la paja de estas cañas.
Se obtuvo que la pureza de los jugos de caña integral se ve afectada con relación a los de la caña limpia en alrededor de 5 unidades menos.
Los valores del pH y P_2O_5 de los jugos crudos están dentro de los parámetros establecidos para este tipo de muestra.
Los valores de almidón, cenizas y azúcares reductores son semejantes estadísticamente en los jugos crudos ensayados.
La velocidad de sedimentación de los jugos de caña limpia e integral son semejantes estadísticamente.
El incremento de fibra posibilita obtener 128.5 t. de mas de bagazo para una molida de 100 000 @/d, lo que equivale a 23,3 t/d de fuel oil equivalenten.

Milling of Integral Cane

Gilberto González Martínez
Serapio Morales Márquez
Clotilde Vázquez Borges
Mireya Morales Joa.

Cuban Sugar Research Institute (ICINAZ)
e-mail: director@icinaz.co.cu

Abstract.

The milling of Integral sugar cane favors the disposal of a greater quantity of biomass (renewable sources) for its use as a fuel. This renewable source non-contaminating for the environment can substitute fossil fuel in other productions and this means an increase on the aggregate value of sugar production. The milling of this type of cane may lead to some affection in the technology process with certain economic value. The comparison of the advantageous to have an additional fuel will determine its use when a complete test at industrial scale will be done with the corresponding economic evaluation.

In a first stage a bench scale study was carried out with different commercial cane varieties in the form of clean, integral and semi-integral (without tops). Analytical studies of straw and tops were also carried out.
The juice purity of the integral cane was affected in relation with those from clean cane in almost 5 units less. pH and P_2O_5 values of raw juices are within the parameters established for these type of samples.
Starch, ash and reducing sugars values are statiscally similar in the tested juices.
Settling velocity from clean and integral cane are also statiscally similar.
The fiber increment allows to obtain 128.5 ton of bagasse for a milling of 100 000 @/day that represent nearly 23.3 ton of equivalent fuel oil.

CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS DE LOS CLARIFICADORES INSTALADOS EN EL CAI "ORLANDO GONZÁLEZ" POR EL MÉTODO DE LOS RADIOTRAZADORES.

José Griffith Martínez
Pedro Flores Juan
Jaime Cuesta Borges

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ)
e-mail: director@icinaz.co.cu

RESUMEN

Se brindan los resultados alcanzados en la evaluación de los dos Clarificadores de jugo, uno denominado ICINAZ El Rápido y otro del tipo BTR, instalados en el CAI "Orlando González" de Ciego de Avila empleando el método de los radiotrazadores (Tc-99m). Las pruebas mostraron que el Clarificador BTR era capaz de asimilar toda la capacidad de molida de la fábrica, manteniendo características adecuadas del patrón de flujo y tiempos de residencia en el entorno de 1 hora. El Clarificador "ICINAZ El Rápido" trabajo todo el tiempo a valores del flujo muy por debajo de la capacidad de fábrica y acusó tiempos de residencia cercanos a las 2 horas y un patrón de flujo que en ocasiones estuvo afectado por la inestabilidad en la molida. La imposibilidad de poder llevar a cabo mediciones continuas del flujo de alimentación a ambos clarificadores, no permitió extraer una mayor información sobre la presencia de anomalías en el patrón de flujo tales como la aparición de zonas muertas o corto circuitos. Se detectaron diferencias considerables en las salidas de jugo claro del BTR que responden en nuestro criterio a problemas en la construcción de este equipo.

INTRODUCCIÓN

El proceso de clarificación consiste en la eliminación de impurezas presentes en el jugo mezclado formando un precipitado el cual es separado del jugo claro por decantación.

La clarificación que es un proceso tan complejo que aún se desconocen muchas cuestiones existentes en el mismo /1/, se lleva a cabo en equipos destinados al efecto denominados Clarificadores.

Varios son los tipos de clarificadores diseñados pasando por los tipo "Dorr", la variante "Ibañez" /2/ desarrollada en Cuba y los de Bajos Tiempos de Residencia (BTR) promovidos por el Instituto de Investigación Azucarera de Australia denominados SRI respondiendo a las iniciales de dicha institución en inglés (Sugar Research Institute)/3/. El objetivo de todos estos diseños es la obtención del mayor grado de eficiencia en el proceso de clarificación.

Esta eficiencia se traduce en la obtención de jugos claros, brillantes y libre de materias extrañas (disminución de insolubles en el producto final) y un alto grado de compactación

de la cachaza, y no esta divorciada con el patrón de flujo disperso en pistón que debe imperar en estas instalaciones por la misma esencia del proceso de sedimentación que en las mismas debe tener lugar/4/. Si paralelamente este alto grado de eficiencia se alcanza en el menor tiempo de residencia del jugo (con la disminución de las posibilidades de inversión de la sacarosa y destrucción de los reductores), el clarificador que reúna estas características será sin duda el más codiciado en la industria azucarera.

Precisamente en Cuba, en los últimos años, se han diseñado y extendido clarificadores, cuyos autores proclaman que responden a estas características, tal es el caso de los Clarificadores de Bajos Tiempos de Residencia (CBTR), y el más reciente clarificador denominado "El Rápido" ambos diseñados por el ICINAZ.

Una evaluación de las potencialidades de estos equipos contempla, por todo lo señalado más arriba, no solo un balance de los parámetros convencionales del proceso de clarificación, sino el establecimiento de las características hidrodinámicas de estas instalaciones.

Conocido es que el método de los trazadores combinado con la técnica del Estímulo-Respuesta ha sido utilizado ampliamente para la determinación del patrón de flujo y los tiempos de residencia a través de la función de Distribución de Tiempos de Residencia (DTR) /5/.

La posibilidad de poder llevar a cabo la evaluación integral de ambos equipos aprovechando la ventaja de su instalación en una misma Empresa Azucarera, el "Orlando González" de Ciego de Avila, que incluya la determinación de las características hidráulicas de estos equipos ha sido precisamente el objetivo del presente trabajo cuyos resultados situamos a la consideración de los peritos en la materia.

La respuesta normalizada de la concentración del trazador de un sistema(C(t)) frente a la inyección en impulso del trazador se denomina función de distribución de tiempo de residencia y se define como:

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^\infty C(t)\,dt}$$

Las curvas respuestas pueden ser tratadas como las funciones DTR del sistema cuando la entrada del trazador se produce en disparo, es decir un pulso instantáneo que cumpla la condición que la dispersión tienda a cero(δ=0)/6/.

Los radiotrazadores permiten obtener con relativa facilidad las funciones DTR y, con ello, determinar ciertos parámetros del proceso o verificar la validez de los modelos matemáticos utilizados para su descripción. De hecho, las técnicas de radiotrazadores pueden contribuir eficazmente a la selección y establecimiento de tales modelos.

RESULTADOS.

Materiales y Métodos.

- En calidad de radiotrazador se empleó en todas las experiencias realizadas el Tecnecio-99m (^{99m}Tc), obtenido a partir de un generador decaído de Mo-99/Tc-99m donado por el Centro de Investigaciones Clínicas (CIC) de Ciudad de La Habana y de otro proveniente del Hospital provincial de Camagüey. El Tc-99m eluido en forma de pertecnetato de sodio, con un periodo de semidesintegración de 6.02 horas y una energía de sus radiaciones gamma de 140KeV resulta un trazador ideal para este tipo de evaluación de Clarificadores de Bajos tiempos de residencia /7/.
- En la mayoría de las experiencias se empleó el método de detección "On Line", mediante el acoplamiento de los detectores de centelleo "colimados" a la salida de los fluidos de la instalación (jugos claros y cachaza) y el posterior recuento de la actividad del trazador (proporcional a su concentración) en equipos de conteo tipo Miniken de Australia. En la última experiencia se empleó paralelamente al método "On Line" la técnica del muestreo discreto con el objetivo de validar los resultados obtenidos por el primero.
- Para el tratamiento de los datos (determinación de la DTR) y la modelación de las curvas experimentales se empleó el software DTS PRO V4.2 Progepi Francia/8/.
- Los volúmenes totales y útiles de cada uno de los clarificadores sometidos a evaluación, de acuerdo a datos suministrados por la fábrica se resumen en la tabla No.1.

Tabla No.1 **Datos volumétricos de los Clarificadores**.

Datos Volumétricos	Clarificador BTR	Clarificador "El Rápido"
Volumen Total, m^3 (galones)	199 (52683)	157.65 (41651)
Volumen útil, m^3 (galones)	163 (43215)	146.86 (38800)

Primera Experiencia.

Se parte de la concepción de llevar a cabo la evaluación simultánea de ambos clarificadores bifurcando el flujo de total de la fábrica en una proporción de un 40% para el "Rápido" y un 60% para el BTR, siguiendo un criterio aproximado de los tecnólogos de la fábrica y los diseñadores principales de estos equipos.

La existencia de solo 3 detectores de radiación, obligó a que no fuera posible el monitoreo de la actividad del trazador a las salidas independientes de cada clarificador (dos salidas por cada uno) y por ello se decidió colocar uno de ellos en la tubería de unión de las dos salidas de jugo del BTR, el otro en una posición similar de unión de las salidas de "El Rápido" y el tercero para monitorear la entrada "en disparo" del trazador en este primer caso en el clarificador "El Rápido", condición esta indispensable para poder asumir la Curva C(t) de salida como la función DTR del sistema.

La inyección del ^{99m}Tc ($\approx$40mCi) se realizó primero, junto con la entrada del jugo alcalizado del Clarificador "El Rápido" y 5 min después en la antigua entrada del floculante en el clarificador BTR. La Fig. 1 muestra la entrada en "disparo" del trazador en

el Clarificador “El Rápido” y se evidencia por la forma, que la curva C(t) de salida puede representar, después de la correspondiente normalización, la función DTR del Clarificador.

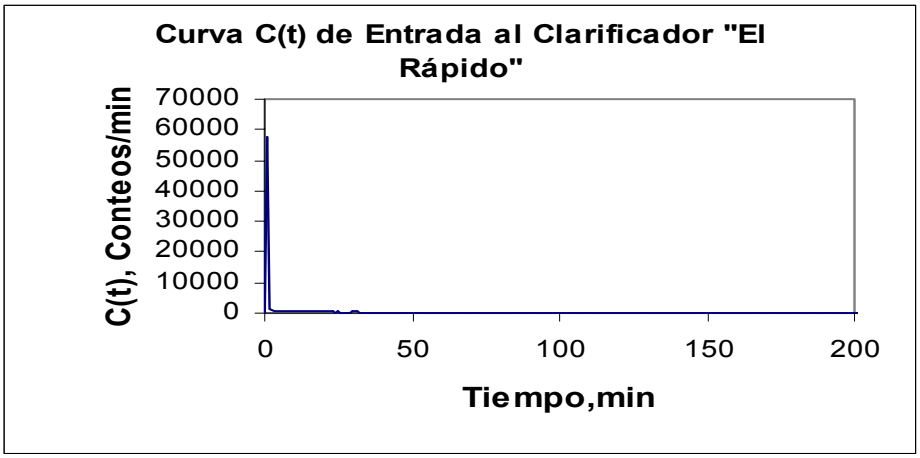


Fig.1 Curva C(t) de entrada del trazador al Clarificador “El Rápido”.

Las Curvas DTR de las salidas del jugo clarificador de ambos clarificadores se muestran en las figuras 2 y 3 y los modelos propuestos de los patrones de flujo en las figuras 4 y 5.

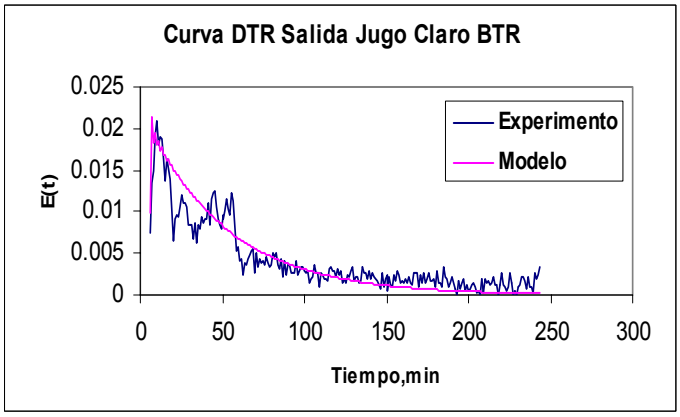


Fig.2 Curva DTR “BTR” (1ra. Exp.)

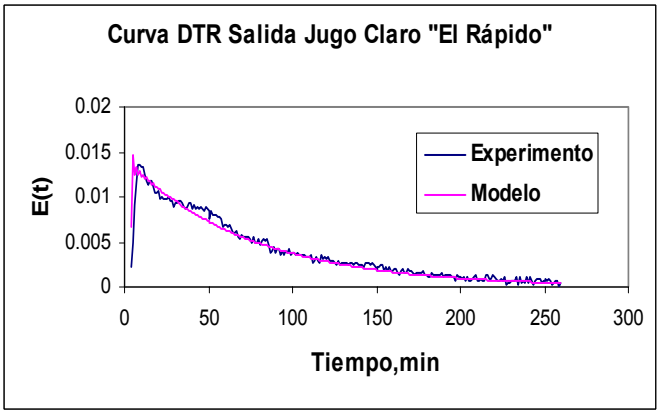


Fig. 3 Curva DTR “El Rápido” (1ra. Exp.)

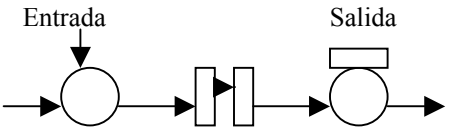


Fig.4 Modelo de Tanques en serie Perfectamente mezclado BTR

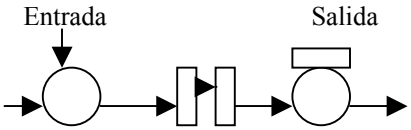


Fig.5 Modelo de Tanques en serie perfectamente mezclado “El Rápido”.

Los parámetros de las curvas DTR para ambos clarificadores se muestran en la tabla No.2.

Tabla No.2 **Parámetros de las Curvas DTR**

Parámetros	El Rápido	BTR
Tiempo de residencia promedio (min.), τ	72	53

Número de tanques, j	1	1

De estos resultados llama poderosamente la atención que en ambos clarificadores las curvas DTR se ajustan a un modelo de tanque en serie perfectamente mezclado donde el numero de tanques equivalente a la unidad implica un mezclado perfecto, condición esta no deseada para este tipo de instalación. No obstante el hecho de haber realizado las mediciones no precisamente a la salida inmediata del jugo claro en ambos clarificadores, sino en un punto distante de la instalación (a más de 25m después de la unión de los dos fluidos de jugo claro), pudo haber tenido incidencia en este resultado (creación de turbulencia al converger los dos fluidos). Esta misma situación indudablemente tiene que haber repercutido en los valores de los tiempos de residencia alcanzados para ambos clarificadores, lo que en otras palabras significa, que los tiempos de residencia del jugo claro a la salida de ambos clarificadores deben ser inferiores.

Por otra parte pudo observarse que la curva DTR del BTR acusa oscilaciones más pronunciadas que las obtenidas para el "Rápido" que en nuestra opinión fue producto de la entrada irregular del trazador al sistema y no a las fluctuaciones del flujo de jugo alcalizado a este equipo. Aunque como más arriba se menciona, la entrada del trazador al BTR no se pudo monitorear, mediciones posteriores realizadas con otro sistema de detección, mostraron presencia de radiactividad en el punto de inyección, como prueba de la adsorción del trazador en las paredes de la tubería por donde antiguamente se adicionaba el floculante al sistema. No obstante, a ello la curva DTR se ajusta, al igual que para el Rápido, a un modelo de mezcla perfecta.

Los tiempos de residencia obtenidos para ambos clarificadores mostraron en esta 1ra. experiencia buena correspondencia con la proporción de los fluidos de alimentación asumida a cada uno de estos equipos (60% para el BTR y 40% para el "Rápido"). A partir de la conocida relación entre el flujo con el volumen y tiempo de residencia reflejada a partir de la expresión:

$$FLUJO(F) = {Volumen(V)}/{Tiempo(t)} \qquad (1)$$

se puede calcular el flujo aproximado en cada uno de los clarificadores y comparar la relación entre ellos con la propuesta inicial calculada de forma aproximada. Los cálculos se muestran en la tabla No. 3.

Tabla No.3. **Comparación relación teórica y experimental de los flujos de alimentación en los clarificadores BTR y el "Rápido".**

Parámetros	BTR	El Rápido	Relación BTR/El Rápido
Volumen útil (m^3)	163	146.86	1.11
T. de residencia (min.)	53	72	0.73
Flujo (m^3/hora) Experimental	184	122.38	1.503
Flujo (%) Teórico	60	40	1.5

Segunda Experiencia.

Se realizó en condiciones similares a las señaladas en la primera experiencia (los detectores "On Line" en el mismo punto donde convergen las dos salidas de jugo claro de cada clarificador) con la diferencia de que la inyección del trazador se realizó en ambos casos en el anillo de alimentación de entrada del jugo alcalizado. Las curvas DTR experimentales con los modelos del patrón de flujo se muestran respectivamente para el BTR y el "Rápido" en las figuras 6 y 7.

De nuevo, el modelo que mejor se ajusta a la curva DTR experimental del Jugo Claro para el "Rápido" es el que compromete un patrón de flujo equivalente a un reactor perfectamente mezclado (j = 1.05), que como hemos señalado no es característico en este tipo de instalación, si la misma posee el diseño correcto o es operada adecuadamente.

En el caso del clarificador BTR, la curva DTR experimental solo fue factible ajustarla a un modelo de tanques en serie que compromete dos corrientes de fluido con diferentes números de tanques (j_1= 1.3 y j_2= 2.5) como se refleja en el proyecto propuesto en la fig.8.

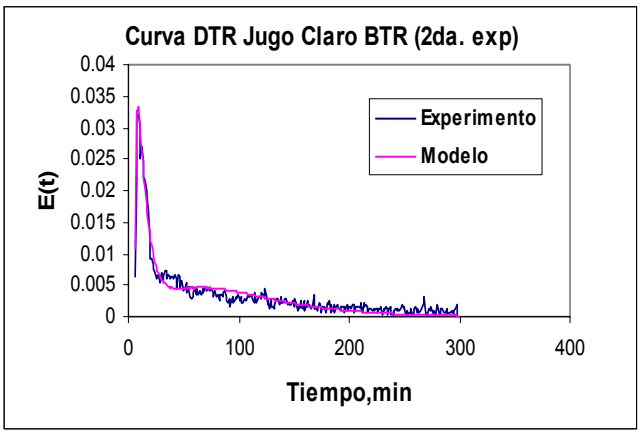


Fig.6 Curva DTR Jugo Claro BTR

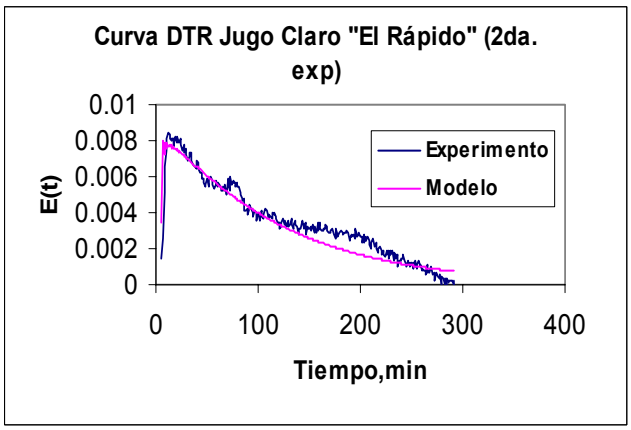


Fig.7 Curva DTR Jugo Claro "Rápido"

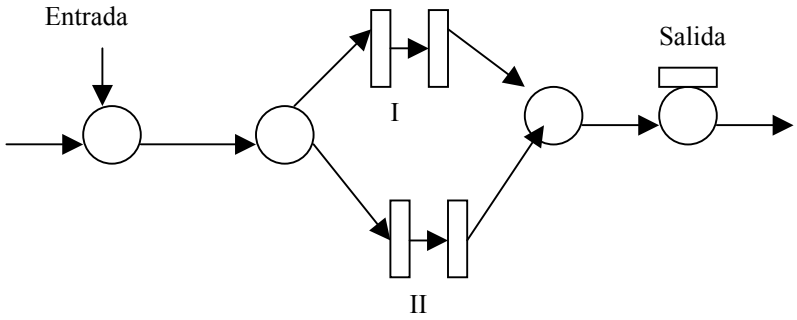


Fig.8 Proyecto modelo del patrón de flujo (dos corrientes) Jugo Claro BTR 2da. Exp.
Fluido I (j_1= 1.3); Fluido II (j_2=2.5).

La presencia de dos corrientes, de acuerdo al modelo, puede ser un indicio de diferencias entre las dos salidas del jugo clarificado del BTR, producto de cierta asimetría en el mismo.

El tiempo de residencia promedio del jugo claro (τ= 67 min) en esta segunda experiencia, al igual que para el "Rápido" (τ= 95 min), fue superior al obtenido en la primera experiencia. Ello pudo haber sido producto de una disminución de la molida durante el tiempo de realización de la prueba.
Es útil señalar que aunque hubo una mayor estabilidad del trabajo en fábrica, se siguieron confrontando los problemas de interrupción en la extracción de cachaza, lo cual de forma directa tiene incidencia en el patrón de flujo de jugo claro de salida.

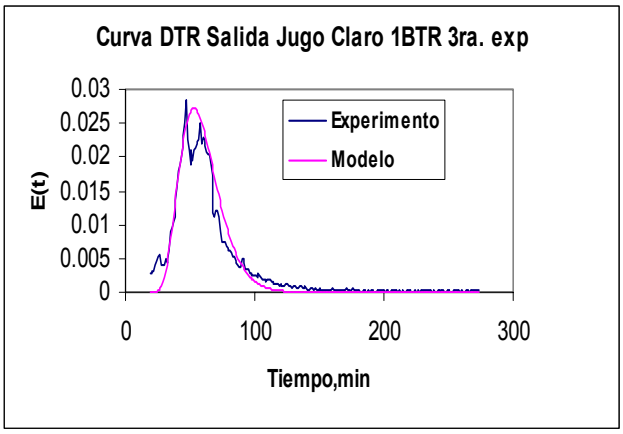
De acuerdo a los valores de los tiempos de residencia obtenidos para cada clarificador, siguiendo un procedimiento de análisis similar a la 1ra. experiencia, se pudo calcular que la relación de flujos de alimentación a ambos clarificadores, en este caso fue ligeramente superior al valor de 1.5 (en realidad fue de 1,57), es decir más del 60% del flujo total de fábrica se circuló por el BTR.

Hasta ahora el hecho de no contar con la cantidad suficiente de detectores de radiación, no ha permitido obtener realmente las Curvas DTR de salida de jugo claro de cada clarificador, ni monitorear el flujo de cachaza. Por otra parte, la supuesta presencia de dos corrientes en el modelo del patrón de flujo del BTR, adiciona otra incertidumbre en el proceso de análisis del comportamiento de los fluidos en el interior del clarificador. Motivado por ello se decidió llevar a cabo experiencias por separado en cada uno de los clarificadores, colocando los detectores de radiación en cada una de las salidas de los fluidos del mismo para establecer un balance completo en el sistema.

Tercera experiencia.

Esta experiencia se realizó únicamente en el Clarificador BTR haciendo pasar por el mismo todo el flujo de la fábrica. Se colocaron los detectores de radiación en las dos salidas de jugo claro y salida de cachaza. La inyección del trazador se ejecutó, al igual que en la 2da.experiencia, por el anillo de alimentación del jugo alcalizado ($\approx$100 mCi).

Las curvas DTR ajustadas a modelos de tanques en serie perfectamente mezclados para todos los fluidos se muestran en las figuras 9, 10 y 11. Los parámetros fundamentales de las curvas se reflejan en la tabla No.4



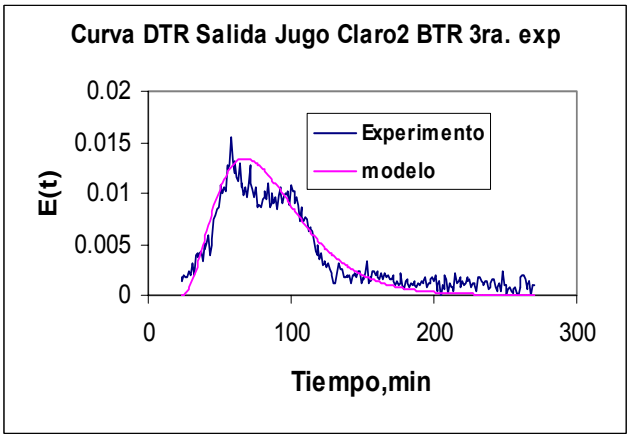


Fig.9 DTR Salida Jugo Claro 1 BTR Fig.10 DTR Salida Jugo Claro2 BTR

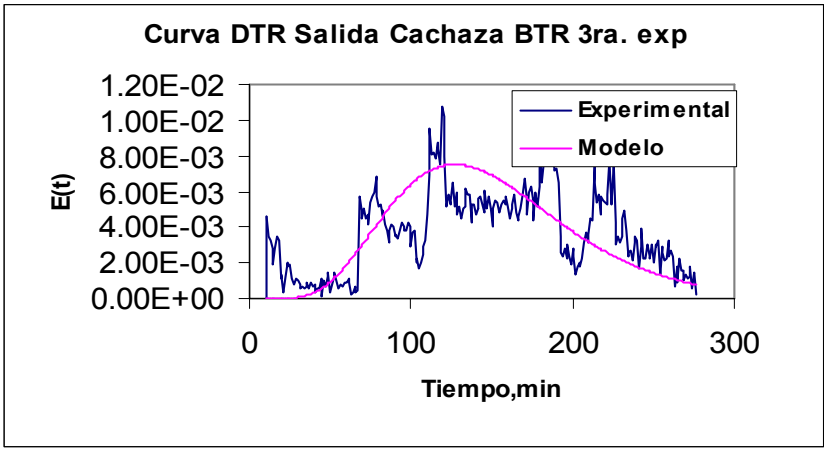


Fig.11 Curva DTR Salida Cachaza BTR

Tabla No.4 **Parámetros de las Curvas DTR de los fluidos en el BTR**

Parámetros	Jugo Claro 1	Jugo Claro 2	Cachaza
Tiempo de residencia promedio (min.), τ	64	75	151
Número de tanques, j	6.5	3.8	6.0

Los resultados muestran diferencias significativas en las curvas DTR de salida de jugo claro del clarificador que refuerzan nuestra hipótesis sobre la asimetría del fluido que puede ser producto de problemas en el diseño de las salidas del jugo claro o bien por defectos en la construcción (inclinación del clarificador). No obstante las oscilaciones que se observan por problemas de inestabilidad en el flujo de alimentación, en este caso las curvas se acercan bastante al modelo que teóricamente debe imperar en este tipo de instalación. El valor del número de tanques para el Jugo Claro 1 (j=6.5) caracteriza un sistema cercano a un reactor de flujo disperso en pistón.

Por otra parte la curva DTR obtenida para la salida de cachaza evidencia la inestabilidad en la operación del clarificador, los máximos parciales que en ocasiones son sinónimos de la presencia de un proceso de recirculación, en este caso reflejan las paradas intermitentes de la extracción de cachaza que tuvieron lugar durante la realización de la experiencia.

Es justo señalar que no obstante estas dificultades y a que el BTR tuvo que asimilar por primera ocasión todo el flujo de la fábrica, sus características se mantuvieron dentro de parámetros adecuados en lo que al patrón de flujo y tiempos de residencia se refiere. Por supuesto faltaría analizar la calidad del jugo clarificado obtenido para emitir conclusiones mas sustentadas con respecto a las bondades de este equipo.
Sobre la base de estos resultados se decide realizar una experiencia similar en el clarificador El "Rápido".

Cuarta Experiencia.

La experiencia se realiza exclusivamente en el Clarificador el "Rápido" y de forma similar a la tercera experiencia en el BTR, se acoplan los detectores a las salidas de jugo claro 1 y 2 y a la salida de la cachaza. Por tener dimensiones inferiores al BTR, se decide operar el "Rápido" a un flujo relativamente inferior a la capacidad total de molida de la fábrica. La inyección del trazador (≈40mCi de ^{99m}Tc) se ejecutó en el anillo de alimentación.
Las curvas DTR de salida de jugo claro 1 y 2 ajustadas a modelos de tanques en serie se muestran en las figuras 12 y 13. No se pudo obtener la curva DTR para la cachaza, porque al igual que en otras ocasiones, una gran parte del tiempo, por problemas en el bombeo, no hubo extracción de este fluido. Los parámetros de las curvas DTR se muestran en la tabla No.5.

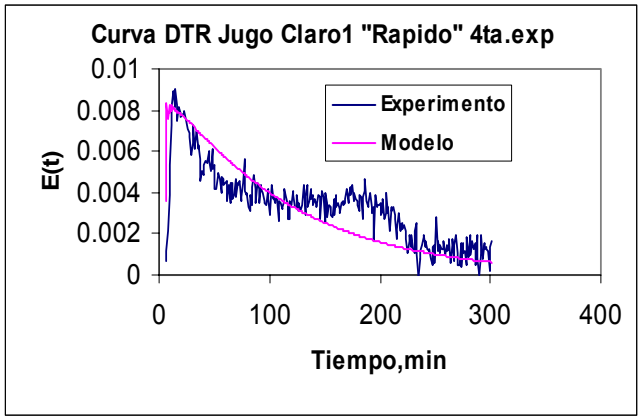


Fig.12 DTR Jugo Claro1 "Rápido"

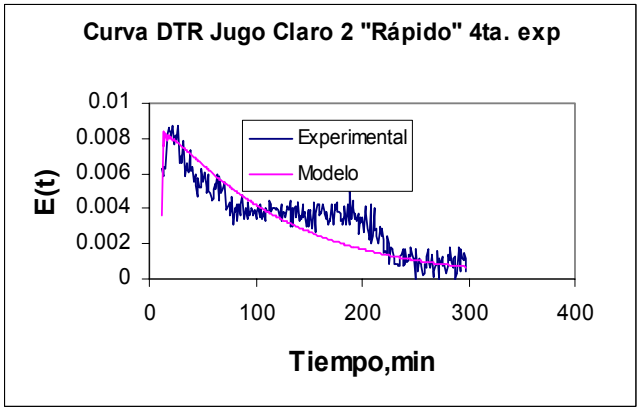


Fig.13 DTR Jugo Claro2 "Rápido"

Tabla No5 **Parámetros de las Curvas DTR de los fluidos en el "Rápido"**

Parámetros	Jugo Claro 1	Jugo Claro 2
Tiempo de residencia promedio (min.), τ	114	113
Número de tanques, j	1.05	1.03

De nuevo el patrón de flujo para ambas curvas DTR experimentales se asemeja a un modelo de mezcla perfecta (j ≈ 1), condición que señala problemas de diseño o de operación de la instalación. También se observa un incremento considerable de los tiempos de residencia (casi 2 horas) que señala que el equipo operó a valores de flujo por debajo de los empleados en las experiencias anteriores. Un resultado positivo es la similitud en la forma y los parámetros de ambas curvas DTR de las dos salidas de jugos claros. En la figura 14 se puede observar que prácticamente son idénticas y ello habla favorablemente sobre la simetría del clarificador.

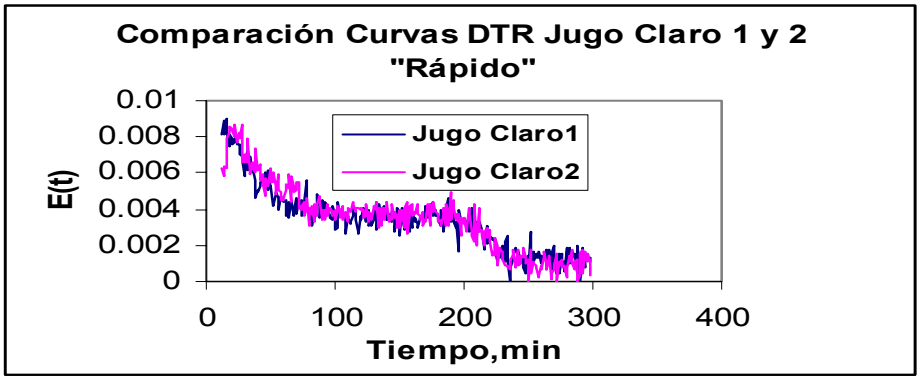


Fig.14 Comparación Curvas DTR Jugo Claro 1 y 2 "El Rápido".

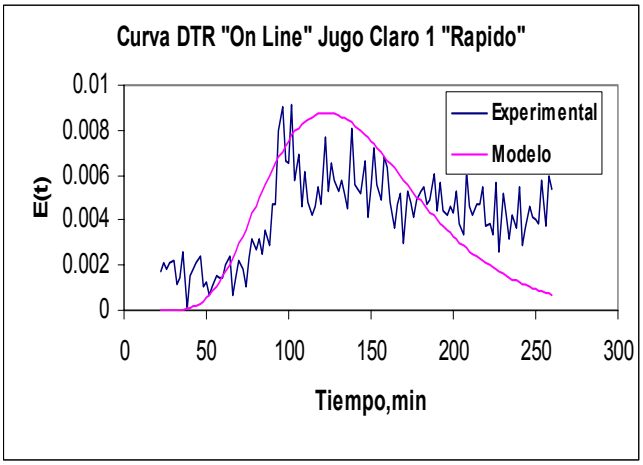
El hecho de no haber obtenido en ningún caso, patrones de flujo para el clarificador el "Rápido" que se acercaran al modelo esperado de flujo disperso en pistón, nos hizo sospechar que pudieran existir problemas del "ángulo de visión" de los detectores de centelleo acoplados a las tuberías de salida del jugo claro (es decir que aparte de detectar el jugo de salida estuvieran "viendo" el trazador en el cuerpo del clarificador) o que debido a los reiterados problemas con la extracción de la cachaza, el volumen de esta última dentro del equipo pudiera aumentar, reduciendo el espacio para la acumulación de un volumen adecuado del jugo clarificado, lo cual puede provocar revolturas con la salida de jugo de baja calidad.

Para verificar el problema del "ángulo de visión" de los detectores se proyectó realizar una 5ta experiencia empleando el método discreto de la toma periódica de muestras. El segundo problema relacionado con la extracción continua de cachaza quedaba en dependencia de las posibilidades de la fábrica de operar adecuadamente el equipo.

Quinta experiencia.

Como más arriba se señala, aparte de la colocación de los detectores "On Line" en las dos salidas de jugo claro (1 y 2), se tomaron muestras periódicas a la salida del denominado jugo claro 1. Las mediciones de las muestras se realizaron a geometría fija empleando el tercer detector disponible. Esto último hizo imposible el monitoreo del flujo extracción de cachaza, que a diferencia de las otras experiencias en esta ocasión, se mantuvo todo el tiempo funcionando. La inyección del trazador se realizó como siempre en el anillo de alimentación. Por razones del decaimiento del generador radioisotópico, la actividad del ^{99m}Tc no sobrepasó los 25 mCi y fue necesario aumentar el tiempo de medición a 2 min. para alcanzar una adecuada estadística en el conteo.

Las curvas DTR experimentales obtenidas por el método "On Line" ajustadas a modelos de tanques en serie se muestran en las figuras 15 y 16. En al fig. 17 se muestra a modo comparativo las curvas DTR "On Line" y de muestreo del jugo claro 1.Los parámetros de todas las curvas se reflejan en la tabla No.6



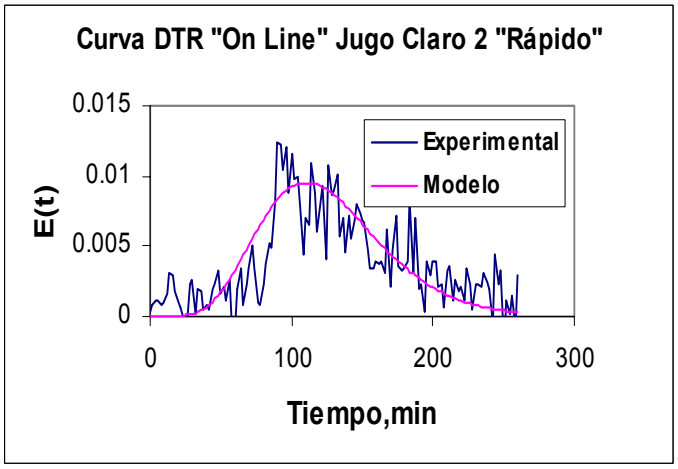


Fig. 15 DTR “On Line” Jugo Claro 1 Fig.16 DTR “On Line” Jugo Claro2

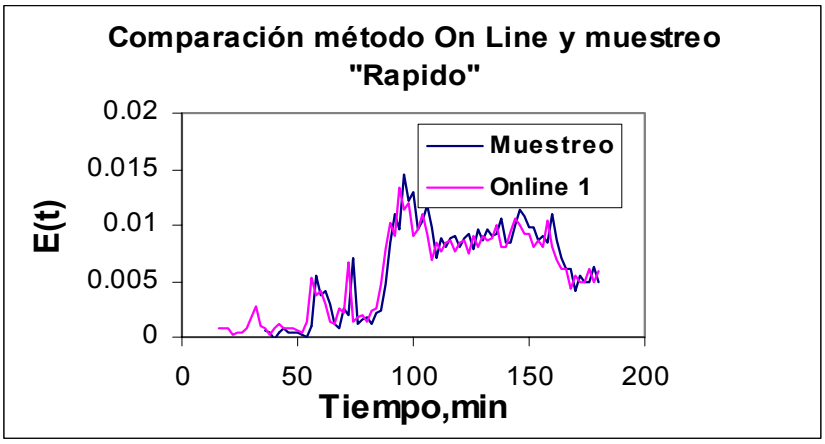


Fig.17 Comparación Curvas DTR métodos “On Line” y muestreo Jugo Claro 1

Tabla No.6 **Parámetros de las Curvas DTR de los fluidos en el Rápido**

Parámetros	“On Line” Jugo Claro 1	“On Line” Jugo Claro 2	Muestreo
Tiempo de residencia promedio (min.), τ	132	130	113
Número de tanques, j	6	6.8	7

Se puede observar que en este caso, el patrón de flujo se acerca al esperado flujo disperso en pistón (J≈ 6 –7). La similitud entre el método “On Line” y el discreto de muestreo, descarta la posibilidad de que los detectores acoplados a las tuberías de salida del jugo claro erróneamente estaban “ viendo” también el trazador en el cuerpo del clarificador y refuerza la posición de que los problemas antes confrontados con los patrones de flujo que acusaban el indeseable mezclado perfecto, estaban íntimamente ligados a mala operación del equipo (deficiencia en la extracción de cachaza). Al parecer el clarificador “El Rápido” en este sentido es más susceptible y sensible a los problemas de mala operación en fábrica que el BTR.

De nuevo se observó un incremento significativo de los tiempos de residencia (> de 2 horas), sinónimo de que se operó a flujos alejados de la máxima capacidad de la fábrica, muy por debajo del 40% planificado.

Conclusiones preliminares.

Sobre la base de estos resultados, es posible elaborar ciertas conclusiones preliminares relacionadas con las características hidrodinámicas de los clarificadores sometidos a evaluación.

1. El clarificador BTR es capaz de asimilar toda la capacidad de molida de la Empresa Azucarera "Orlando González" manteniendo parámetros adecuados en el patrón de flujo muy cercano al recomendado flujo disperso en pistón y tiempos de residencia en el entorno de 1 hora.
2. Resulta evidente que el Clarificador BTR acusa problemas de asimetría dado a las diferencias tan marcadas entre sus dos salidas de jugo claro, que puede ser debido a deficiencias en el diseño o en la construcción del equipo.
3. El Clarificador "El Rápido" acusa el patrón adecuado de flujo disperso en pistón a valores de flujo de alimentación muy por debajo del flujo de molida diaria de la fábrica y con la condición de la extracción continua de cachaza.
4. Desde el punto de vista constructivo o de diseño el clarificador "El Rápido" no presenta problemas de asimetría en las salidas de jugo de claro de la instalación.
5. En la mayoría de las evaluaciones el Clarificador "El Rápido" operó a valores del flujo de alimentación por debajo del 40% del total de la molida de la fábrica.
6. Todo parece indicar que el Clarificador "El Rápido" es más susceptible y sensible que el BTR a los problemas de mala operación de estos equipos y las fluctuaciones del flujo en fábrica.

Recomendaciones:

La principal, en nuestro criterio, debe estar dirigida a realizar otra nueva evaluación de ambos clarificadores en condiciones de operación estable en fábrica y la medición continua del flujo real de alimentación a cada equipo.

Referencias:

1. Honig P. (1956). "Symposium Cane Juice Clarification" Proc. 9th Inst. Soc. Sug. Tech. 545.
2. Ibañez L. M. (1968). Separata de la XXVIII. Memoria Anual de la ATAC.
3. Steindl R.J., Fitzmaurice A.L., Alman C.W. (1998). Recent Developments in Clarifier Design. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol, 20 477-483.
4. Díaz C.R. (1989). "Estudio de patrones de flujo en Clarificadores de jugo de caña. Resumen referativo Tesis C. Dr. en Ciencias Técnicas. ISPJAE.
5. Mesa, S., Acosta M., Paz R., Griffith J.(1992). Patrones de flujo y tiempo de residencia de un clarificador monocelular. Cuba Azúcar, Enero. Marzo, 49-54.
6. Levenspiel O, (1974). "Ingeniería de las Reacciones Químicas" 2da. Edición. Ed. Reverté.
7. Mesa R., Griffith J (1986). "Comportamiento del ^{99m}Tc en forma de pertecnetato de sodio en los jugos de caña durante la evaporación y clarificación". Cuba Azúcar, Oct-Dic.
8. Leclerc J.P(1998). "DTS PRO V4.2 A software for interpretation of Tracer Experiments in Industrial Processes. PROGEPI, France.

PRODUCCION DE GLUCONATOS DE CALCIO Y SODIO EN PLANTA PILOTO

Ing.Mercedes Hernández Pizarro
Lic.Alberto Fariñas Bermúdez
Lic. Michel Hernández Mazón

INSTITUTO CUBANO DE INVESTIGACIONES AZUCARERAS
E-mail: albertof@icinaz.co.cu, mazonmichel@icinaz.co.cu

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en planta piloto para obtener gluconatos de calcio y sodio a partir de la glucosa mediante la oxidación catalítica de esta última, empleando como agente oxidante oxígeno molecular.

Los productos obtenidos cumplieron con las exigencias de calidad requeridos desde el punto de vista químico y microbiológico según se recomienda en la farmacopea.

Con el gluconato de calcio se han preparado comprimidos orales que tienen como fin ser utilizados como suplemento nutricional. Mientras que el gluconato de sodio obtenido tuvo un comportamiento similar al que se importa con destino a la preparación de materiales para la construcción.

La obtención de estos productos enriquecerá el campo de la sucroquímica en el país por ser derivados de alto valor agregado.

Palabras claves: gluconatos, clacio, sodio, sucroquímica

PRODUCTION OF CALCIUM AND SODIUM GLUCONATES IN PILOT PLANT

Ing. Mercedes Hernández Pizarro, Lic. Alberto Fariñas Bermúdez. Ing. Michel Hernandez Mazón

CUBA SUGAR RESEARCH INSTITUTE
e-mail: albertof@icinaz.co.cu, mazonmichel@icinaz.co.cu

Abstract

Results obtained in several tests at the pilot plant for the production of calcium and sodium gluconates through the catalytic oxidation of the former employing molecular oxygen of oxidizing agent are presented.

The obtained products fulfill quality requirements from the chemical and microbiological points of view as it is recommended by pharmacopoeia.

With the calcium gluconate oral tablets were prepared which the aim to be utilizes as a nutrition additional agent. For their part the obtained sodium gluconato achieved a similar behavior as the one that is imported and destined for the preparation of construction materials.

The obtaining of these products will enrich the sucrochemistry field in the country due that they are derivates of high aggregate value.

Key word: gluconates, calcium, sodium, sucrochemistry

Introducción

El hombre utiliza los productos de la oxidación de la glucosa tales como el gluconato de calcio y el de sodio para la industria farmacéutica , para aditivos en productos alimenticios y en la preparación de diferentes productos con diversos fines industriales.

El gluconato de calcio se emplea en la industria alimenticia para fortificar bebidas, según reporta Melachouries (1988), como coagulante del yogurt y para su enriquecimiento en calcio, Takenawa (1991), así como en otros alimentos.

En la industria farmacéutica se utiliza fundamentalmente como principio activo para preparar soluciones parenterales y comprimidos orales para combatir el déficit de calcio en el organismo. El tratamiento de la hipocalcemia con este producto, es de gran valor para los pacientes que padecen esta enfermedad, así como para las mujeres en estado de gestación, según trabajos desarrollados por Prada (1992).

Múltiples usos del gluconato de sodio han sido resumidos por Polak (1997), tales como: agente secuestrante del aluminio, hierro, cobre y zinc y su adición a disolventes de esmaltes, lacas y pinturas que contengan hidróxido de sodio, ablanda y separa la película de pintura del material tratado y mejora la calidad del lavado.

Puede ser utilizado para la impermeabilización del papel y para dar brillo a las fibras textiles.

Se utiliza como aditivo para el cemento ya que es un producto muy eficaz en la licuación y retraso en el endurecimiento del hormigón, este es más homogéneo, fácilmente manejable, resistente al agua y reduce el calentamiento y formación de grietas.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la obtención de estos productos, su calidad y los potenciales usos de los mismos según los resultados ya logrados.

Materiales y métodos

Las pruebas de planta piloto se realizaron en las instalaciones de Cuba 10, pertenecientes al Instituto Cubano de Derivados de la caña de azúcar (ICIDCA). Se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

Tanque reactor de 100 L de capacidad de acero inoxidable provisto de agitación, electrodo de pH y varilla hasta el fondo para el burbujeo de oxígeno.

Balón de oxígeno industrial.

Concentrador de película descendente de 110 L de capacidad.

Secador de lecho fluidizado, con capacidad de secado de 0.8 kg del producto/30 min.

Productos químicos: glucosa monohidratada, hidróxido de sodio, cloruro de calcio dihidratado y agua destilada.

El método para determinar cuando la reacción finaliza o disminuye al mínimo, consistió en medir el consumo de hidróxido de sodio cuando este neutralizaba el ácido glucónico formado, durante el transcurso de la reacción.

Al producto obtenido se le determinó la humedad y pureza valorando con solución de EDTA.

Resultados y discusión

Antes de realizar los trabajos de planta piloto se optimizaron en el laboratorio las condiciones de reacción, donde se determinaron: consumo de reactantes, temperatura de reacción, concentración y rendimientos de los productos.

Con los resultados obtenidos se realizaron cuatro pruebas piloto para obtener gluconato de calcio y una de gluconato de sodio.

Todas las pruebas se realizaron con 45.5 Kg de solución de glucosa al 30 % (13.64 Kg de glucosa b. S.). La solución se vertió en el reactor y se le adicionó 410 g del catalizador previamente preparado, se puso en marcha la agitación y se le empezó a pasar burbujeo de oxígeno comenzando así la reacción la cual era seguida mediante continúas lecturas de pH, el que tenía tendencia a bajar continuamente por la formación de ácido glucónico, este pH se controlaba por adición continúa de solución de hidróxido de sodio, de esta forma la reacción se da por finalizada cuando no descendía el pH del medio.

Las ecuaciones químicas que representan las reacciones que ocurrieron son las siguientes:

$$\underset{\text{Glucosa}}{C_6H_{12}O_6} + O_2 + H_2O \longrightarrow \underset{\text{ac. glucónico}}{C_6H_{12}O_7} + H_2O_2$$

$$C_6H_{12}O_7 + \text{Na OH} \longrightarrow \underset{\text{Gluconato de sodio}}{C_6H_{11}O_7Na} + H_2O$$

Cada 15 minutos se determina el % de oxidación de la glucosa. En todas las pruebas pilotos, las reacciones demoraron entre 3 y 4 horas, con más del 95 % de oxidación de la glucosa en todas las experiencias realizadas. En la tabla I se muestra como fue el comportamiento de la reacción.

Después de los 235 min. de reacción, ésta prácticamente había terminado con un 98.3 % de inversión.

Finalizada la inversión se procede a separar el catalizador, utilizando para ello un filtro prensa de Planta piloto con tamaño de marcos y placas de 20 x 20 cm. Se obtiene aquí una disolución de unos 45 litros de gluconato de sodio en solución.

En las pruebas efectuadas si se deseaba obtener gluconato de sodio, entonces la solución anterior era concentrada hasta 58.0-59.0 % de sólidos disueltos en un evaporador de película descendente de planta piloto. Se extrae el producto concentrado del evaporador y se vierte en un tanque. Al día siguiente se observa un abundante precipitado, el cual es centrifugado en centrifuga de 30 cm de diámetro de canasto y se seca en un secador de lecho fluidizado.

La recristalización del gluconato de sodio para su purificación no siempre es necesaria , ya que el mismo puede utilizarse tal y como así se obtiene en diversas industrias.

Porcentaje de oxidación de la glucosa vs tiempo de reacción

Tiempo de Reacción (min.)	Oxidación de la glucosa (%)
15	1.2
30	9.9
45	13.0
60	19.3
75	21.1
90	32.3
105	41.0
120	47.9
135	54.1
150	60.6
165	68.1
180	78.0
195	87.7
210	97.1
235	98.3

En esta experiencia se obtuvo 9.5 Kg de gluconato de sodio. Algunas de sus características fueron las siguientes:

Aspecto: polvo blanco granulado
Solubilidad: muy soluble en agua
Humedad: 0.9 %

Con este producto se hicieron algunas formulaciones en el "Centro Técnico para el desarrollo de materiales de la Construcción" , los resultados obtenidos no tuvieron ninguna diferencia al compararse con formulaciones realizadas con gluconato de sodio importado.

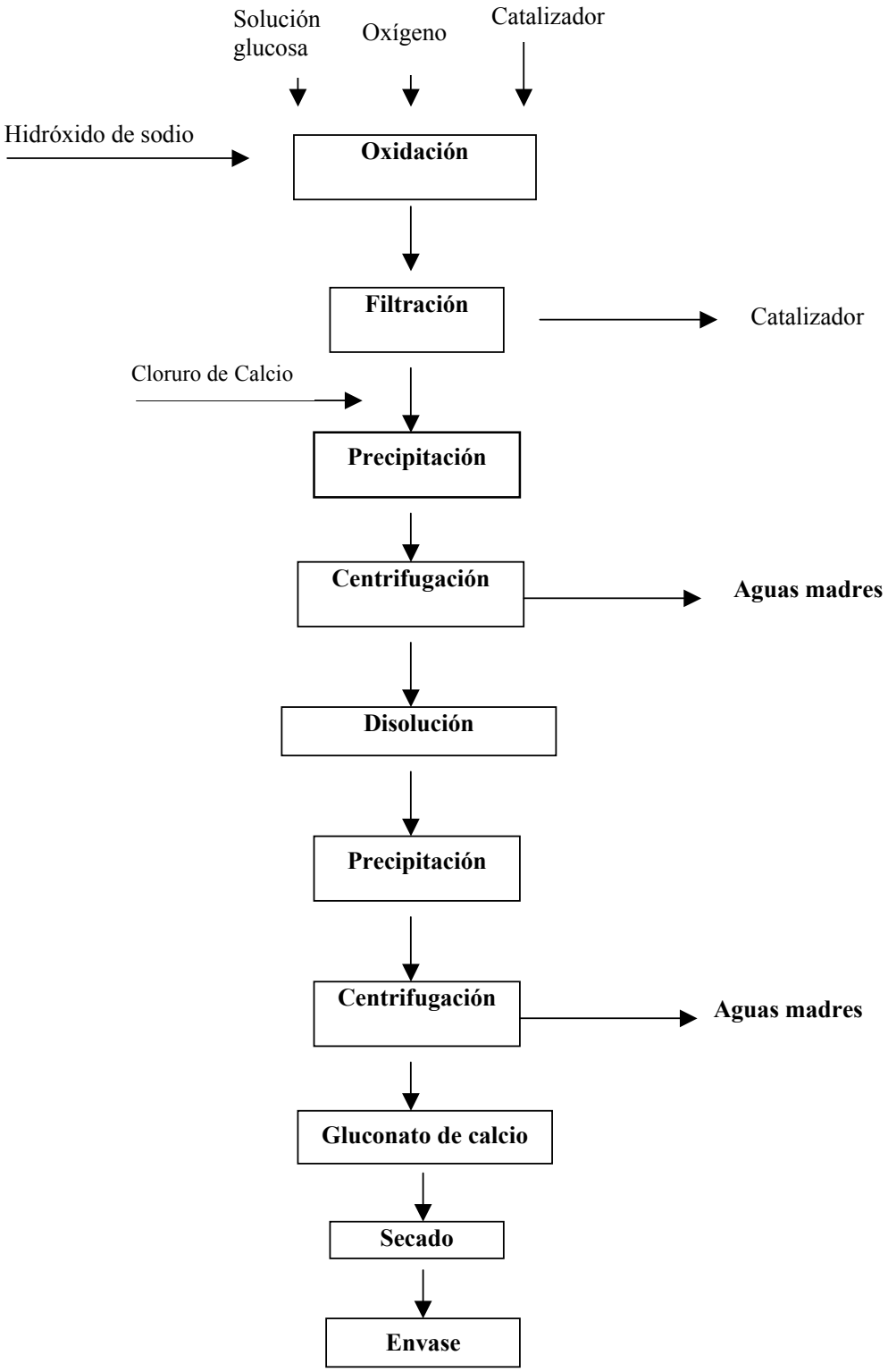
Para obtener gluconato de calcio se procedió de la siguiente manera: a la solución filtrada de gluconato de sodio se le añadió una cantidad estequiométrica de cloruro de calcio, el gluconato de calcio precipita lentamente, al día siguiente se separa por centrifugación y se seca.

Los productos obtenidos en las 4 pruebas de Planta Piloto realizadas cumplieron con los requisitos de calidad exigidas por la Farmacopea para esta sustancia desde el punto de vista químico.

Todo el gluconato de calcio producido fue entregado a los laboratorios farmacéuticos Reinaldo Gutiérrez. Con el mismo prepararon comprimidos orales a los cuales se les están haciendo un estudio de estabilidad, esto dejaría despejado el camino para la fabricación de tabletas como suplemento nutricional

Un diagrama de flujo del proceso se muestra seguidamente.

Diagrama de flujo del proceso para obtener gluconato de calcio



Conclusiones.

1.- En todas las pruebas de planta piloto realizadas, la glucosa se oxidó en más de un 95 %.

2.- Los productos obtenidos cumplieron con los requisitos de calidad exigidos para los mismos.

3.- Con el gluconato de sodio y calcio se han hecho pruebas positivas en otras industrias.

4.- Las pruebas realizadas han permitido obtener un gran dominio de esta tecnología a escala de planta piloto.

Referencias.

1.- Melachouries M. And Ch. R. Lee (1988). Calcium fortified acid beverages US patent 4 740 380.

2.- Takenawa S., Veda M. And Jakeda H. (1991). Coagulant for a novel yoghur/like food US patent 4 988 519

3.- Prada J.A. , Ross R. and Clark K.E. (1992). Hypocalcemia and pregnancy-induced hypertension produced by maternal fasting. Hypertension nov. 20 (5), 620-626.

4.- Polak, J. (1997). Gluconato de sodio. Secuestrante hidroxicarboxilado S. A. de C.V. Servicio Técnico. Mexico.

DETERMINACIÓN DEL AGOTAMIENTO DE LAS MIELES FINALES EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.
DETERMINATION OF EXHAUSTION OF MOLASSES IN SUGAR INDUSTRY

Josefa Hormaza *, Mailen Fernández*, Rolando Santana, Yanet Tambara-, Martha Ramírez*, Ana León*, Liudmila Chávez-.

***Departamento Investigaciones Analíticas, División Aseguramiento de la Calidad, Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ), e-mail: qanalitica@icinaz.co.cu**
+Grupo Azúcar, Facultad de Ingeniería Química, CUJAE.
-Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB).

Palabras claves: mieles, agotamiento, cromatografía
Word : molasses, exhaustion, cromatography

Resumen:

La eficiencia industrial azucarera mundial está reconocido que depende de la presencia de componentes NO-SACAROSA conocidos como impurezas, especialmente los carbohidratos que causan problemas durante el proceso, menor agotamiento de las mieles y por tanto menor recobrado.

En el estudio del fenómeno de las purezas de las mieles finales se propuso introducir métodos analíticos que puedan ser utilizados para conocer qué sucede con los diferentes carbohidratos en el proceso de fabricación de azúcar para definir las causas que pueden aumentar las purezas de las mieles.

Los procedimientos utilizados se basaron en la introducción de parámetros de forma tal de poder relacionar los contenidos de componentes de las mieles y la eficiencia industrial. Así, el parámetro de pureza esperada representa la cantidad de sacarosa que debe quedar en las mieles y este es directamente proporcional a la solubilidad en las condiciones de trabajo.

En el trabajo realizado se obtuvieron diferentes resultados entre los que se destacan:

• Se estableció una técnica analítica utilizando HPLC para determinar polisacáridos, oligosacáridos y azúcares reductores en productos azucarados.

• La técnica propuesta requiere menor tiempo de análisis que los métodos tradicionales y pudiera ser utilizada como técnica de referencia en nuestro país.

• La técnica propuesta nos brinda la posibilidad de la caracterización de las mieles finales cubanas por CAI, Provincia y compararla con otros países

• Se analizó la correlación de los parámetros medidos con las purezas determinadas.

• Se obtuvo una ecuación que representa el agotamiento de las mieles dependiente de contenidos medidos por cromatografía.

Abstract:

The efficiency of the sugar industry recognized that it depends of the presence of the Non-Sugars components, known as impurities, especially the carbohydrates that induce problems during the process, a lower exhaustion of molasses and lower recovery

Studying the phenomenon affecting the purity of final of molasses it was proposed to introduce analytical techniques that can be used in order to know what happens with the different carbohydrates involved in the process of sugar production for defining the causes that can increase the purity of molasses.

The studied procedures were based in the introduction of parameters in such a manner that the content of components in the molasses could be related to the industrial efficiency. Although, the parameter of expected purity represents the quantity of sucrose that should be retained in the molasses and it is directly proportional to the solubility in the working conditions.

In this research, were obtained different results, such as:

• An analytical technique, using HPLC, was developed in order to determine polysaccharides, oligosaccharides and reducers sugars in sugar products.

• The proposed technique requires lower times for analysis than the traditional methods and can be used as reference technique in our country.

• The proposed technique gave us the possibility of characterization of Cuban final molasses by each CAI, province or compared with other countries.

• The technique was able to correlate the studied parameters with the determined purity

• An equation that represents the exhaustion of the molasses was obtained dependent of the contents determined employing chromatography

Introducción

La competitividad en el mercado azucarero cada día es mayor, no se prevé una estabilización de los precios y los requerimientos de calidad se hacen mayores. Mantener costos bajos es indispensable para todo aquel que pretenda competir y mantener niveles de rentabilidad alto. En el sector de la agroindustria azucarera cubana la rentabilidad pasa, y de forma significativa, por la pureza de las mieles finales.

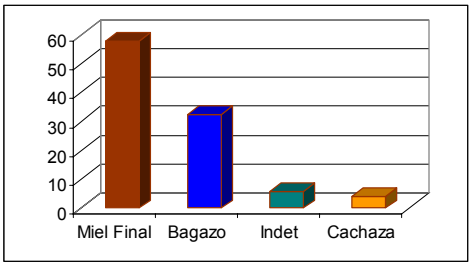
Las mieles de los procesos azucareros cubanos siempre han sido, como promedio general, relativamente altas respecto a lo que algunos ingenios han sido capaces de lograr; pero por supuesto, hay razones para preocuparse cuando las purezas sobrepasan los valores de 39,40,41,…..42.

Las causas son variadas y diversas, clasificándose en dos grupos: industriales y agrícolas; estas últimas enmarcadas dentro del proceso entre cosecha y entrada de la caña al ingenio y el primer grupo dentro del propio central, sin descartar la relación entre ambas. Las causas agrícolas predominan cuando los niveles de oligosacáridos y polisacáridos en los jugos son muy elevados, lo que provoca la formación del grano alargado(Hormaza 1996)y la elevación a niveles anormales de la viscosidad de los productos azucarados con el correspondiente incremento de la pureza de la miel final hasta valores en los alrededores del 50 %.

La obtención de una baja pureza traería consigo un aumento del nivel de eficiencia para la industria, disminuyendo las pérdidas de sacarosa y aumentando la rentabilidad.

Para analizar qué peso tiene la pérdida en miel final respecto a la pérdida total, comparada con las demás pérdidas parciales, podemos apoyarnos en la figura 1:

Figura 1 Perdidas parciales promedios en el país



Como se observa la pérdida en miel final es el factor que más influye en la eficiencia de la fábrica; por tal motivo se hace necesario analizar con la mayor exactitud posible la composición de las mieles finales, para poder dar soluciones al crítico problema.

La Cromatografía es una técnica clásica para la separación y estudio de mezclas complejas. El ICUMSA, (Comisión Internacional de Métodos para la Unificación de Análisis Azucarero), la propone como técnica para el control de fábrica y la calidad de los productos finales. La técnica sirve para medir los contenidos de polisacáridos y oligosacáridos como principales impurezas en el proceso azucarero.

Materiales y métodos

Muestras: Se analizaron muestras correspondientes a varios centrales del país.

Cuantificación por HPLC Se prepararon disoluciones de las mieles que se pasaron por una columna de C18 y luego fueron inyectadas en una columna Aminex HPX-87H (300 x 7.8 mm, Bio Rad Laboratories) con un detector de índice de refracción. Como fase móvil se utilizó una solución de ácido sulfúrico 0.005 M a un flujo de 0.3 ml/min. Las corridas fueron realizadas a temperatura a 65 ^{o}C. Se determino % sacarosa, % glucosa, % fructosa, % polisacáridos y oligosacáridos

Análisis de pol, reductores, brix. Se siguieron las metodologías expuestas en el Manual de tecnicas analiticas, ICINAZ, 1993

Cálculos Estadísticos: Paquete estadístico STATGRAPHICS Plus 5.0,

Resultados y discusión

Las mayores pérdidas de azúcar en el proceso azucarero se producen en las mieles finales dadas por los valores de purezas altas.Como todo problema real, la alta pureza de la miel final puede ser provocada por causas muy diversas. Algunas de ellas probablemente surjan desde mucho antes, en la caña, su cultivo y cosecha. Otras son posteriores, del propio proceso de fabricación de azúcar.

El problema requiere una atención especial, no sólo por el monto de lo que se pierde, sino también por su complejidad causal, lo que está dificultando encontrar respuestas y soluciones por las vías de investigación y ejecución práctica que habitualmente se emplean y cada dato que se encuentra plantea múltiples interrogantes y estimula diversos criterios

La composición de las mieles finales varían en cantidad y tipo de impurezas, dependiendo de las condiciones climáticas, del tipo de almacenamiento de la caña, del tiempo entre corte y molida, del tipo

de cosecha, de la variedad de la caña, de la calidad del proceso de clarificación y cristalización, por lo tanto, si se definen los contenidos de los compuestos presentes en las mieles, podrá conocerse la eficiencia del proceso industrial.

El estudio de la problemática propuesta comienza con la definición de la metodología para la determinación de los polisacáridos, oligosacáridos, sacarosa y azucares por cromatografía de alta resolución.

Técnica analítica para determinar polisacáridos, oligosacáridos, sacarosa y azúcares reductores en productos azucarados utilizando la cromatografía liquida de alta resolución.

En la sesión de la ICUMSA de 1986 se dieron los primeros pasos en la introducción del método de HPLC como referencia en la determinación de sacarosa, glucosa y fructosa en diferentes productos azucarados. En un inicio se utilizaron columnas amino, con acetonitrilo como eluente, el que no era favorable debido a su alto costo y a su peligrosidad, además de que las columnas perdían resolución en inyecciones sucesivas. Posteriormente se utilizaron columnas de intercambio iónico en las que el eluente era acuoso con las ventajas que esto implica.

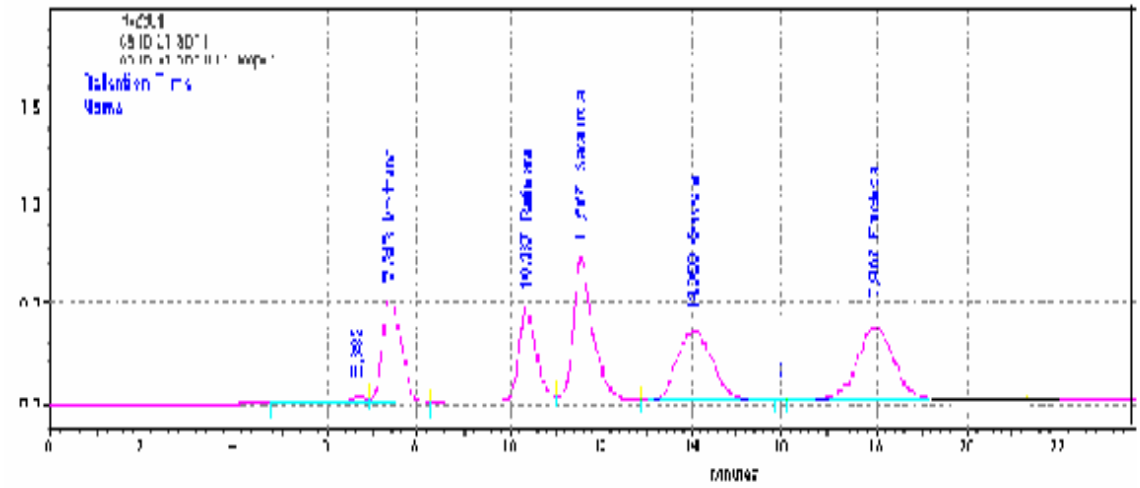
Uno de los problemas que dificulta el análisis por HPLC es la preparación de la muestra. En nuestro trabajo, se realizaron estudios y se concluyo que debe centrifugarse a 2000 rpm para eliminar insolubles y pasar la muestra diluida por una columna de C18 donde se logra eliminar las proteínas y asi lograr alicuotas listas para ser inyectadas, lo que favorece la rapidez del análisis.

Se establecio una técnica analítica para determinar polisacáridos, oligosacáridos, sacarosa y azúcares reductores en productos azucarados, utilizando soluciones patrones de dextrana T10 (PM 10 000), rafinosa, sacarosa, glucosa y fructosa en concentraciones similares a las presentes en los productos azucarados.

Las mejores condiciones de separación fueron

Columna: BioRad Aminex HPX-87N 300 x 7.8 mm i.d.
Solvente: Solución de sulfato de sodio 0.01 M
Flujo: 0.5 ml/min
Temperatura: 85 ^{0} C
Detección: Refractómetro diferencial a 85 ^{0} C
Integrador: Biochrom Versión 2.3

Figura 1 Cromatograma de HPLC de los patrones



Es interesante hacer notar que los compuestos utilizados como patrones no representan la totalidad de los polisacáridos y oligosacáridos presentes en los productos de la industria, por lo que los resultados

obtenidos son referidos a cada sustancia usada y no al contenido real de cada tipo de sustancia. Esto es debido a que los carbohidratos presentes en los materiales industriales azucareros varían en cantidad y calidad dependiendo, entre otros aspectos, de las condiciones ambientales y de la eficiencia de los procesos de purificación y de cristalización.

El método propuesto permite la determinación de componentes mayoritarios, esto es la sacarosa y los azúcares reductores, que se reportarian los contenidos reales de cada uno. Sin embargo, las técnicas aprobadas por la ICUMSA, son métodos empíricos como el Eynon & Lane para azúcares reductores que consumen aproximadamente 4 horas para su realización. Con el método de HPLC se podría disminuir el tiempo del análisis y contar con métodos que definan la calidad, obteniendo resultados confiables y pudiera ser una técnica de referencia en nuestro país

La metodologia expuesta se ha probado para azucar crudo y refino, productos intermedios, y en mieles finales.

➡ *Comparación de técnicas cromatográficas con los métodos aprobados por el ICUMSA para la determinación de algunos parámetros necesarios para la caracterización de las mieles finales*.

Generalmente el por ciento de sacarosa de una muestra de miel final se determina por polarimetría. El método del polarímetro se basa en la propiedad que tiene la sacarosa de rotar el plano de la luz polarizada en una magnitud directamente proporcional a su concentración en solución acuosa. En realidad la pol viene dada por la suma algebraica de todas las sustancias ópticamente activas contenidas en la solución clarificada, por lo tanto, en mayor o menor grado, siempre se determina la sacarosa aparente; es decir no se obtiene el por ciento de sacarosa real.

Cuando se determina el por ciento de sacarosa utilizando la cromatografía, sí se obtiene la sacarosa real debido a que en esta técnica el detector produce una señal eléctrica que es enviada al registrador que realiza un gráfico de intensidad en función del tiempo denominado cromatograma.. El integrador calcula además el área correspondiente a cada pico, la cual es proporcional a la cantidad de sustancia.

Si se hace una comparación entre la determinación de sacarosa por polarimetría (pol) y por HPLC (% sacarosa), se observa que el por ciento de sacarosa da mayor cuando se utiliza el método del polarímetro, lo cual concuerda con lo explicado anteriormente.

Tabla 1 Comparación de los análisis de pol y sacarosa

CAI	Pol	% sac
F. Castro Ceruto	40,20	36,47
Bartolomé Masó	35,40	33,17
Arquímides Colina	37,40	33,99
Enidio Díaz	33,90	33,24
L. Arcos Bergnes	29,20	30,54
J.M. Pérez	33,70	30,64
P. Figueredo	38,50	37,28
C. Fabregat	28,80	27,56
A. Sánchez	34,40	33,95
Espartaco	31,20	29,46
Pepito Tey	36,20	36,23
5 de Septiembre	40,70	37,24

De modo general cuando se habla de por ciento de reductores en mieles finales nos referimos a la suma de glucosa más fructosa. En el caso del método tradicional Eynon-Lane (E-L) ocurre que el resultado incluye a cualquier reductor presente en la miel, lo cual no pasa con la determinación mediante cromatografía, de modo que se puede decir que los valores por E.L son mayores que por los métodos cromatográficos, lo cual se evidencia en la siguiente tabla de datos experimentales.

Tabla2 Comparación de resultados obtenidos en mieles finales

CAI	%red(HPLC)	Red E-L
F. Castro Ceruto	12,66	16,51
Bartolomé Masó	13,77	17,5
Arquímides Colina	9,12	16,88
Hendió Díaz	12,27	18,55
L. Arcos Bergnes	16,34	23,86
J.M. Pérez	13,55	19,44
P. Figueredo	12,54	18,17
C. Fabregat	12,17	18,1
A. Sánchez	11,13	19,88
Espartaco	8,6	16,41
Pepito Tey	10,57	16,66
5 de Septiembre	16,63	16,4

Lo antes expuesto explica una de las razones por la cual se deben utilizar métodos cromatográficos para el estudio del agotamiento de las mieles finales, ya que los resultados así obtenidos tienen la exactitud requerida para este tipo de análisis.

➡ *Obtención de un modelo matemático capaz de determinar de modo aproximado el valor de la pureza esperada para las mieles finales del proceso industrial azucarero cubano*:

Un parámetro muy importante para analizar la eficiencia industrial azucarera lo constituye la pureza esperada de las mieles finales. Para poder obtener el valor de esta se hace necesario contar con una ecuación en la que la misma sea función de variables fácilmente medibles y que exista cierta correlación entre estas y los valores de pureza.

Muchos investigadores han desarrollado ecuaciones que relacionan la pureza esperada o de equilibrio de mieles finales en función fundamentalmente del contenido de reductores y de cenizas; pocas ecuaciones introducen otros factores como las macromoléculas o sustancias orgánicas. Entre las principales se encuentran:

Target purity =33.9-13.4 log[(F+G)]/Cen) Lousiana

Target purity =41.1- 8.7 log[(F+G)]/Cen) Australia

Target purity =38.5-7.7 ln (AR/Cen) Colombia

Con el objetivo de obtener esta ecuación se hace necesario contar con valores reales de todos los parámetros que se considere influyan en el valor de la pureza de las mieles finales saturadas, para entonces ajustar un modelo estadístico y determinar las constantes de la deseada ecuación. Es necesario tener resultados de análisis a mieles finales en los que se tenga absoluta certeza de que las mismas se encuentran en estado de equilibrio termodinámico o muy cercano a él, de tal manera que la ecuación obtenida sirva para juzgar al menos aproximadamente la eficiencia del subsistema de agotamiento.

El por ciento de cristales da de forma aproximada el estado termodinámico de una miel final al ser centrifugada: en equilibrio, cercano a él o sobresaturado en sacarosa, por lo tanto este parámetro sirve para definir cuales se encuentran en equilibrio o no. Se trabajó con valores obtenidos a partir del análisis a mieles finales de varios centrales del país, correspondiente a los años 1999, 2000, 2001,2002 y 2003; y cuyo % de cristales fuera menor de 3.31 g, debido a que por debajo de este valor es de esperar que la miel se encuentre en estado de equilibrio o cercano a él, según estudios realizados.

Una vez seleccionadas las mieles saturadas y con ayuda del paquete estadístico STATGRAPHICS Plus 5.0, se realizó una regresión polinómica, en la cual se analizó una posible ecuación de la pureza real con cada una de las variables asignadas al programa. De este análisis resultó el por ciento de reductores el parámetro más significativo, siendo así este término la variable independiente de la ecuación obtenida.

Se introdujeron los datos de pureza real, % sacarosa, %glucosa, %fructosa, % reductores, %poli + oligo, %cristales, %cenizas, %lodos, viscosidad además de las relaciones (impurezas / agua), (%fructosa / %glucosa), (%fructosa + %glucosa / %cenizas) y log (%fructosa + %glucosa / %cenizas).

La ecuación obtenida es de segundo orden y es estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95%.

Pureza Esperada= $47{,}73 - 1{,}11 * \%RED + 0{,}03 * \%RED^2$

Con esta ecuación puede predecirse de modo bastante confiable la eficiencia del proceso azucarero cubano.

Conclusiones

1. Se estableció una técnica analítica utilizando HPLC para determinar polisacáridos, oligosacáridos, sacarosa y azúcares reductores.La técnica propuesta requiere menor tiempo de análisis que los métodos tradicionales y pudiera ser utilizada como técnica de referencia en nuestro país.
2. La técnica propuesta nos brinda la posibilidad de la caracterización de las mieles finales cubanas por CAI, Provincia y compararla con otros países
3. Se obtuvo una ecuación que representa el agotamiento de las mieles dependiente de contenidos medidos por cromatografía. Se analizó la correlación de los parámetros medidos con las purezas determinadas.

Bibliografía

1. Hormaza J. , Casanova, E. González, E ., Tambara, Y ., Lines, G ., López, M., Anzardo, P., León , A ., Díaz, M., Castillo, C., Ramos , E., Rodríguez, J I., Gutiérrez, P. (1996), Premio Logro Academia *, Cuba Altas purezas en la miel final: el problema continua.*
2. Brokensha M.A (1986), Subject10 Sucrose in sugar cane, ICUMSA, 164-182.
3. Colectivo autores (1982). Manual Analítico de control Unificado para la producción de Azúcar Crudo (MACU), DNMCC, Dpto. Control de la Calidad, MINAZ.
4. . Rauh, J. S.,. Cuddihy, J. A., Falgout; Jr. and R. N. (1999), Midland Research Laboratories, Inc., USA Sugar Industry Technologists , Meeting: Estoril, Portugal.

EL BOLETÍN, UN INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN Y CONOCIMIENTO RÁPIDO, FIABLE Y BARATO.

V. Gladys Menéndez Zequeira.
Lucia Cruz González.
Pablo. L. Gutiérrez Moreno.

INSTITUTO CUBANO DE INVESTIGACIONES AZUCARERAS. (ICINAZ)
gladys@icinaz.co.cu

Gestión del conocimiento, Innovación tecnológica, Gestión de información

Resumen

La globalización de mercados y competidores constituye hoy día una realidad ineludible a la que se enfrenta cualquier empresa que pretenda ser competitiva. Este proceso supone operar en mercados externos para mantener la eficiencia y eficacia de los procesos. Dichos procesos sólo tendrán garantía de éxito si se produce un intercambio de información y conocimiento rápido, fiable y barato.

En el proceso de Innovación Tecnológica durante la preparación y asimilación de la producción, un elemento importante es disponer amplia y oportunamente de la información necesaria que desarrolle el pensamiento y las ideas innovadoras

El ICINAZ como centro Rector de la Innovación Tecnológica en el MINAZ ha creado un Boletín cuyo objetivo es difundir a través del mismo información sobre temáticas empresariales, gestión del conocimiento, vigilancia tecnológica, negocio, calidad, gerencia, innovación, estrategia, etc. Para contribuir a la gestión del conocimiento dentro del desarrollo y aplicación de la Innovación Tecnológica en nuestra Industria, tan necesario ahora que estamos enfrascado en la tarea Álvaro Reynoso, llevando el conocimiento a todas las empresas agropecuarias, centrales, viceministros, delegados y directores del organismo central, instituciones científicas y proyectos del MINAZ y otras.

THE BULLETIN, AN INFORMATION AND KNOWLEDGE INTERCHANGE TOOL THAT IS QUICK, RELIABLE AND CHEAP.

V. Gladys Menéndez Zequeira.
Lucia Cruz González.
Pablo. L. Gutiérrez Moreno.

CUBAN SUGAR RESEARCH INSTITUTE (ICINAZ)
gladys@icinaz.co.cu

Knowledge management, Innovation technological, Information management.
.

Abstract

The globalization of markets and competitors nowadays constitutes an inescapable harsh reality that any enterprises that pretends to be competitive has to face. This process supposes to operate in external markets to maintain the efficiency and efficacy of the processes. These processes will only warrant success if an information exchange accomplished that is quick, reliable and inexpensive.

In the process of technological innovation during the preparation and assimilation of the production, an important element is to have at your disposal the broad and timely innovation required to develop thought processes and the innovating ideas.

ICINAZ as the governing body for Technological Innovation in the MINAZ has developed a Bulletin whose objective is to diffuse information about business matters, knowledge management, technological monitoring, business, quality, management, innovation, strategy, etc; to contribute to knowledge management, within the development and application of the Technological Innovation in our Industry, so necessary now that we are carrying out the Alvaro Reynoso task, knowledge should be conveyed to all agricultural and livestock enterprises, sugar mills, vice-ministers, delegates and directors of the sugar ministry, scientific and design institutes, of the sugar ministry and others.

EL BOLETÍN, UN INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN Y CONOCIMIENTO RÁPIDO, FIABLE Y BARATO.

V. Gladys Menéndez Zequeira.
Lucia Cruz González.
Pablo. L. Gutiérrez Moreno.

Introducción.

Cada vez es más complejo lograr que las empresas sean competitivas y mantengan su liderazgo en el mercado, por lo que es necesario innovar permanentemente. Innovar es convertir ideas en productos, procesos o servicios nuevos o mejorados, que el mercado valora.

La innovación es un cambio en la forma de hacer las cosas, tanto en lo que se refiere a productos, tecnologías y servicios que ella ofrece, como la forma en que los produce, comercializa u organiza, para esto hay que estar en una permanente actitud de vigilancia del entorno y de mejoras de las capacidades de la organización.

La gestión de innovación no es más que el proceso orientado a organizar y dirigir los recursos disponibles, tanto humanos como técnicos y económicos, con el objetivo de convertirse en un instrumento capaz de contribuir al éxito y al desarrollo de la empresa, el cual crea nuevos conocimientos, genera ideas que permiten obtener nuevos productos, procesos y servicios o mejorar los existentes, y transferir esas mismas ideas a las fases de fabricación y comercialización.

En la institución es vital diseñar un procedimiento para la gestión de la innovación, la que no se produce por si sola, es preciso gestionarla, alimentarla y controlarla de forma sistemática. Para gestionarla y alimentarla se deben conocer las señales del entorno que la alerten sobre amenazas y oportunidades, interpretar estas señales y definir una estrategia. Para esto es importante la revisión continua de entorno y de todas las fuentes posibles de información.

La información para cualquier empresa es hoy un instrumento básico e indispensable, sin ella es imposible mantener la sintonía con las cambiantes condiciones del mercado, y constituye el punto de partida para la toma de decisiones en las organizaciones.

La mayoría de la información valiosa está en el exterior, sin embargo, la complejidad y abundancia de esta hacen difícil la tarea de captar nuevas ideas y nuevos resultados. Organizar y tratar dicha información, y disponer de la misma en el momento oportuno, es un cometido de la vigilancia, la que es vital, para llevar la introducción de la innovación en cualquier empresa.

La innovación sistemática esta muy ligada a la vigilancia; la innovación requiere de una búsqueda organizada con un objetivo, los cambios del entorno y el análisis de sus implicaciones. Todos ellos son también elementos característicos de la vigilancia. Para las empresas innovadoras no basta con tener acceso a la información, es necesario saber que información buscar y donde. Una vez que se cuente con la información y el conocimiento necesario es importante saber como aplicarlos para transformarlos.

La vigilancia está estrechamente unida a la gestión de innovación y a la estrategia de la empresa. Esta debe ser organizada, selectiva y permanente, para captar la información del exterior, analizarla y convertirla en conocimiento para la toma de decisiones con menor riesgo y lograr anticiparse a los cambios. Ella posibilita el desarrollo y ejercicio de la función de inteligencia y la gestión de conocimiento, al velar por la adecuada difusión, comunicación y utilización de la información dentro de la empresa.

En la etapa de preparación y asimilación de la producción, un elemento importante es disponer amplia y oportunamente de la información necesaria que desarrolle el pensamiento y las ideas innovadoras.

El objetivo de este Boletín es difundir a través del mismo información sobre temáticas empresariales, gestión del conocimiento, vigilancia tecnológica, etc. para ayudar a un mejor entendimiento y comprensión en el desarrollo y aplicación de la Innovación Tecnológica en nuestra Industria después de los cambios realizados.

Desarrollo.

El ICINAZ como centro Rector de la Innovación Tecnológica en el MINAZ ha creado un Boletín para difundir a través del mismo información sobre temáticas interesantes y pudiéramos decir de moda en estos momentos de cambios empresariales, de negocio, etc, difíciles de llegar a los CAI y las granjas agropecuarias de nueva creación.

La innovación tecnológica es la materialización de los avances que se derivan del conocimiento acumulado y que se concreta en la creación, producción o venta, difusión de nuevos y mejorados. La innovación tecnológica es el acto por el cual se introduce por primera vez un cambio técnico determinado en una empresa. Es el resultado de acciones que propicien el desarrollo, la producción y la comercialización de nuevos o mejorados productos y/o servicios. Incluye además la reorganización de procesos productivos, la asimilación o mejora sustancial de un servicio o proceso productivo y que todas estas acciones hayan satisfecho una necesidad social o que estén avaladas por su éxito comercial. Un proceso es considerado una innovación, si pone en marcha nuevas técnicas, tanto para la fabricación de nuevos productos, la prestación de nuevos servicios como para la elaboración de productos ya existentes. Según Fernando Machado, la innovación tecnológica es el acto frecuentemente repetido de aplicar cambios técnicos nuevos a la empresa, para lograr beneficios mayores, crecimientos, sostenibilidad y competitividad.

Actualmente existe un crecimiento de trabajos científicos y de las aplicaciones tecnológicas de estos, una explosión tanto de las fuentes de información, como de los medios de acceso a las mismas (Internet, Bd "en línea" o CD-ROM, grupos virtuales, etc.) La introducción de tecnologías horizontales y el rápido surgimiento de campos de actividad, presentando nuevos retos a la empresa fuera del dominio habitual de sus competencias, por lo que sólo mediante un proceso sistemático que suministre la información pertinente en el momento oportuno, para la toma de decisiones, podremos anticipar tanto las amenazas como las oportunidades derivadas de los cambios producidos.

La actualización continua de los objetivos o factores críticos a vigilar y su difusión en la organización servirán para estar más atento, de qué es, lo que hay que proteger con mayor celo en cada momento; es ineludible un sistema organizado de observación y análisis del exterior, seguido de una correcta circulación interna y utilización de la información, lo que constituye la esencia de la vigilancia tecnológica, y debe participar el colectivo de la empresa con el concurso de recursos externos si es necesario.

Es preciso que la información que circule en la organización tenga significado para sus destinatarios, especialmente los que toman decisiones. La característica que debe reunir la información es que sea útil, tenga significado, y cumpla su función. El esfuerzo colectivo y organizado de adquisición, tratamiento y difusión de información, es lo que se integra a la vigilancia, esto se justifica desde la óptica empresarial, si se destina a su transformación inmediata en valor, capaz de satisfacer las expectativas y criterios para la toma de decisiones. Para cualquier empresa es importante la correcta administración y optimización de sus recursos, especialmente los humanos, por lo que debemos plantearnos, iniciar y formalizar la función de vigilancia, localizarla, sistematizarla y estructurarla; responsabilizando a determinadas personas capacitadas para dicha función.

Es vital que los Directivo identifiquen la actividad de Vigilancia Tecnológica de manera que reconozcan su importancia, conozcan los pasos para sistematizarla y convertirla en un instrumento eficaz de apoyo a la innovación tecnológica, a la estrategia empresarial y como fuente de generación de ventajas competitivas para la organización.

La búsqueda se ha centrado en las temáticas de Innovación tecnológica, Vigilancia tecnológica, Estrategia e Inteligencia empresarial, Gestión del conocimiento, Calidad, Negocio, Marketing, sitios de interés y centros de investigaciones, Internet, Gerencia, etc. Estas resultan un instrumento sencillo y útil que a través del Boletín puedan ayudar a un mejor entendimiento y comprensión en el desarrollo y aplicación de la Innovación Tecnológica en nuestra Industria después de los cambios realizados. Además le brindamos la posibilidad de solicitar los artículos que más les interese.

Resultado.

Editamos un Boletín que en un principio fue en una

1ra Etapa. Formato Word
Emisión Semanal durante 6 meses.
No. de boletines 27

2da Etapa. Formato Word con Link o PDF
Emisión semanal durante 2 meses
No. de boletines 10

El Boletín que editamos actualmente es quincenal y consta de las siguientes secciones.

- Se realiza en formato Word con Link y PDF.
- Artículos, de Azúcar, Negocios, Calidad, Gerencia, Empresarial, Gestión del Conocimiento, etc.
- Noticias de Ciencia, Salud y Tecnología.
- Minutos de sabiduría
- Curiosidades y propaganda de servicio.

En esta etapa tenemos 13, para un total de 50 hasta el mes de febrero del año en curso.
Las temáticas puestas son.

Tema	Cantidad de Artículos
Azúcar	73
Empresarial	25
Gestión del conocimiento	22
Calidad	20
Innovación	19
Negocio	17
Estrategia	15
Internet	11
Marketing	5
Gerencia	5
Pymes	5
Empresas Incubadoras	4
Vigilancia Tecnológica	3
Curiosidades	75
Otros	56

Aspiramos a mejorarlo con.

- HMLT.
- Dinámico.
- Más interactivo.
- Propaganda mejor elaborada.

Nuestros usuarios hasta el momento son.

- Empresas azucareras
- Los Complejos Agro-Industriales
- Viceministros.
- Delegados y Directores del MINAZ.
- Grupos empresariales (GEA Y GECA) del MINAZ
- Directores del IPROYAZ, INICA, ICIDCA.
- Técnicos del ICINAZ .
- Frente de proyectos.
- Otros

Hemos recibido comentarios favorables acerca del mismo así como sugerencias de búsqueda y solicitud de información, que nos ayuda a superarnos para prestar un mejor servicio y que aporte mayor conocimiento.

Conclusión.

Para la instauración de un sistema de "Innovación Tecnológica" en el MINAZ la presencia de un Boletín de esta naturaleza reviste una importancia capital para lograr que se cierre el ciclo desde la recolección de los datos, la información, el conocimiento y la Innovación Tecnológica.

HACIA UNA NUEVA CONCEPCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

Rubén Mondui González

ICINAZ
monduy@icinaz.co.cu

RESUMEN

Con los cambios operados en el Sistema MINAZ y en el entorno productivo internacional, el mantenimiento en la producción de azúcar de caña se encuentra ante un reto de adaptación.

Esta nueva concepción, en una primera etapa y con el objetivo de disminuir la contribución de los costos de mantenimiento de un 24% a un 18% del costo de la producción bruta de azúcar, implica algunos cambios conceptuales importantes:

- El mantenimiento como un servicio
- La estructuración de brigadas integrales de mantenimiento
- El autofinanciamiento de la actividad de manera que sólo se adiciones al costo del azúcar producido lo que realmente se gasta en su producción

Para finalmente lograr la integración del mantenimiento al sistema productivo a través del Mantenimiento Productivo Total.

Algunas herramientas se han identificado para la materialización de estas concepciones, entre ellas:

- La consolidación del empleo de técnicas no destructivas y del mantenimiento preventivo
- El empleo de técnicas de computación en la organización
- La aplicación de auditorías de la gestión del mantenimiento
- La conformación de una red de servicios de estructura piramidal
- La capacitación como la inversión más importante

Palabras clave: mantenimiento, servicios, auditorías, gestión

TO A NEW CONCEPTION IN THE MAINTENANCE IN CUBAN SUGAR INDUSTRYRERA

Rubén Mondui González

ICINAZ
monduy@icinaz.co.cu

ABSTRACT

The changes carry out in the sugar production in Cuba and in other countries in the last time conduce the sugar cane production maintenance is located in front of an adaptation challenger.

This new conception with the objective to low the contribution of the maintenance cost to the total costs of sugar production from 24% to 18% in the first step involves many conceptual changes:

- The maintenance as a service
- The organization of integral maintenances brigades
- The auto financial effort for increases the sugar cost, only when actually was spend in sugar production

Finally is necessary to obtain the integration of maintenance to productive system across the Total Preventive Maintenance.

Some tools have been identified in order to materialize this conceptions:

- The use of computational techniques in the organization
- The application of maintenance exertion auditorships
- The conformation of a service pyramidal network
- The qualification as the more important inversion

Key words: maintenance, services, auditorships, management

Introducción

Los cambios acaecidos en la industria azucarera mundial motivados por los bajos precios en el Mercado internacional y el elevado precio de los combustibles fósiles, entre otras causas han motivado una revisión a fondo de todos los elementos de gastos entre los que el de Mantenimiento juega un papel de relativa importancia.

Particularmente en Cuba, los profundos cambios en el sector provocan la necesidad de una revisión de conceptos tradicionales en esta actividad, con vistas a disminuir los costos de mantenimiento por tonelada de azúcar producida cercanos en la actualidad al 20% (1).

En este trabajo se realiza una revisión de los aspectos más importantes de la ingeniería del mantenimiento y de la dirección a la que van orientados los cambios más importantes.

Resultados y discusión

La vieja concepción de la actividad de mantenimiento, mezclada con la esfera productiva de manera que se hace difícil separar los costos que verdaderamente se corresponden con el producto terminado y la identificación real de las ineficiencias técnico económicas, es un enfoque que deberá ser superado. Este paso requiere de una separación inicial de ambas actividades (productiva y de mantenimiento). Pero una separación sólo táctica, que responde a la necesidad de identificar plenamente las actividades, porque como paso posterior ambas actividades se irán integrando harmónica y coherentemente en el camino hacia el llamado Mantenimiento Productivo Total (2, 3).

Otro aspecto de relativa importancia es el relacionado con la necesidad de lograr una actividad integral del mantenimiento cuyo objetivo no es reparar lo dañado, sano garantizar la disponibilidad técnica del equipamiento durante todo momento a partir de la creación y el mantenimiento de condiciones óptimas del estado técnico de los equipos. Esta integralidad no se limita exclusivamente a la industria sino que abarca también la maquinaria agrícola y el transporte.

La creación de un sistema integral de servicios (4) de estructura piramidal a partir de una red de instituciones con carácter nacional, territorial o local en función de las solicitaciones del servicio apuntala la visión de un mantenimiento soportado en Servicios a la Producción, con relativa independencia en su gestión económica y que garantiza la existencia de estos servicios no sólo para la fabricación de azúcar y sus derivados sino también para otros sectores que los demanden.

Para la consecución de los objetivos propuestos el manejo y la utilización de sistemas computarizados en la gestión del mantenimiento garantiza una eficiencia técnico-económica impredecible. Este aspecto se relaciona no sólo con el empleo de software para la gestión de la actividad sino también con su vinculación con sistema supervisorios y de control empleados en el sector productivo. El empleo de esto medios lleva implícita la recuperación, creación y actualización de la documentación de la actividad, especialmente lo referido a las normas técnicas, los reportes, etc. La utilización de tales sistemas permite y facilita la creación de un Sistema de Gestión de Calidad del Mantenimiento y la realización de auditor''ias tanto internas como externas que

La incorporación de nuevas tecnologías en los sistemas de mantenimiento no puede ser sólo una actividad orientada desde estratos jerárquicos superiores, sino que debe nacer en el diario trabajo del Mantenimiento con la plena aplicación de los resultados de la ciencia y la tecnología a través de la Innovación Tecnológica para propiciar lograr el mínimo desarme, el monitoreo en tiempo real del equipamiento que así lo amerite (turbos, ventiladores, etc.) el empleo del técnicas predictivas y no

destructivas, la creación de laboratorios de mecánica dirigidos por un laboratorio nacional y el desarrollo de un amplio programa de recuperación y producción de piezas y componentes, propiciando el desarrollo del espíritu creativo en cada trabajador dedicado al mantenimiento.

Una actividad de vital importancia para garantizar el éxito de los cambios que se avecinan es la de Capacitación con nuevos enfoques: no sólo una capacitación limitada a cursos o entrenamientos más o menos largos y profundos, sino también a la capacitación diaria, en el puesto de trabajo que garantice la superación constante del hombre, su permanencia y el desarrollo de sus habilidades y de su poder creativo para la solución de los problemas a los que se enfrenta con el criterio de que es esta la principal inversión en la consecución de estos fines.

Por otra parte la necesidad de crear la mentalidad de que la producción azucarera, como productora de alimentos, requiere condiciones de asepsia, higiene, etc. muchas de las cuales han de ser garantizadas por los trabajadores dedicados a la actividad de Mantenimiento.

Conclusiones

El sistema de Mantenimiento en la fabricación de azúcar y derivados está caracterizado en el presente por una época de profundos cambios que incluyen entre otros:

- Desagregación del proceso productivo, tanto espacial como económicamente, como primer paso hacia una identificación total
- Concepción del Mantenimiento como un servicio a la producción, brindado de forma integral y que no se limita al área productiva sino que abarca también la maquinaria agrícola y el transporte
- Introducción de los avances científico-técnicos en la actividad a través de la Innovación Tecnológica

En todos los casos para lograr la disminución de los costos por este concepto y garantizar que se contabilice como costos de la tonelada de azúcar lo que realmente se emplea en su producción.

Referencias

(1) Mondui R. Corrosión y Mantenimiento. Curso de Postgrado ICINAZ. 2003
(2) Productivity Futures. Tools & Techniques. The Productivity Portal. Total Productive Maintenance. www.lmu.ac.uk
(3) Mantenimiento Productivo Total. Conferencia impartida por Ing. René Martínez. Reportado por ultimo@cantv.net
(4) Catálogo de Servicios MINAZ 2003. 55 pp

PROPUESTA DE TECNOLOGIA PARA EL ALMACENAMIENTO DE CAL, PREPARACIÓN CONTÍNUA Y ADECUADA DOSIFICACIÓN AL JUGO

Serapio Morales Márquez
Justo Planas González
Reina Rodríguez Rodríguez
Omaida Morejón Fuentes

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ)
e-mail: director@icinaz.co.cu

Palabras Claves: cal , almacenamiento, clarificación

Resumen

Se pretende eliminar fundamentalmente la manipulación de la cal hidratada envasada en sacos multicapa de papel craft por un sistema a granel.
Para esto se propone un semi-remolque que contiene una capacidad de 12 t., es decir 2 tanques de 6t. cada uno para el trasiego de la cal desde la calera al central.
El silo de almacenamiento de la cal a granel posee una capacidad de 48 m^3 que almacenaría 27.6 t de cal hidratada. Además es de sección cuadrada de 3 m. de lado y una altura máxima de 9,25 m.
Este silo funciona por gravedad y sus paredes tienen un plegado trapecial de construcción sencilla on el fin de disminuir la presión en el fondo y el apisonamiento de la cal.
La cal impulsado por un compresor hasta un pequeño ciclón que la deja caer suavemente sobre el tanque de preparación de lechada de cal.
La lechada de cal de 5ºBe se purifica mediante un hidrociclón. El flujo salvado , que será la lechada purificada se almacena en tanques donde es bombeada hasta el dosificador de flujo que automáticamente controla la amplitud de la cortina de la lechada que alimenta al alcalizador progresivo por su parte superior. Es aquí donde se efectúa la alcalización del jugo de forma progresiva.

Abstract

Hidrated lime packed multi-ply paper bags is to be replaced by a bulk handling system.
A 12 t. trailer carrying two 6 t. tanks will be usedto move to and from the lime kiln to the sugar factory.
For lime storage a 48 m^3 silo is proposed,of square section (9 m^2) and a maximun heiht of 9,25 m which con hold about 27 t. of lime.
The silo sunctions by gravity and its walls are trapezoidal in section to diminish bottom pressure and lime tamping.
Lime is moved by air compressor to a small cyclone separtor which gently deposits it upon the lime suspenion preparation tank.
The lime suspension of 5º Be is purified in hydrocyclone. The purified flow is stored in tanks and pumped to the flow dosifier that automatically regulates the flow to the progressive alkalizing system.

INTRODUCCION

El uso de la cal para el tratamiento del guarapo data de hace 300 años por lo menos y quizá sea mucho más antiguo. Actualmente la ciencia moderna no ha podido encontrar algún agente más apropiado (David 1986).
El procedimiento general consiste en aplicar la cal en la defecación en forma de lechada de cal; que es una suspensión de $Ca(OH)_2$ en agua con una densidad de 4 a 5 ó 10-15 ºBé. El empleo de lechada menos densa es cuando los dispositivos de alcalización son automatizados.
En Cuba existen diversas caleras distribuidas en todo el país. Su producción no esta solamente encaminada a satisfacer las necesidades de la industria azucarera sino de otras que la utilizan pudiendo la cal requerir calidades diversas.
Para el tecnólogo azucarero lo fundamental es el contenido del CaO en la piedra calcinada que en casos excepcionales pueden ser tan altos como 98% pero en la práctica fluctúa entre 85-92%.
La cal viva es engorrosa su manipulación, no debe ser almacenada por períodos largos, lo que obliga a la planta de calcinación operar sujeta a demanda. Por estas razones las fábricas cubanas usan generalmente el hidrato de cal.
El hidrato de cal ideal contendrá 75.7% en CaO, en la práctica se obtiene 65-68%. A veces este valor es inferior ,el cual se agudiza por el método por no emplear el método adecuado de preservación (Morales 2002), (García 1999).
Cuando se utiliza el hidrato de cal es necesario preparar una suspensión a determinada densidad y debe prestarse atención al tipo de agua utilizada (Díaz 2000) .
La cal empleada en la alcalización de los jugos debe ser cuidadosamente escogida. Hay un efecto perjudicial producto de la mala preparación en las caleras (Rodríguez 1988), introduciendo sílice ocluida y materias orgánicas que deberían eliminarse en éstas.
Con el objetivo de mejorar la calidad de la lechada, ésta puede sometersе a diferentes tratamientos entre los que Dorta (1988, 1999) estudio fue el emplear un hidrociclón.
Esta cal se aplica directamente o transformada en sacarato al jugo (North 1981), Hol (1996), Carrazana (1993) ó empleando algún equipo para lograr una rápida y mejor mezcla con el jugo (Díaz 2001), (Quijano 1989), (Bango 1995).
De acuerdo a los resultados obtenidos durante el estudio de las diferentes etapas , así como la actualidad de la información consultada y la experiencia acumulada se plantea la siguiente propuesta de tecnología .

MATERIALES Y METODOS

Para poder obtener esta propuesta , se ejecutaron una serie de etapas cuyos objetivos son; en primer lugar tener una información sobre esta área, mediante la consulta de literatura especializada , patentes, etc. También se recopiló el estado actual en nuestro país de la misma.
Se procedió a caracterizar la cal de algunas caleras y se estudió diferentes variantes de preservación del CaO aprovechable.
Además se efectuaron experiencias sobre el carácter abrasivo de la lechada de cal en el sistema de bombeo.
También se realizó ensayos sobre el comportamiento del CaO aprovechable en lechadas de cal de 5, 10, 15 y 20ºBé a través del tiempo de preparadas, así como variantes de purificación de la misma empleando diferentes diseños de desarenadores o hidrociclón.
En la preparación del alcalizante se ensayaron métodos de preparación y aplicación de sacarato de calcio obtenidos a partir de jugo clarificado o meladura.
Se aborda un análisis de diferentes equipos de aplicación del alcalizante al jugo.
Finalmente se realiza una evaluación técnico- económica preliminar de los procesos recomendados.

RESULTADOS

En el estudio bibliográfico se encontró que en Cuba las especificaciones de calidad para el hidrato de cal según plantea el Manual de Operaciones para la producción de azúcar crudo de caña (Anon 1995), la cual se resume a continuación:

TABLA No. I

NORMATIVAS DE CALIDAD DE LA CAL EN CUBA

CaO aprovechable	Mín. 70%
MgO	Máx. 2,5%
Insolubles en HCl	1,5%
Humedad	Máx. 2,0%
Sílice en forma de óxido	Máx. 2,0%
Pureza del hidrato	Mín. 92,0%

En los ingenios que utilizan cal viva deben exigirse el 85% de OCa aprovechable como límite inferior de calidad. El contenido de OCa es el indicador básico de la calidad de la cal , Aunque el resto de los componentes deben ser vigilados también ya que las impurezas contenidas en la cal pasan íntegramente al jugo y se suman a las ya existentes.
En un trabajo desarrollado en la calera Noel Fernández, Alvarez (1999) encontró los siguientes resultados que comparado con las de otros países tendremos:

TABLA No II

CALIDAD DE LA CAL Y COMPARACION CON OTROS PAISES

PAIS / PARAMETRO	JAVA	MEXICO	E.E.U.U.	CALERA NOEL FDEZ.
Pureza(%)	96,4	91,0	97,0	83,0
CaO aprovechable(%)	72,0	69,0	73,4	70,0
Residuos insolubles(%)	0,1	2,0	-	-
Humedad(%)	2,2	2,0	-	5,0

La industria azucarera cubana se ha caracterizado por un consumo variable de cal para la producción de crudos, como se muestra en la tabla siguiente:

TABLA No.III

VALORES DE CONSUMO PROMEDIO DE CAL POR ZAFRA.AÑO 1993-01

ZAFRA	93	94	95	96	97	98	99	00	01
CaO (g/t caña m.)	700	970	1340	1250	650	640	1027	993	998

El consumo de cal ha registrado un incremento sostenido llegando a valores cercanos y superiores a 1000 g./t de caña molida con relación a los 300-400 g./t de caña molida que se empleaban antes en la industria azucarera.
Las causas fundamentales que han motivado este incremento según García (1999) son:

Deficiencia en la calidad de la cal (tabla IV)
Mala contabilidad de la cal, pues se carga a producción, cal destinada a otras funciones
Inestabilidad en las molidas, incumplimiento de la molida horaria
Mala calidad de la caña, trae problemas de jugos desbalanceados, molida de caña vieja

TABLA No IV

VALORES DEL PORCIENTO DE CaO APROVECHABLE EN LAS ZAFRAS 1993-98

ZAFRA	93	94	95	96	97	98
CaO(%)	55,33	64,74	60,40	55,73	60,72	60,60

Como se puede apreciar en la tabla estos valores se encuentran por debajo de la norma que establece el MINAZ (70%).
Con relación al almacenamiento de la cal, en Cuba se transporta generalmente en bolsas de papel multicapa las cuales actualmente están diseñadas para la tecnología de llenado con la ayuda de aire a presión. Como es lógico existen pequeñas perforaciones en el papel para dar salida al aire en la operación de llenado. Estos pequeños orificios se encuentran sobre la zona central de la bolsa. El almacenaje de cada bolsa sobre la otra ayuda a mantener un poco más hermético el contacto de la cal del saco con el medio ambiente
En las experiencias de laboratorio en la cual se estudio diferentes tipos de almacenaje en la búsqueda del más adecuado se encontró los siguientes resultados que se muestran en las tablas V y VI.

TABLA No. V RESULTADOS DE LA CINÉTICA DE RECARBONATACIÓN DE LA CAL EN ENVASE DE PAPEL KRAFT MULTICAPA

MUESTRA No.	CaO APROVECH. (%)	TIEMPO (d)	CONVERSIÓN (%)
1	65,80	0	0
2	64,00	15	2,73
3	62,28	31	5,34
4	60,49	45	8,06
5	58,57	61	10,98
6	56,75	76	13,75
7	54,98	91	16,44
8	53,09	106	19,31
9	48,18	143	26,77
10	46,70	153	29,02

TABLA No. VI RESULTADOS DE LA CINÉTICA DE RECARBONATACIÓN DE LA CAL ENVASADA EN LATAS METÁLICAS CON TAPAS A PRESIÓN

MUESTRA No.	CaO APROVECH. (%)	TIEMPO (d)	CONVERSIÓN (%)
1	65,80	0	0
2	65,76	29	0,06
3	65,68	60	0,18
4	65,64	90	0,24
5	65,52	105	0,42
6	65,40	142	0,60
7	65,34	172	0,69
8	65,28	202	0,79
9	65,27	231	0,80
10	65,10	262	1,06
11	65,04	290	1,15

Como se puede apreciar en los resultados de estas tablas la forma de envase más adecuada para la preservación del Oca aprovechable es el conservado en envases metálicos con tapas herméticas. La recarbonatación fue de 1,09 % a los 290 días. La envasada en sacos de papel craft multicapa con perforaciones centrales y llenado con aire se aprecia una recarbonatación del 29,02% al cabo de 153 días. Ya a partir de los 45 días se tiene un grado de conversión de 8,06% dando lugar a que cales de 60,49% de OCa aprovechable resulten deficientes su empleo en el proceso de purificación, La peor fue la dejada a la intemperie a granel con una conversión de 53,79% a los 27 días.

En la búsqueda de una mejor solución al problema de la pérdida del contenido de OCa aprovechable se han diseñado silos, para lograr una óptima utilización de la cantidad de OCa producido en las caleras, para abaratar los costos de transportación, resolver el déficit de sacos multicapa, eliminar los gastos de divisas convertible y además hacer del proceso de manipulación del producto una labor más normal y humana. con esto facilitamos la implementación en la industria azucarera de las normas ISO-9000 e ISO-3400.

Para esto se propone un semi–remolque que tiene una capacidad de 12 t., es decir 2 tanques de 6 t. Cada uno para el trasiego de la cal desde la calera al central. Es posible de acuerdo a las condiciones existentes utilizar ferrosilos o un tractor con una carreta que posea montado un tanque de 6 t.

Estos equipos pueden tener compresor de aire o servirse del compresor existente a pie del silo. Con la ayuda del compresor que debe tener ciertas características, semejantes a las de trasiego del cemento(Planas 2001) se pasa la cal hidratada.
El silo de almacenamiento de la cal a granel posee una capacidad de 48m³, que almacenaría 27,6 t. De cal hidratada. Además es de sección cuadrada de 3 m de lado y una altura máxima de 9,25m.
El silo funciona por gravedad y sus paredes tienen un plegado trapecial de construcción sencilla con el fin de disminuir la posesión en el fondo y el apisonamiento.
Posee un sistema de tolvas y contratolvas y un sinfín de paso variado, para evitar el abovedamiento del material en la extracción hacia el colector, donde es impulsada por el aire del compresor "Betico" hasta un pequeño ciclón, que además de separarla del aire, la deja caer suavemente sobre el tanque de preparación de la lechada de cal.
En esta área aparecen tres tanques, dos de ellos semejantes de 3,64 m³ y uno de 7,28 m³ para un CAI de 1035 t de caña por día de zafra . En el tanque mayor se prepara la lechada a 5ºBé y esta se purifica mediante un hidrociclón que tendrá las siguientes característica:
-Bateria de dos hidrociclones
-Diámetro.....150 mm
-Altura superior del cono..... ...130 mm
-Altura del cono.....522 mm
-Diámetro de la boquilla de salida.. 3 mm
-Presión media de operación.....254973 Pa.

El flujo salvado, que será la lechada purificada se llevarán a los tanques pequeños y el rechazo, que contiene las impurezas, saldrán hacia un tanque colector que las sacarán del sistema
La lechada purificada es bombeada hacia un dosificador de cascada que automáticamente se controla la amplitud de la cortina de la lechada que alimenta al alcalizador progresivo por su parte superior.
En el alcalizador progresivo en donde se efectúa la alcalización del jugo de forma progresiva. El jugo mezclado es alimentado por la parte inferior .
Las características fundamentales del alcalizador son:
Volumen del equipo.....6,15 m³
Volumen de trabajo.....5,80 m³
Peso de equipo vacio.....2272 kg
Peso del equipo lleno.....8414 kg
Temperatura de trabajo..... 85°C
R.P.M.....20-25-30
Potensia del motor..... 1 KBT

El pH del jugo alcalizado debe estar entre 7,5 y 8,4 el cual depende de las características de la materia prima y del tipo de clarificador que hay instalado. Esta forma de operar dará jugos clarificados con un pH entre 6,9 y 7,2.
Se recomienda por cada 100 t. de caña de molida diaria un equipo como el relacionado anteriormente.

EVALUACIÓN TÉCNICO –ECONOMICA DE LA TECNOLOGÍA

En el proceso de fabricación de azúcar crudo una buena clarificación depende de muchos factores, entre otros, la cal de buena calidad.

Además de la mala calidad de la cal que pudiera tener de acuerdo a su procedencia, existe el inconveniente de que la cal es un producto que en contacto con el dióxido de carbono formando carbonato de calcio.
Es conocido los problemas que están originando en la tierra la contaminación ambiental y los esfuerzos que realizan muchas organizaciones por preservar el medio ambiente. Es por eso que todo lo que se proponga éste objetivo es importante analizar.
En la actualidad la cal es transportada en sacos de papel y el obrero debe manipularla directamente lo que trae como consecuencia que se originen problemas desde el punto de vista ambiental.
Las condiciones de trabajo de éste operario, no son las adecuadas, pues las bolsa tienen que cargarlas manualmente.
El aperario que prepara la lechada de cal debe romper las bolsas de papel y manipular éste producto químico muy agresivo, por su avidez por el agua lo cual provoca lesiones en los ojos, mucosas y piel en general.
Los sacos de papel se rompen en la transportación y se derrama éste polvo que agrede el medio ambiente.
No se posee las estadísticas de las enfermedades respiratorias y de otros tipos, provocadas a los operarios que trabajan y a las personas que están alrededor de ésta área, pero sabemos que quemaduras , bronquitis, etc., son frecuentes.
Esta tecnología además de los ahorros en sacos de papel multicapa y en cal, por la mejora en la calidad de la misma, también se ahorra en mantenimiento de las bombas, tuberías y calentadores ya que sufren menos desgastes por la erosión.
No menos importante son las condiciones de trabajo de los obreros, ya que con la aplicación de la misma se elimina el trabajo manual , con las consecuencias que trae esto, además de la fuerza física que hay que realizar, hay que tener en cuenta que es un producto agresivo al hombre y a la naturaleza.

CONCLUSIONES

1.-Emplear un silo con capacidad de 48 m3 que almacenaría 27,6 t. de cal hidratada para lograr una mínima recarbonatación de la cal almacenada en el tiempo (1,09% en 290 dìas).
2.-Utilizar carro silo de 12 t. para transportar la cal a granel. Se debe emplear compresor “Betico” o semejante para el traslado del polvo de cal hidratada evitando de este modo el trasiego manual, mejorando las condiciones humanas y del medio ambiente.
3.-Purificar la lechada de cal de 5°Bé preparada por una batería de hidrociclones para disminuir impurezas sólidas (90%)y favorecer la disminución de tamaño de las partículas en suspensión.
4.-Emplear un alcalizador progresivo para tratar el jugo mezclado y el jugo de filtro con el alcalizante
para lograr menos contenido de coloides, iones calcio, mayor conversión de fosfatos , mayor velocidad de sedimentación y compactación de sedimento

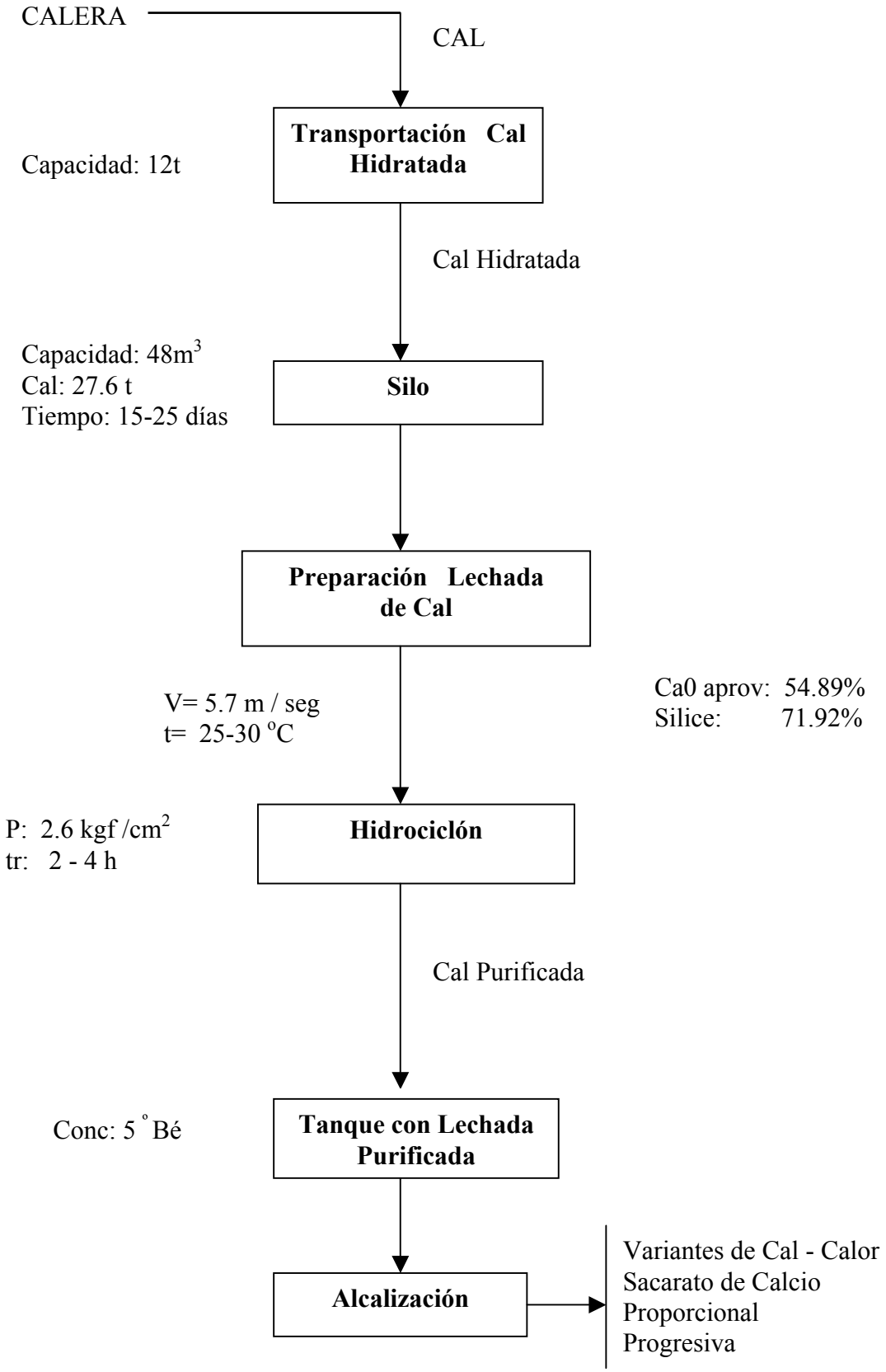
REFERENCIAS

1.-David E.(1986) La cal y su utilización en la fabricación de azúcar. CNCA. Dpto. Tecnología. Habana.
2.-Morales S. (2002) Memorias Diversificación ´2002 tomo IV p.p. 667-669.
3.-García Bring. L. (1999) Tesis de Diploma . Facultad de Química.ISPJAE Habana. Cuba

4.-Díaz E. (2001) Mejoras al equipamiento del proceso tecnológico. TomoIII Ed. .ICINAZ - MINAZ p.p.105-107,103-111
5.-Rodríguez. R. (1988) Revista ATAC No. 6 (Nov.-Dic) p.p.2-4.

6.-Dorta I. (1988) Dimencionamiento de los hidrociclones para el CAI Pablo Noriega. ICINAZ. Habana.
7.-Dorta I. (1988) Evaluación técnica del hidrociclón para la lechada de cal. ICINAZ.Habana
8.-Combs N. (1982) Proced. Annual Congress of South African Sugar Technologist Association (55) 71-74.
9.-Holl L.W. (1996) XII Congres. ISSCT Sec. Factory p.p. 172-180.
10.-Carrazana L. (1993) Revista Centro Azúcar 20 (3) Villa Clara. Cuba.
11.-Quijano Rojas A.M. (1989) Tesis de Grado..Facultad de Química. ISPJAE.Habana
12.-Bango J. (1995) Evaluación industrial del alcalizador progresivo ICINAZ. Habana
13.-Anon. (1995)Manual de operaciones para la fabricación de azúcar crudo de caña. Dirección de Tecnología. MINAZ.Habana.
14.-Alvarez Borroto R. (1999) Revista Centro Azúcar. Universidad Central Marta Abreu. Cuba. p.p.7-10.
15.-García Bringas L.(1999) Tesis de Diploma. Facultad de Tecnología. Universidad Central Marta Abreu. Cuba.
16.-Planas J. (2001) Características del compresor para el trasiego de cemento. Comunicación personal. MINBAS. Cuba

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO



LA COMPOSICION DE CARBOHIDRATOS DE LOS JUGOS DE CAÑA

Ramos E. L., Ravelo S., Pino S.*, Gutiérrez S.

ICINAZ; *INICA
elramos@icinaz.co.cu

RESUMEN

Palabras Claves: caña, composición, carbohidratos, D-Xilosa, Lactosacarosa.

En este trabajo se analiza el efecto de diferentes factores en la composición de carbohidratos de los jugos de cañas frescas de diferentes variedades, todas cultivadas en jardines ubicados en las tierras ferralíticas del sur de la Habana durante los años 1999 y el 2003. Especialmente se seleccionan variables que se han hallado que determinan el nivel de concentración de los Azúcares que Impurifican la Sacarosa(AIS) en los jugos de caña: las características de la variedad, la edad de la caña y la época del año. En los estudios se determina la concentración de componentes del jugo como: azúcares reductores, polisacáridos, Compuestos de Mediano Peso Molecular(CMP), Rafinosa, 1-Kestosa, D-Xilosa y Lactosacarosa. Se observa que en todas las variedades estudiadas, en la época de zafra, aparecen en sus jugos los 2 azúcares que mayor influyen en la eficiencia de la fábrica. La edad de la caña, factor más determinante sobre los niveles de AIS en los jugos, no determina en la composición de carbohidratos, resultando la época del año el factor que juega un rol principal. La caracterización se propone como metodología para la seleccionar variedades de mejor comportamiento industrial y para realizar las programaciones de corte. Se proponen algunas variedades como testigos para comenzar los estudios de variedades.

CARBOHYDRATE COMPOSITION OF CANE JUICES

Ramos E. L., Ravelo S., Pino S.*, Gutiérrez S.

ICINAZ; *INICA
elramos@icinaz.co.cu

ABSTRACT

Key words: cane, composition, carbohydrates, D-Xilosa, Lactosucrose

In this paper the effect of different factors on the carbohydrate composition of juices of fresh sugar cane of different varieties are discussed. Sugar cane varieties were cultivated between 1999 and 2003 years in the ferralitic soils of the Havana southern region. In the present studies those factors that has been previously demonstrated that determine the level of concentration of Sugar Accompanying Sucrose (SAS) in juices has been selected, that is to say: varieties characteristics, cane age and weather. The studies include the determination of different sugar in juices of fresh cane: reducing sugar, polysaccharides, middle molecular weight compounds (MMWC), Raffinose, D-Xylose and Lactosucrose. During the season, no mater the cane age, were observed D-Xylose and Lactosucrose in the juice of all studied varieties; recently the presence of those sugars in industrial cane juices has been associated with low factory efficiencies. Nevertheless, during the boom stage of all varieties, no mater the cane age, only the oligosaccharide 1-Kestose was always present in

juices. The analytic procedure is recommended for cane varieties selection and cane cutting scheduling. The use of some varieties, with low contents of D-Xylose and Lactosucrose, as standards for varieties selection studies is also recommended.

INTRODUCCIÓN

La mecanización de la cosecha de la caña si bien eleva la productividad de la industria azucarera en muchos casos acentúa problemas asociados a la calidad y composición de los de jugos que hacen menos eficiente a la fábrica de azúcar, Clarcke(1996); Lionnet(1998); Ravelo(2003a). Resultó evidente, luego de introducida la mecanización, que las impurezas presentes en los jugos de cañas troceadas y no molidas dentro de las primeras 16 h, dificultaban grandemente el proceso de cristalización de la sacarosa, haciéndolo más lento y provocando la formación de cristales de sacarosa alargados, los que resultan a su vez más coloreados, Hormaza(1984), Vaccari(1990).
Los estudio sobre la naturaleza de las impurezas asociadas a los problemas generalmente observados durante la cristalización de la sacarosa, inicialmente parecían señalar a las dextranas como los principales agentes involucrados, dado su capacidad de incrementar la viscosidad de las soluciones técnica de sacarosa Bubnik(1992), Cremata(1983).
No obstante, la profundización en el conocimiento sobre los azúcares que acompañan a la sacarosa en el jugo de caña y las evidencia que se fueron obteniendo del papel de los oligosacáridos en los cambios morfológicos del cristal de sacarosa, indicaban que los azúcares de bajo peso molecular podían tener un papel rector en el desarrollo de la cristalización de la sacarosa, Hormaza(1989), Morel du Boil(1991), Vaccari(1999), Vaccari(1999a).
Según nuestros propios estudios sobre la naturaleza de los Azúcares que Impurifican a la Sacarosa (AIS) en los jugos de cañas frescas de las variedades más utilizadas en nuestro país, se pudo determinar que resultaban ser mayoritariamente cinco, Ramos(2000), Ramos(2001), Ramos(2003b) . Estos azúcares aumentan su contenido luego del corte de la caña por la acción de las propias enzimas de la caña y en parte por la acción de las enzimas de origen microbiano, para así acumularse en los productos intermedios de la fábrica. De acuerdo a tales estudios en los jugos de cañas frescas y azúcares crudos se pudo demostrar la presencia de azúcares como la D-Xilosa, la 1-Kestosa, la Rafinosa y la Lactosacarosa, todos capaces de provocar cambios en la morfología del cristal de sacarosa, aunque se pudo demostrar que la aparición de los "cristales agujas" era provocada principalmente producto de la acción de la D-Xilosa y la Lactosacarosa, Ramos (2003a).
Estos últimos resultados obligan a reconsiderar el concepto de <u>Calidad de la Caña</u>, pues no basta que la caña sea rica en sacarosa en su etapa de madurez sino esta debe poseer la menor concentración posible de los anteriores azúcares en sus jugos. El uso de inhibidores enzimáticos del tipo IFOPOL ha demostrado ser una vía efectiva para aliviar el problema, ya que permite evitar la formación de estos azúcares entre el corte y la molida de la caña, Ramos(1998), así también como disminuir el contenido de estas sustancias en las cañas aun en pie, de tratarlas antes de la cosecha con las soluciones de estos productos, Ramos(2002), Ramos(2003),Ravelo(2003b).
No obstante, la selección de variedades y la programación de corte de la caña debe ser vista desde una nueva óptica, dado el impacto de los AIS en la eficiencia industrial.
En este trabajo se pretende profundizar el conocimiento sobre los factores que más determinan la aparición en los jugos de caña de aquellos AIS más dañinos a la fábrica de azúcar.

MATERIALES Y METODOS

Para la realización de los estudios se seleccionaron cañas de las diferentes variedades reportadas en las tablas, todas sembradas en tierras ferralíticas y pertenecientes a los jardines de los CAI M. Fajardo, P. Noriega y la EPICA de la Habana entre los años 1998-2003. Las muestras de cañas tenían las siguientes características generales:

- **Cañas plantas.**
- **Sembradas en primavera.**
- **Todas eran tallos (sanos) primarios de las cepas seleccionadas.**
- **Las cañas se seleccionaron de 5 cepas escogidas al azar entre todos los surcos o filas de cada variedad (los jardines tenían de 2 a 5 filas por variedad)**

Las muestras de caña se trasladaron inmediatamente al laboratorio donde cada una se desfibró, luego mezcló profusamente y se tomó una porción aproximada de 500 g para extraerle los jugos en la prensa hidráulica, empleando una presión de 200 Kg/cm^2 por 1 minuto. Los jugos obtenidos inmediatamente se les determinó la Pol, el Bx y su contenido de: Azúcares Reductores, Polisacáridos, CMP, AIS, D-Xilosa, Lactosacarosa, Rafinosa y 1-Kestosa.
La Pol el Bx y el contenido de Azúcares Reductores se realizó según las técnicas reportadas en el Manual Azucarero Cubano (MACU), Rodríguez(1982). Los polisacáridos totales se determinaron según el método de Leal(1972) y los CMP según el método de Rodríguez(1984) . Los AIS se determinaron según el método que hemos desarrollado en trabajos anteriores, Ravelo(1995). La determinación de la D-Xilosa, Lactosacarosa, Rafinosa y 1-Kestosa se realizó según una modificación de la técnica anterior utilizando la propia columna cromatográfica rellena con HYDROMAG, Ravelo(2003) de 2.5x12 cm y elusión frontal con mezcla hidro-alcohólicas de la concentración adecuada para la elusión de cada uno de los azúcares. El contenido de cada azúcar se determinó colorimétricamente según el método de antrona-sulfúrico usando como patrones de referencia a la D-Xilosa para este azúcar, la Sacarosa para la 1-Kestosa y a la Rafinosa para la Rafinosa y la Lactosacarosa. Durante los estudios del 2003 se empleó un gradiente alcohólico (90-30 de alcohol, 600 cm^3, 4 cm^3/min) para la separación de los AIS retenidos en la columna, reportándose la presencia o no de cada azúcar en el volumen de elusión anteriormente determinado para cada uno de ellos, Ramos(2000), Ramos(2001), Ramos(2003a).

RESULTADOS Y DISCUSION

Como enunciábamos mas arriba, la calidad de la caña debe ser descrita no por sólo por la riqueza en sacarosa que posea una variedad dada en su período de madurez, si es que se desea producir azúcar de manera eficiente. Para seleccionar una variedad dada o incluso decidir el momento óptimo de su corte debe tomarse en consideración el contenido en sus jugos de otros azúcares, AIS, que pueden impedir la cristalización o el recobrado de la sacarosa originalmente presente en la misma. Dentro de los AIS presentes en las cañas, los más dañinos, capaces de inhibir el proceso de cristalización y deformar el cristal de sacarosa, resultan ser la D-Xilosa y la Lactosacarosa, Ramos(2000),Ramos(2001), Ramos(2003b), Ravelo(2003a) .
Estos resultados obligan a conocer en detalles que factores, además de las propias características de la variedad, están asociado a la aparición de los azúcares antes mencionados en los jugos de caña.
Según nuestros anteriores estudios, resulta evidente que los principales factores que determinaban en nivel de AIS en los jugos de caña frescas son:

1. **La variedad.**
2. **La época del año.**
3. **La edad de la caña.**
4. **La acción de agentes externos.**

La dependencia del nivel de AIS en los jugos de cañas frescas de las características de las variedades resultó evidente desde los primeros estudios sobre el efecto de los AIS en la eficiencia de la fábrica de azúcar, no obstante, la edad de la caña mostró ser un factor preponderante hallándose altas correlaciones entre este parámetro y el nivel de AIS en los jugos de un gran número de variedades, Ramos(2002). La época del año por otra parte ha mostrado un efecto nótale

en la acumulación de AIS en la caña observándose un aumento creciente de los niveles de AIS al acercarse la primavera hasta alcanzarse un máximo en el momento de mayor crecimiento de la planta (época de lluvias), Ramos(2000).

TABLA I

VARIEDADES ESTUDIADAS EN JUNIO 1999 (EDAD 12 MESES)				
VARIEDADES	Az. red.	Polisac.	CMP	AIS
POJ28'78	0.6	0.2	0.86	0.58
Media Luna3-18	0.71	0.28	0.67	0.67
B80-509	0.5	0.18	0.8	0.93
C138-77	0.38	0.14	0.82	0.87
Co997	0.4	0.16	0.78	0.92
Ty70-17	0.32	0.21	1.36	0.73
B77-418	0.49	0.24	0.92	1.02
C111-79	1.03	0.14	1.66	2.05
Ja60-5	0.85	0.12	2.1	2.07
PROMEDIO	0.59	0.19	1.11	1.09
DESVIACION	0.22	0.05	0.46	0.53

TABLA II

VARIEDADES ESTUDIADAS EN ENERO DEL 2000 (EDAD 19 MESES)				
VARIEDADES	Az. red.	Polisac.	CMP	AIS
POJ28-78	0.64	0.82	1.2	0.79
Media Luna3-8	0.64	0.18	0.68	0.88
B80-509	0.29	0.16	0.72	1.06
C138-77	0.5	0.12	0.24	1.34
Co997	0.34	0.18	0.4	2
Ty70-17	0.23	0.22	0.67	1.9
B77-418	0.45	0.67	0.84	2.76
C111-79	0.42	0.23	1.55	1.89
Ja60-5	0.82	0.31	0.39	0.99
PROMEDIO	0.48	0.32	0.74	1.51
DESVIACION	0.18	0.23	0.39	0.63

TABLA III

VARIEDADES ESTUDIADAS EN MARZO DEL 2001						
VARIEDADES	Edad(meses)	Az. Red.	Polisac.	CMP	D-Xilosa	Lacto-Sacarosa
B77-418	12	0.5	0.33	0.84	0.38	0.8
C120-78	12	0.2	0.56	0.8	0.37	0.72
C323-68	12	0.3	0.28	0.24	0.12	0.27
Co997	16	0.21	0.34	0.76	0.72	0.92
CP52-43	11	0.6	0.17	0.67	0.23	0.42
Ja60-5	12	0.15	0.17	0.32	0.12	0.17
Ty86-28	16	0.8	0.46	0.82	0.52	0.92
PROMEDIO		0.39	0.33	0.64	0.35	0.60
DESVIACION		0.23	0.13	0.23	0.20	0.29

TABLA IV

VARIEDADES ESTUDIADAS EN ENERO DEL 2002, 9 MESES DE EDAD.						
VARIEDADES	Az red	Polis.	CMP	D-Xilosa	Lactosac.	AIS
B77-418	0.12	0.15	0.51	0.3	0.7	1.7
C1051-73	0.53	0.72	1.02	0.3	0.6	1.2
C128-83	0.14	0.09	0.46	0.2	0.6	0.9
C137-81	0.1	0.18	0.12	0.1	0.1	0.7
C323-68	0.32	0.26	0.29	0.1	0.1	0.52
C85-102	0.37	0.18	0.42	0.4	0.3	1.23
C86-12	0.12	0.23	0.28	0.1	0.2	0.62
C86-456	0.42	0.16	0.16	0.32	0.4	1.02
C86-503	0.4	0.21	0.40	0.4	0.3	0.99
C88-187	0.52	0.22	0.63	0.6	0.4	1.41
C90-530	0.16	0.15	0.39	0.1	0.2	0.52
Co997	0.1	0.26	0.26	0.1	0.1	0.53
CP 52-43	0.08	0.12	0.12	0.1	0.1	0.52
Ja64-19	0.12	0.53	0.08	0.3	0.4	0.87
Ty70-17	0.42	0.15	0.26	0.1	0.1	0.45
Promedio	0.26	0.24	0.36	0.24	0.31	0.88
Desviación	0.17	0.20	0.29	0.10	0.25	0.43

En los estudios que aquí discutimos se hace de nuevo evidente la preponderancia de la edad de la caña, esta vez sobre el factor asociado a la época del año. En las tablas I y II resultan evidentes que aun en Enero, durante mes de seca pero con 19 meses de edad, las cañas como promedio muestran niveles de AIS semejantes a los que tuvieron en la época de lluvia a los 12 meses de edad.

No obstante, esta apreciación sobre el nivel de AIS en la caña, es necesario conocer cuales componentes de los AIS son los que pueden formarse por una variedad dada de caña en determinadas condiciones, de manera de poder tener una visión más clara de cómo valorar una variedad desde el punto de vista de su posible uso para la fabricación de azúcar en una región dada. La generalización de estos estudios con la inclusión de experimentos ecológicos permitiría incluso recomendar cuales de las variedades comerciales existentes o de nuevos clones resultan adecuados para su uso industrial para la fabricación de azúcar.
Este estudio realizado durante varios años usando jardines de variedades ubicados en una misma región del país, permitió en primera aproximación, abarcar todas las variables hasta ahora conocidas que pueden resultar determinantes en la formación de AIS en la caña.
En las Tablas aparecen subrayadas las variedades que se repiten en cada una de las condiciones estudiadas. Todos los valores se reportan en las tablas en % Bx, meno el de los reductores que se reportan en peso. Además se destacan los valores de las concentraciones de los componentes estudiados en el jugo, que sobrepasan al valor de la media más el valor de la dispersión(>m+s), con números sombreados y los menores de la media menos el valor de la dispersión(<m-s) se subrayan.

TABLA V

VARIEDADES ESTUDIADAS EN ABRIL DEL 2002, 12 MESES DE EDAD						
VARIEDADES	Az red	Polis.	CMP	D-Xilosa	Lacto-sacarosa	AIS
B77-418	0.26	0.49	0.64	0.4	0.9	2.0
C1051-73	0.45	0.13	0.95	0.2	0.8	1.7
C128-83	0.32	0.13	0.53	0.6	0.4	1.6
C137-81	0.25	0.37	0.26	0.2	0.2	0.8
C323-68	0.12	0.12	0.37	0.3	0.7	1.2
C85-102	0.28	0.52	0.39	0.5	0.4	1.5
C86-12	0.15	0.29	0.55	0.2	0.3	0.9
C86-456	0.32	0.22	0.32	0.7	0.5	1.3
C86-503	0.35	0.28	0.55	0.5	0.3	1.3
C88-187	0.15	0.43	0.62	0.9	0.7	1.7
C90-530	0.17	0.46	0.52	0.1	0.2	0.6
Co997	0.23	0.38	0.67	0.3	0.4	1.0
CP52-43	0.12	0.41	0.32	0.1	0.2	0.9
Ja 6419	0.22	0.28	0.18	0.4	0.7	1.4
Ty70-17	0.19	0.32	0.45	0.2	0.3	0.6
Promedio	0.24	0.32	0.49	0.37	0.44	1.2
Desviación	0.10	0.11	0.22	0.10	0.28	0.52

TABLA VI

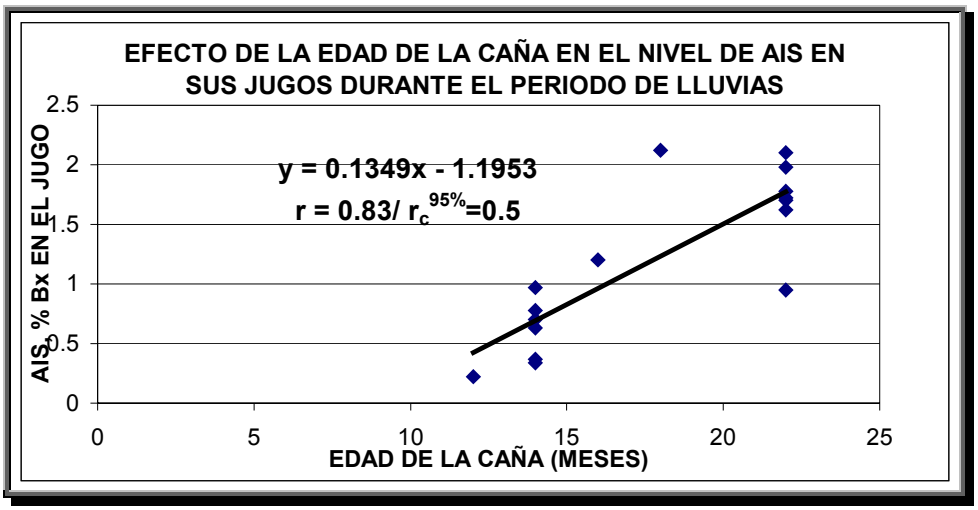
VARIEDADES ESTUDIADAS EN SEPTIEMBRE DEL 2003									
VARIEDADES	Edades (meses)	Az. red	Polis.	CMP	AIS	D-Xilosa	Rafinosa	1-Kestosa	Lacto-sacarosa
B77-418	14	0.62	0.23	0.47	0.78	si		si	si
B80-509	22	0.51	0.15	0.36	1.78		si	si	
C1051-73	22	0.2	0.92	0.97	1.62		si	si	si
C128-83	14	0.57	0.24	0.26	0.34		si	si	
C86-12	16	0.4	0.92	0.92	1.2	si	si	si	si
C86-456	12	0.14	0.11	0.18	0.22		si	si	si
C86-503	22	0.98	0.2	0.52	1.7	si	si	si	si
C86-56	22	0.44	0.64	0.53	2.1		si	si	si
C88-187	22	0.3	0.94	0.64	0.95		si	si	si
C90-67	14	0.11	0.09	0.09	0.63	si	si	si	
Co997	14	0.4	0.11	0.24	0.97	si	si	si	si
CP52-43	14	0.52	0.11	0.3	0.37		si	si	
Ja60-5	18	0.52	0.56	0.62	2.12			si	si
So83-27	22	0.25	0.12	0.25	1.98	si	si	si	
So83-27	14	-	-	-	0.70	si	si	si	
SP71-1406	22	1.42	0.97	2.72	1.72	si	si	si	
Promedio		0.49	0.42	0.60	1.19				
Desviación		0.33	0.35	0.62	0.68				

En las Tablas III-IV, se puede observar el contenido de diferentes tipos de azúcares en los jugos de varias variedades de caña durante el periodo de seca(zafra). Como se puede observar dentro de esta época del año con independencia de la variedad y de la edad de la caña aparecen en los jugos los dos azúcares que más influyen en el proceso de cristalización de la sacarosa. Aunque los niveles de concentración de esto azúcares en los jugos de una variedad dada, como ya se ha reportado, dependen de la edad de la caña y de la acción de agentes externos. Vea por ejemplo en la Tabla III los valores de los niveles de concentración de estos azúcares en cañas quedadas (números sombreados).

Como se puede aprecia en la Tabla V existen variedades, todas cultivadas en condiciones semejantes, que aun en Abril poseen niveles bajos de D-Xilosa y Lactosacarosa (no obstante haberse observado que en general se produce un aumento en el contenido de AIS en la caña a medida que se acerca la primavera) cualidad que las hacen atractivas desde el punto de vista industrial, al menos para la fabricación de azúcar en esta región en particular; estas variedades se señalan en la Tabla V con subrayado doble. Entre estas variedades de bajo contenido de D-Xilosa y Lactosacarosa pueden seleccionarse las de mejores índices de rendimiento de sacarosa por ha o mejor aún de azúcar extraíble por ha como testigos en ensayos de las variedades en diferentes regiones o lugares.

Durante la época de lluvia o más humedad del año, cuando la caña está en pleno período de gran crecimiento, el cuadro es diferente, Ver Tabla VI. Las variedades modifican en general la composición de azúcares en sus jugos. El estudio de la composición de AIS en los jugos de las variedades estudiadas permite observar que en algunas dejan de formarse la D-Xilosa, la Lactosacarosa y la Rafinosa. Como factor común se observa la presencia de la 1-Kestosa en los jugos de todas las variedades estudiadas. En este período la edad de la caña, aunque de nuevo resulta el factor más determinante sobre el nivel de AIS en los jugos (r = 0.82 para 16 variedades>

r_c^{95}= 0.50), ver Figura, no aparece como un factor determinante sobre la presencia o no de la D-Xilosa y la Lactosacarosa en los jugos de las variedades de cañas estudiadas. Vea la Tabla VI.



CONCLUSIONES:

- **El nivel de AIS en los jugos de caña durante el periodo de seca (zafra) está determinado en gran magnitud por la edad de la caña, resultando este factor tan importante como la época del año.**
- **Durante el período de seca (zafra) siempre aparece en los jugos la D-Xilosa y la Lactosacarosa independientemente de la variedad estudiada y edad de la caña.**
- **Se han hallado variedades que en su etapa de madurez, por su contenido de D-Xilosa y Lactosacarosa en el mes de Abril, resultan prometedora para la fabricación de azúcar en la región que se realizaron los estudios, pudiéndose usar como testigo en los estudios futuros de selección de variedades.**
- **Durante la época de lluvias las variedades varían su composición de azúcares. En algunas dejan de formarse la D-Xilosa, la Lactosacarosa y la Rafinosa. La edad aunque determina igualmente el nivel de AIS en sus jugos, no aparece como un factor determinante sobre la composición de los AIS en la caña.**
- **La 1-Kestosa aparece en todas las variedades estudiadas durante la época de lluvia con independencia de la edad de la caña.**
- **La presencia de otros azúcares como los reductores, CMP, Polisacáridos no parece relacionarse con la presencia de AIS, D-Xilosa o Lactosacarosa en ninguna de las condiciones.**

REFERENCIAS

1. **Bubnik Z. y otros (1992) Zuckerind. 117, 557-561**

2. **Clarke M. A. and Legendre B.L. (1996) Proceedings of the Annual Congress - South African Sugar Technologists Association, 70, XIi-XiX.**

3. **Cremata J. A y Cordero L. (1983) ISSCT 3, 1157-1168.**

4. **Hormaza J. V. y otros (1989) Proc. XX Cong. ISSCT, 1116, 73-77.**

5. **Hormaza J. V. y otros (1984) 44 Cong. de la ATAC., 341-352.**

6. **Leal J. E y Kara-Murza S. (1972) ICIDCA. 6, 2, 25-30.**

7. **Lionnet G. R. E. (1998) Indian Sugar 48, 4, 235-247.**

8. **Morel du Boil P. G. (1991) Proc. South African Sugar Technol. Ass. 65, 171-178**

9. **Ramos E. L., Ravelo S. Gutiérrez. (2002) Revista ATAC. Julio/Dic, 2, 13-19**

10. **Ramos E. L., Ravelo S. Gutiérrez S. (2002) 48 Congreso de la ATAC.**

11. **Ramos E. L., Ravelo S. Gutiérrez S. (2000) Parte I, II, III, IV. Cuba-Azúcar. XXIX, 1-4, 38-41, 62-64, 52-55, 58-62.**

12. **Ramos E. L., Ravelo S. Gutiérrez S. (2001) Parte V, VI" Cuba-Azúcar. XXX, 1-2, 12-15, 16-19.**

13. **Ramos E. L., Ravelo S. Sandra G. (2003) Parte I. Cuba Azúcar XXXII, En imprenta.**

14. **Ravelo S., Ramos E. L., Sandra G. (2003b) Parte II. Cuba Azúcar XXXII, En imprenta.**

15. **Ramos E. L. y Col. (1998) Revista Cuba Azúcar. XXVII, 1, 25-28.**

16. **Ramos E. L. y col. (2003a) Parte VII. Cuba Azúcar XXXII, 3, 31-34.**

17. **Ravelo S. Ramos E. L. (2003) "HYDROMAG", http://ramguira.topcities.com/hydromag.htm**

18. **Ravelo S., Ramos E. L. Gutiérrez S. (2003a) Revista Cuba-Azúcar XXXII, 2, 39-41.**

19. **Ravelo S., Ramos E. L. Torres B. (1992) Proceedings of the XXI ISSCT Congress, Bangkok, Thailand.**

20. **Ravelo S., Ramos E. L. Torres B. (1995) ISSCT Congreso. De Cartagena de Indias, Colombia. XXII.**

21. **Rodríguez A y Perdomo A. (1982) "Manual de los principales métodos analíticos utilizados en la industria azucarera". Ediciones Científico Técnicas. Cuba.**

22. **Rodríguez, C. y Col. (1984) Memorias del 44 Congreso de la ATAC. Póster de Agricultura-Biología. Ciudad de la Habana, Cuba, Editado por el Dpto. de Divulgación y Reproducción del ICINAZ, Habana., 283-291.**

23. **Vaccari G. y otros (1990) Zuckerindustrie. 115, 1040-1044**

24. **Vaccari G. y otros (1999) Zuckerindustrie. 124, 1, 34-39**

25. **Vaccari G. y otros (1999a) Zuckerindustrie 124, 7, 536-541**

COMPARACIÓN ENTRE LAS ESCALAS Y LOS MÉTODOS POLARIMÉTRICOS EN EL VISIBLE E INFRARROJO CERCANO.

Francisco H. Pérez Sanfiel, Julián Rodríguez López, Edenia Fernández Ledesma y Yadira Borges Gómez.

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ), Km 2½ de la Carretera al Central Manuel Martínez Prieto, Rancho Boyeros, Ciudad Habana

julian@icinaz.co.cu

Resumen

Durante los últimos años ha crecido la preocupación por preservar la biosfera. En este sentido los Laboratorios Azucareros han concentrado sus esfuerzos para eliminar el acetato básico de plomo (II) (ABP), sustancia con alta toxicidad acumulativa. Para lograrlo han recurrido al empleo de clarificantes inocuos (especialmente sales de aluminio) y a la utilización de polarímetros infrarrojos (NIR), para las que muchos productos azucareros resultan transparentes aun sin clarificar.

La aceptación de la polarimetría NIR por la ICUMSA obliga a estudiar la concordancia entre ambas escalas, o sea, visible y NIR; así como si existe diferencia significativa entre el método tradicional (clarificando con ABP) y el nuevo método NIR (sin clarificar).

El presente trabajo constituye un esfuerzo, dirigido en ambas direcciones, mediante el análisis de 65 muestras de azúcar crudo en forma paralela mediante los métodos tradicional y NIR. También se comparó el pol de las muestras clarificadas con ABP en ambas escalas.

Los resultados promedio mostraron buena concordancia entre ambas escalas (Pol_{vis}=98.30 °Z y Pol_{NIR}=98.27 °Z). Por otro lado, el pol promedio obtenido con el método tradicional superó en 0.10 °Z al logrado mediante el método NIR. Este resultado es contraproducente, si se tiene en cuenta que la precipitación de dextrana por el ABP debía disminuir el pol. No obstante la literatura reporta resultados en este sentido y en el contrario, lo que nos reta a dilucidar las causas de la diferencia entre ambos métodos.

Palabras claves: polarimetría visible, polarimetría NIR, agentes clarificantes.

COMPARISON BETWEEN SCALES AND POLARIMETRIC METHODS IN THE VISIBLE AND NIR.

Francisco Pérez Sanfiel, Julián Rodríguez López, Edenia Fernández Ledesmay Yadira Borges Gómez.

Cuban Sugar Research Institute (ICINAZ), Km 2½ de la Carretera al Central Manuel Martínez Prieto, Rancho Boyeros, Ciudad Habana

julian@icinaz.co.cu

Abstract

In recent years has grown the preoccupation to preserve the biosphere. In this connection, the sugar laboratories have concentrated their efforts in the elimination of basic lead (II) acetate (BLA), a substance of high cumulative toxicity. To achieve this it has been resorted to the use of innocuous clarifiers (specially aluminum salts) and the use of near infrared (NIR) polarimeters, for which many sugar products are transparent even without clarification.

The acceptance by ICUMSA of NIR polarimetry compel us to study the concordance between both scales, i.e., visible and NIR, as well as if there is a significant difference between the traditional method (clarification with BLA) and the new NIR method (without clarification).

The present paper constitutes an effort, in both directions, by analyzing 65 raw sugar samples in parallel by the traditional and NIR methods. The pol values of the samples clarified by BLA were also compared in both scales.

The mean results showed good accord between both scales (Pol_{VIS} = 98.30 °Z y Pol_{NIR} = 98.27 °Z). On the other hand, the mean pol obtained by the traditional method exceeded in 0.10 °Z the value obtained by the NIR method. This result is contradicting, if you take in account that the precipitation dextran by the BLA should diminish the pol value. Notwithstanding, the literature reports results in this sense and in the opposite, which challenges us to elucidate the causes for this difference by both methods.

Keywords: visible polarimetry, NIR polarimetry, clarifying agent

COMPARACIÓN ENTRE LAS ESCALAS Y LOS MÉTODOS POLARIMÉTRICOS EN EL VISIBLE E INFRARROJO CERCANO.

Francisco H. Pérez Sanfiel, Julián Rodríguez López, Edenia Fernández Ledesma y Yadira Borges Gómez.

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ)
Km 2½ de la Carretera al Central Manuel Martínez Prieto, Rancho Boyeros, Ciudad Habana

julian@icinaz.co.cu

Introducción.

Se han efectuado cuatro sesiones de la ICUMSA desde que Bichsel (1986), en la décimo novena sesión, anunció que la American Crystal Sugar Co. había desarrollado un polarímetro capaz de medir soluciones de azúcar oscuras a 875 nm. Durante el período transcurrido se han realizado diversas investigaciones para establecer la escala NIR y comprobar la concordancia entre la polarimetría NIR y la visible. Chou (1987) fue el primero en explorar el empleo de la polarimetría NIR para la determinación del pol en azúcar crudo, aunque fue una publicación de Altenburg y Chou (1991) la que primero señaló que la polarimetría NIR podría ser una alternativa a la visible (clarificación con acetato básico de plomo (II) (ABP) y medición a 589 nm). En este artículo se comparan los resultados del pol tradicional con los obtenidos mediante polarimetría NIR (883 nm) filtrando a través de tierra de infusorios (Celite), mediante el análisis de 1 500 muestras de azúcar crudo. Ellos obtuvieron una diferencia promedio (NIR-Vis) de 0.005°S mayor con el método NIR, pero si se tiene en cuenta que restaron 0.1°S a los valores de pol mediante el método tradicional; el resultado acorde con la ICUMSA, como demostró Emmerich (1992), fue 0.066 °Z menor con el método NIR, o sea, NIR-Vis = -0.066. Por otro lado Altenburg y Chou (1993) analizaron 338 muestras de azúcar crudo y la diferencia NIR-Vis fue 0.003 °Z.

La determinación de la dispersión rotatoria del cuarzo y de la sacarosa en el infrarrojo cercano, y la extensión del punto 100 de la escala sacarimétrica (100 °Z) le permitió a la ICUMSA, durante su 22da sesión, otorgarle el *status* de Aceptado. al método descrito por Altenburg y Chou (1991) para la determinación del pol mediante polarimetría NIR (ICUMSA Methods Book (1998), GS1/2/3-2).

Wilson (1996), al analizar los azúcares de 24 embarques, entre 1993-94, encontró que en los correspondientes a 1993 la diferencia promedio (NIR-Vis) fue 0.05°Z, mientras que la diferencia promedio (NIR-Vis) en los de 1994 fue 0.22°Z. Al trazar la concentración de dextrana contra la diferencia (NIR-Vis), Wilson encontró una dependencia entre ambos parámetros, lo que según Urquhart (1997) se debe al alto poder rotatorio de la dextrana (que aproximadamente triplica al de la sacarosa) la cual es casi eliminada por el ABP (Bradbury et al (1986)), pero no cuando se aplica el método NIR. Altenburg y Chou (1993) ya habían notado el efecto de la concentración de la dextrana, pero no en forma tan pronunciada.

ICUMSA (2002), en agosto de 1999, llevó a cabo un ensayo interlaboratorios para evaluar los resultados de la polarimetría NIR en azúcar crudo. Al comparar el método NIR

(GS1/2/3-2) con la polarimetría tradicional ((GS1/2/3-1), los resultados mostraron una diferencia NIR-Vis igual a -0.029°Z.

El NYSTL (1993) auspició un ensayo interlaboratorios obteniendo una diferencia promedio NIR-Vis igual a –0.04 °Z.

Como se percibe a través del análisis de la literatura, los resultados de las diferencia promedio NIR – Vis pueden ser positivos o negativos. Es obvio que si el ABP precipita la dextrana, que posee una rotación específica que casi triplica la de la sacarosa, la diferencia promedio NIR – Vis siempre debía ser positiva. No obstante, es conocida la precipitación de los azúcares reductores, la fructosa en mayor grado (Browne and Zerban (1941)), lo que podría influir en el efecto dextrorrotatorio de la dextrana. Este hecho no se menciona en la literatura reciente.

Todo parece indicar que es necesario diseñar investigaciones que conduzcan a dilucidar la influencia de los azúcares reductores y la dextrana en la polarimetría visible y en el infrarrojo cercano. El presente trabajo es un esfuerzo encaminado en este sentido. En él se analizaron 65 muestras de azúcar crudo con un contenido de dextrana que oscila entre 60 y 1 000 ppm y azúcares reductores que fluctúa entre 0.15 y 0.50%, obteniéndose una diferencia promedio en el pol NIR-Vis igual a –0.10 °Z. Por otro lado el análisis de 24 muestras de azúcar crudo a la que se le añadieron azúcares reductores hasta 0.40% y dextrana T-110 000 hasta 550 ppm mostraron una diferencia promedio NIR-Vis igual a 0.06 °Z. En general la repetibilidad de ambos métodos, NIR y visible, fue equivalente.

Por otro lado, al estudiar la equivalencia entre las escalas NIR y Vis se obtuvieron buenos resultados, ya que la diferencia NIR-Vis fue de -0.03 °Z.

Materiales y Métodos

Para realizar todos los análisis que se reportan a continuación, se homogeneizaron todas las muestras de azúcar crudo y se les determinó el pol de forma paralela, siguiendo estrictamente los métodos estipulados por la ICUMSA (GS1/2/3-1 y GS1/2/3-2). Ambos métodos fueron ejecutados por el mismo analista y se cuidó que todos los utensilios, equipos, instrumentos, laboratorios y cualquier variable que pudiese incidir en los resultados fuesen iguales para que la eventual diferencia en los resultados solo se pudiera atribuir al método de ensayo.

La adición de dextrana T-110 000 hasta 550 ppm y azúcares reductores, en concentraciones equimolares, hasta 0.40 % m/m al lote de 24 muestras se hizo a partir de soluciones diluidas de estas sustancias que fueron añadidas a la solución de azúcar y homogeneizadas antes de añadir el clarificante (ABP). Todas las muestras se analizaron por duplicado mediante cada método. Para determinar el pol a partir de las lecturas polarimétricas se hicieron las correcciones de escala y de temperatura pertinentes.

Para comprobar la concordancia entre las escalas NIR y visible, la solución clarificada con ABP, contenida en el tubo polarimétrico se midió en ambas escalas, manteniendo la mas estricta igualdad en las condiciones ambientales y operacionales.

Se utilizaron los instrumentos y utensilios comunes en los laboratorios azucareros. Para las pesadas se empleó una balanza analítica, que aprecia hasta 0.1 mg y las lecturas polarimétricas se hicieron en un polarímetro Dual Sucromat VIS/NIR, que aprecia hasta 0.01 °Z.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos al comparar ambas escalas con la misma solución de azúcar, previamente clarificada con ABP, en igualdad de condiciones, se presentan en la Tabla I.

Tabla I. Resultados obtenidos al comparar las escalas NIR y Visible.

Parámetro	Visible (589 nm)	NIR(880nm)
N	65	65
Pol promedio (°Z)	98.30	98.27
r_{95}	0.13	0.13

Como se aprecia en la Tabla I. se obtuvo una buena concordancia entre las escalas NIR y visible.

Al comparar las 65 muestras de azúcar crudo mediante los dos métodos, NIR yVis, como se describió en Materiales y Métodos, se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla II.

Tabla II. Resultados obtenidos al comparar los métodos NIR y Vis.

Parámetro	Visible (589 nm)	NIR (880 nm)
N	65	65
Pol Promedio	98.30	98.20
r_{95}	0.13	0.13

Como se percibe en la Tabla II, con el método visible se obtuvo un pol promedio que excede en 0.10 °Z al obtenido con el método NIR, lo cual no parece razonable si se tiene en cuenta que el ABP precipita las dextranas, en especial aquellas con pesos moleculares superiores a 50 000. En estos azúcares los niveles de dextrana se encontraban en el intervalo de 60 a 1 000 ppm y el contenido de azúcares reductores varió entre 0.15 y 0.50 %.

El análisis de 24 muestras de azúcar crudo cuyas concentraciones de dextrana se ajustaron a 550 ppm y las de azúcares reductores a 0.40%, arrojaron los resultados que se muestran en la Tabla III.

Tabla III. Resultados obtenidos al comparar ambas escalas previo ajuste de las concentraciones de dextrana y azúcares reductores.

Parámetro	Visible (589 nm)	NIR (880 nm)
N	24	24
Pol Promedio	98.77	98.83
r_{95}	0.12	0.12

Como se observa en esta tabla el valor del pol promedio obtenido mediante el método NIR excede en 0.06 °Z al obtenido con el método visible, lo que podía deberse a la concentración relativamente alta y constante de dextrana (550 ppm).

Conclusiones

El análisis de los resultados anteriores conduce a las siguientes conclusiones:

- Se obtuvo una buena concordancia entre las escalas NIR y visible
- El análisis de las 65 muestras, cuyo contenido de dextrana y azúcares reductores era variable, mostró una diferencia promedio NIR-Vis igual a -0.10 °Z,
- Al analizar 24 muestras, cuyo contenido de dextrana y azúcares reductores se ajustó a valores constantes y relativamente altos, se obtuvo una diferencia NIR-Vis de 0.06 °Z

Literatura Consultada

Altenburg, W. and Chou, C. C. (1991) Proc. 50th Annual Meeting S. I. T., 50, 187 – 221; Zuckerind. 116, 1041-1046.

Altenburg, W. and Chou, C. C. (1993): Proc. 52th Annual Meeting S. I. T., 52, 73.

Bichsell, S. E. Proc. 19th Session ICUMSA (1986), 58,65.

Bradbury, G. A. et al. (1986) Sugar Journal 48: (8), 11-13.

Browne, C. A. and Zerban, F. W. (1941).Physical and Chemical Methods of Sugar Analysis, Third Edition, 321-322, 400. John Wiley and Sons, Inc., New York. U. S. A.

Chou, C.C. (1987) Proc. 48th Annual Meeting S. I. T., 46, 1-26.

Emmerich, A. (1992) ISJ, 94, 161-163;

NYSTL (1993) in Proc. 21st Session ICUMSA (1994), 6.

Proc.23rd Session ICUMSA (2002) GS-1 Raw Sugar.

Urquhart, R. M. (1997) Zuckerind. 121, 655.

Wilson, T. E. (1996) ISJ, 98, 169-174.

CARACTERIZACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE DIFERENTES VARIABLES AGRO BOTÁNICAS E INDICADORES DE CALIDAD DEL JUGO.

MAGALI L. RODRÍGUEZ*, R. DE ARMAS** Y G. GÁLVEZ**

* ICINAZ
** UNIVERSIDAD DE LA HABANA-FACULTAD DE BIOLOGÍA
julian@icinaz.co.cu

RESUMEN

Se estudió el comportamiento de diferentes variables agro botánicas e indicadores de calidad del jugo para caracterizar a la variedad Ja60-5 de primavera. Las variables e indicadores evaluados fueron superiores en el retoño a los de la caña planta en ambos ciclos de siembra (anual y quedada) cuestión no valedera para el rendimiento agrícola por estar influenciado por la edad y los factores externos. La predicción del rendimiento en azúcar fue mayor que el obtenido realmente en el campo para la cepa de caña planta sin embargo para el retoño, el rendimiento real fue mayor hasta que se alcanzó la etapa plena de maduración, 9 meses, en que tendieron a igualarse y a ser menor esta última Las variables agro botánicas estudiadas permitieron interpretar el proceso de maduración de la caña de azúcar sobre todo aquellas vinculadas al aparato de asimilación, número de hojas activas, área foliar y potencial fotosintético. El NHA es una variable morfológica no destructiva para conocer el estado fisiológico de la plantación. El brix en el tallo tendió a igualarse a medida que se lograba la plena madurez de la caña de azúcar. Este estudio corroboró que a una mayor pol corresponde un incremento en la acumulación de almidón y que las pocas fluctuaciones del pH no lo señalan como un indicador de calidad del jugo. El resto de los indicadores coadyuvaron a conocer la calidad del jugo. El índice de glucosa (IG) es un buen indicador de la madurez de la plantación. La aplicación del índice de calidad (IC) y del rendimiento calculado (RC) sirve para conocer la calidad de la caña de azúcar por incluir sustancias no solamente procedentes del metabolismo de la planta sino de la frescura y calidad del corte además de pronosticar su conducta tecnológica.

SUGAR CANE CHARACTERIZATION BY DIFFERENT AGROBOTANICAL VARIABLES AND JUICE QUALITY INDICATORS.

MAGALI L. RODRÍGUEZ*, R. DE ARMAS** Y G. GÁLVEZ**

* ICINAZ
** UNIVERSIDAD DE LA HABANA-FACULTAD DE BIOLOGÍA
julian@icinaz.co.cu

ABSTRACT

The behavior of different agrobotanical variables and quality indicators was studied to characterize the spring Ja60-5 cane variety. The variables and indicators evaluated were superior in the ratoon stage than in planted cane in both planting cycles (annual and cane left over in the field) argument not valid for the agricultural yield because it is influenced by the age and the external factors. The prediction of sugar yield waTs greater than the actual yield in the field for planted cane, however, for the ratoon, the actual yield was greater until it arrived at the main maturing stage, 9 months, in which they tended to equalize and to be smaller the latter. The agrobotanical variables studied allowed to interpret the sugar cane maturing process specially those connected to the assimilating apparatus, active leaves number leaf area and photosintetic potential. The ALN is a non-destructive morphological variable which allow us to know the physiological status of the plantation. The stem brix tended to equalize when reaching full maturity of the sugar cane. This study corroborated that to a greater pol value corresponds with an increase in the storage of starch in the stem and the small fluctuations of pH show it is an inefficient quality indicator for juice. The rest of the indicators contributed to judge juice quality. The glucose index (GI) is a good indicator of cane plantation maturity. The use of the quality index (QI) and the calculated yield (CY) allow us to know the quality of the sugar cane by including substances not only coming from the plant metabolism but also its freshness and the quality of cut cane besides forecasting its technological behavior.

CARACTERIZACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE DIFERENTES VARIABLES AGRO BOTÁNICAS E INDICADORES DE CALIDAD DEL JUGO.

MAGALI L. RODRÍGUEZ*, R. DE ARMAS** Y G. GÁLVEZ**

* ICINAZ
** UNIVERSIDAD DE LA HABANA-FACULTAD DE BIOLOGÍA
julian@icinaz.co.cu

INTRODUCCIÓN

La calidad de la caña de azúcar no es sinónimo de pol ni de aún del porcentaje de sacarosa, ya que una serie de atributos deben caracterizarla para interrelacionar la calidad de la caña obtenida en el campo y su relación con el proceso fabril, con ello puede alcanzar niveles más altos en la producción y eficiencia.

Así, la cuestión del efecto de la calidad de la caña de azúcar en los parámetros del proceso tiene que considerarse desde varios ángulos: agronómico, tecnológico y económico, aunque parezca una divergencia no es necesariamente incompatible.

La caña de azúcar no es solamente la materia prima para producir azúcar crudo, mieles y alcohol, sino que además es fuente de materias primas para derivados de segunda y tercera generación. Cuba tiene una experiencia en la producción de más de 30 derivados de la caña de azúcar (Gálvez, 2,000).

MATERIALES Y MÉTODOS

El material vegetal, Ja60-5 se plantó en primavera, abril, según banco de madurez en las áreas del bloque experimental del CAI Manuel Fajardo. Para las mediciones morfológicas ls muestreos mensuales se hicieron a 10 individuos al azar de los surcos centrales por parcela a partir de los 5 meses (setiembre) y hasta los 20 meses (diciembre) en la cepa de caña planta y en la de retoño en el mes de octubre (6 meses) y terminaron en abril (12 meses).

USO DE LA CROMATOGRAFIA EN LA DIVERSIFICACIÓN DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

USE OF CROMATOGRAPHY IN DIVERSIFICATION OF SUGAR INDUSTRY

Josefa V. Hormaza[1], Yanet Támbara[2], Mailen Fernández[1], Liudmila Chavez[2], Ana León[1], Marta Ramírez[1]

[1]Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ), División Aseguramiento de la Calidad, Dpto Investigaciones Analíticas. E-mail: jhormaza@icinaz.co.cu
[2]División Química-Física, Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología. Apartado Postal 6162. Ciudad de la Habana, Cuba. E-mail: yanet.tambara@cigb.edu.cu

Palabras claves: cromatografía, industria azucarera, caracterización, carbohidratos

RESUMEN

La cromatografía es un método de análisis químico que es capaz de separar componentes de una mezcla compleja y por tanto, es muy útil en las investigaciones relacionadas con productos azucarados debido a la complejidad y variabilidad de los mismos.

La industria azucarera necesita obtener productos con mayor valor agregado para ello es importante realizar estudios de la cinética de reacción de los productos que se están investigando con vistas a optimizar parámetros tecnológicos y para conocer la calidad del producto final entre otros aspectos.

En este trabajo se muestran resultados obtenidos utilizando la cromatografía en varias temáticas:

- La preparación de materiales patrones a partir de productos naturales.
- El estudio de un proceso de quimización de la industria
- Estudio de una cinética de una reacción para optimizar la producción de un derivado del sorbitol.
- El estudio de carbohidratos presente en materiales azucareros

Los resultados demuestran que la cromatografía es una herramienta muy valiosa en el trabajo de la química en la Industria Azucarera.

ABSTRACT

Chromatography is a chemical analytical method that is able to isolate components of a complex mixture and then it can be useful in research related to sugar products, because of the complexity and variability of them.

Sugarcane industry require to obtain products with a higher aggregate values, then it is important to study the reaction kinetics of the products that are under research in order to optimize technological parameters and to know the quality of the final product, between other aspects.

In this research are shown the results that are obtained when chromatography is used in different themes:

- Preparation of standard materials starting from natural products
- Studying a process for increases the chemical products on industry
- Studying the reaction kinetic in order to optimize the production of a derivative of sorbitol
- Studying the carbohydrates that are present in the sugar industry materials

Results demonstrate that chromatography is a very useful tool in the chemical research in Sugarcane industry

INTRODUCCIÓN

La eficiencia y la calidad del proceso azucarero se mide fundamentalmente en el laboratorio de las fabricas de azúcar, lo que debe incluirse dentro de las prioridades de la industria el aseguramiento del trabajo de los mismos mediante la actualización de los métodos de ensayos y su automatización de forma que puedan desarrollarse y aplicarse los sistemas de calidad.

La Comisión Internacional para Métodos Uniformes de Análisis Azucarero (ICUMSA) es la única organización internacional que se ocupa de los métodos analíticos para la industria azucarera, desde la materia prima (caña o remolacha) hasta la comercialización de sus productos finales. Las técnicas analíticas aprobadas por la ICUMSA son las que rigen en las transacciones comerciales con fines aduanales y son aceptadas por organizaciones internacionales tales como el Codex Alimentarius y la ISO

Cuba se encamina a la diversificación azucarera, en la que tiene experiencia y una apreciable infraestructura básica instalada. Cuenta, asimismo, con la capacidad tecnológica de los recursos humanos, que constituye el producto más valioso del mundo. Sin embargo, se presentan dificultades en el control en las tecnologías introducidas, pues para poder cuantificar y/o conocer si hay transformación de los componentes del material de estudio; las técnicas analíticas usadas rutinariamente presentan interferencias y no permite saber el valor real de cada compuesto.

En la sesión de la ICUMSA en 1994 se dieron las prioridades de trabajo futuro en el análisis azucarero, encaminadas fundamentalmente hacia la introducción de métodos cromatográficos para la determinación de los compuestos no sacarosa. La cromatografía es una herramienta poderosa para el análisis de muestras complejas como son los productos azucareros.

.**Pasos a seguir para aplicar la cromatografía**

- Búsqueda en la literatura del método cromatográfico dependiendo de los recursos con que se cuentan, con qué precisión y exactitud, cantidad de componentes de la mezcla, qué experiencia tiene el personal.
- Ajustar el método al tipo de muestra a analizar teniendo en cuenta las posibles interferencias, posibilidades de detección, volatilidad de la muestra, etc.
- Aplicar y demostrar que la información que se brindará tiene valor técnico y científico adecuado.

RESULTADOS Y DISCUSION

Aplicaciones de la cromatografía en la diversificación de la industria azucarera

- ***Optimización de una tecnología***.

El dinitrato de isosorbida es utilizado fundamentalmente en el tratamiento de la angina de pecho por sus propiedades como vaso dilatador coronario. En Cuba se ha comenzado a producir a partir de materias primas nacionales (sorbitol, ácidos nítrico y sulfúrico) con calidad USP, López (1995)

Para obtener el dinitrato de isosorbida son necesarias dos etapas de reacción:

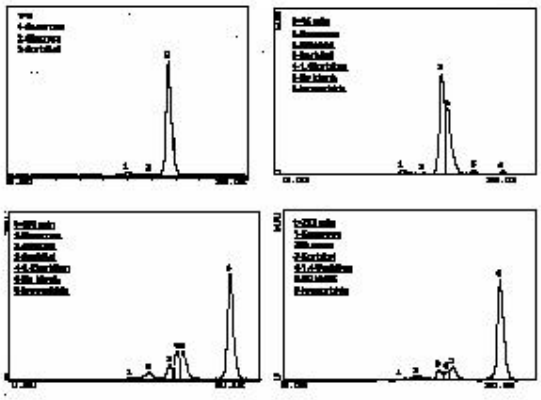
1. Deshidratación del sorbitol en medio ácido(Síntesis de la isosorbida)
2. Esterificación de la isosorbida con ácido nítrico.

El objetivo del trabajo fue profundizar en el estudio cinético de la primera etapa, es decir la obtención de la isosorbida de forma de optimizar el proceso.

Para ello se tomaron muestras de la mezcla de reacción en intervalos de tiempo fijos y en un sistema de cromatografía liquida de alta resolución se determinaron cuantitativamente los componentes de la reacción.

En la figura 1 se muestran cromatogramas en los que se puede observar la disminución del sorbitol; la aparición de 1.4sorbitan en mayor proporción y de otro sorbitan no identificado (a partir de 100 min. aprox.) además su transformación a isosorbida en el transcurso del tiempo. Para realizar el análisis de la cinética se consideran que solo 3 compuestos intervienen en la reacción ya que los sorbitanes se suman como 1.4 Sorbitan.

Figura 1 Cromatograma de HPLC de la cinetica de obtencion de la isosorbida

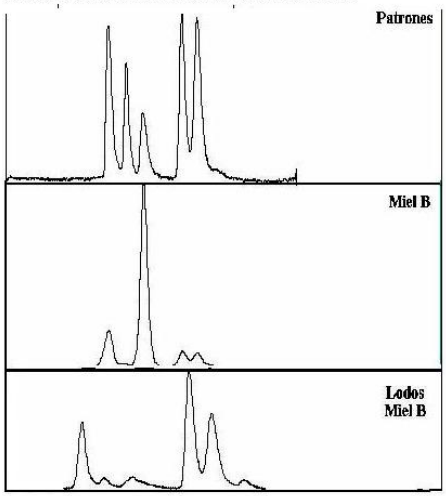


Con estos resultados se cuantificaron los productos y los reaccionantes en las condiciones de la reacción y asi se pudo hacer la valoración de que es lo más conveniente (un incremento de un 5% de rendimiento ó mayor productividad).

- ***Caracterización de un proceso tecnológico***

En la industria azucarera se realizan diariamente diferentes procesos para mejorar la extracción de sacarosa y disminuir las perdidas en el proceso. El proceso de clarificación de mieles es un tecnología utilizada en nuestras fábricas, en nuestro trabajo se realizo una experiencia con vistas a conocer que le sucede a los componentes de material azucarado. La figura 2 muestra los cromatogramas obtenidos. La miel B con el pico mayoritario de sacarosa y un pico de menor tiempo de retención de polisacáridos y en el lodo se encontró que el pico de sacarosa es minoritario, lo que demuestra que el proceso fue eficiente pues en el desecho (lodos) no hay pérdida de sacarosa. También se observa que hay polisacáridos en el lodo es mayor.

Figura 2 Cromatograma de componentes de un proceso tecnologico



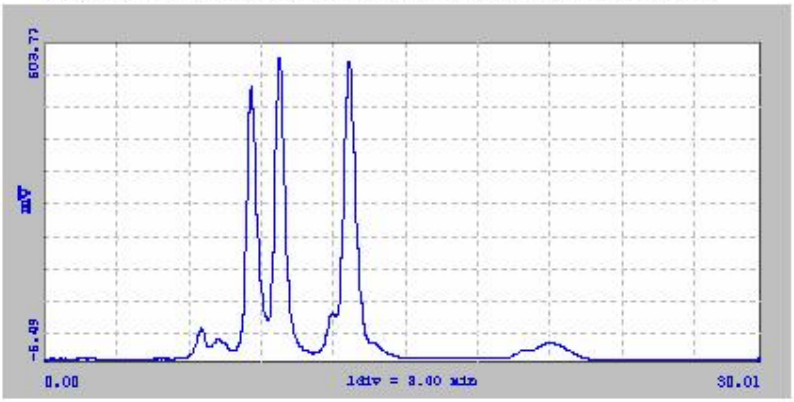
- ***Obtención de edulcorantes***

En los últimos años la obtención de fructooligosacáridos (FOS) mediante la acción fructosiltransferasa de algunas □-fructofuranisodasas ha sido objeto de estudio por varios investigadores (Grizard et al.1999; Támbara et al 1999; Antosová et al. 2001). La denominación FOS normalmente se refiere a mezclas de oligómeros de la fructosa de cadenas lineales cortas del tipo 1^F, constituidas principalmente por 1-kestosa, nistosa y 1F-fructofuranosil nistosa. Entre estos fructanos, la 1-kestosa es el componente de mayor interés (Spiegel et al. 1994; Yun 1996).

Las unidades fructosyl de los FOS, están enlazadas en posición ß (2→1) con la fructosa de la sacarosa, esta característica le confiere importantes propiedades, por ejemplo, no son hidrolizados por ninguna de las enzimas presentes en el tracto gastrointestinal y cuando alcanzan el colon son casi completamente fermentados por las bifidobacterias. Son carbohidratos no calóricos, no cariogénicos que además poseen otras propiedades fisiológicas adicionales muy importantes: decrecen el nivel de colesterol, fosfolípidos y triglicéridos en la sangre (Spiegel et al. 1994).

En este trabajo se realizaron experimentos con vistas a encontrar la cepa de microorganismos con masa actividad fructosiltransferasa. Para ello se muestrearon cinéticas de obtención de FOS y se pudo definir cual cepa tenia mas capacidad de formar los oligosacáridos de interés. La figura 3 se muestra el resultado de la cromatografía liquida de alta resolución.

Figura 3 Cinetica de formacion de fructooligosacaridos



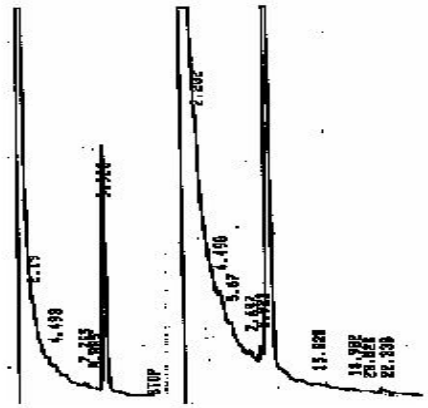
- ***Características de los componentes no sacarosa en los productos azucarados***

En la eficiencia industrial azucarera mundial está reconocido que ésta depende de la presencia de componentes conocidos como impurezas, especialmente los carbohidratos (se conoce que los oligosacáridos y polisacáridos están presentes en un rango de aproximadamente 2 % respecto a los sólidos solubles). La mayoría de los polisacáridos que entran en fábrica son generados por la propia planta de caña de azúcar y una cantidad minoritaria se forma, por contaminación microbiana, tanto en el campo como durante el proceso fabril. Todos los polisacáridos tienen incidencia negativa en la producción de azúcar y sus efectos no se pueden disminuir fácilmente ya que la cantidad de polisacáridos que se remueve en los diferentes pasos del proceso no rebasa el 40 %.

De todos los polisacáridos, aquellos que se pueden solubilizar son los de mayor interés ya que son los causantes directos de problemas tales como: aumento de las purezas de las mieles, disminución de la velocidad de cristalización de la sacarosa, variación en la pol de los jugos, aumento de las viscosidades de las mieles; todo lo cual influye negativamente en la eficiencia industrial.

En este trabajo se recoge las experiencias realizadas en la extracción, caracterización e influencia de un polisacárido cuyo origen es aun incierto pero que se produce en la etapa de postmaduración y cuya producción se incrementa considerablemente después de cortada la caña. Uno de los pasos importantes en la caracterización de los carbohidratos es conocer los azucares constituyentes, asi después de aislarlo e hidrolizarlo se prepararon los derivados volátiles y se utilizo la cromatografía gaseosa. En la figura 4 se observa el cromatograma de gases en donde solo esta constituido por un monosacarido

Figura 4 Polisacarido de caña quedada



CONCLUSIONES

- La cromatografía es una herramienta imprescindible en la diversificación de la industria azucarera, con la cual se pueden tener información novedosa
- La cromatografía es una metodología de trabajo en la investigación para optimizar tecnologías, productos y técnicas analíticas con vistas a lograr la eficiencia en la industria azucarera.
- Se cuenta con la experiencia necesaria y las técnicas básicas para el estudio de carbohidratos utilizando la cromatografía

BIBLIOGRAFÍA

López y co. (1995)..Síntesis del dinitrato de isosorbida. Resultado Científico Relevante del Décimo Forum Nacional

Antosová M and Polakovic M. Fructosyltransferases: (2001).The enzymes catalyzing production of fructooligosaccharides. 28th Conference of the Slovak Society of Chemical Engineering, Tatranské Matliare, May 21-25

Grizard D and Barthomeuf C. (1999) Enzymatic synthesis and structure determination of NEO-FOS. Food Biotechnol. **13**: 93–105.

Spiegel JE, Rose R, Karabell P, Frankos VH and Schmitt DF. (1994). Safety and benefits of fructooligosaccharides as food ingredients. Food Technol. **1**: 85–89

Támbara Y, Hormaza JV, Pérez C, León A, Arrieta J and Hernández L. Structural analysis and production of fructo-oligosaccharides by levansucrase from *Acetobacter diazotrophicus* SRT4. Biotechnol. Lett. **21**: 117-121 (1999).

Yun JW. Fructooligosaccharides: (1996).Occurrence, preparation and application. Enzyme Microb. Technol. **19**: 107–117

SISTEMA PARA LA DETECCIÓN EN LÍNEA DE LA CALIDAD DE LOS CONDENSADOS EN FÁBRICAS DE AZÚCAR

Calixto Salabarría[1]
Rubén Mondui[1]
Ramón Consuegra[1]
Pedro López[2]

[1] ICINAZ; [2] CAI "30 de Noviembre"
monduy@icinaz.co.cu

Palabras clave: condensados, control automático, contaminación, fabricación de azúcar

RESUMEN

A partir de la determinación de la impedancia con electrodos de grafito bajo condiciones tales que permiten la adición de una componente capacitiva a la resistencia del condensado se logra la detección de la contaminación en esta agua con mayor precisión al lograrse una medición de naturaleza más directa de la concentración de sacarosa.
Se realizaron comprobaciones a escala de laboratorio e industriales en el central 30 de Noviembre durante dos zafras que permitieron comprobar la fiabilidad del sistema de determinación on-line de la contaminación de los condensados para desagregar sus usos.

ON LINE SYSTEM FOR CONDENSATES QUALITY MEASYREMENT IN SUGAR FACTORIES

Calixto Salabarría[1]
Rubén Mondui[1]
Ramón Consuegra[1]
Pedro López[2]

[1] ICINAZ; [2] CAI "30 de Noviembre"
monduy@icinaz.co.cu

Key words: condensates, automatic control, contamination, sugar process

ABSTRACT

Impedance determination using graphite electrodes which permits the addition of capacitive component to condensate resistance, means a better contamination detector due to a measurement more related with sucrose concentration.
An on line system was tested in "30 de Noviembre" sugar mill during two seasons with satisfactory result. The system could be perfectly associated with automatic control.

SISTEMA PARA LA DETECCIÓN EN LÍNEA DE LA CALIDAD DE LOS CONDENSADOS EN FÁBRICAS DE AZÚCAR

Calixto Salabarría[1]
Rubén Mondui[1]
Ramón Consuegra[1]
Pedro López[2]

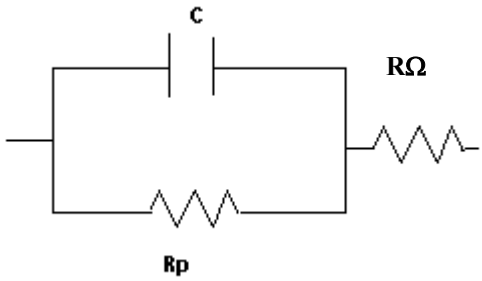
[1] ICINAZ; [2] CAI "30 de Noviembre"
monduy@icinaz.co.cu

Introducción

La motivación que dio lugar al referido contrato está asociada con la importancia capital que para la economía energética de las fábricas de azúcar tiene el uso de los vapores condensados en las superficies calóricas de los equipos, sin obviar los aspectos vinculados con la seguridad que exigen los generadores de vapor ante el uso de condensados contaminados.
En concordancia con lo antes expuesto se formuló el presente proyecto destinado a materializar un sistema que permita detectar el nivel de contaminación de los condensados, como elemento primordial para definir con eficacia la desagregación de los mismos, en función de la economía energética y de la seguridad tecnológica.
Es conveniente expresar que el ICINAZ, institución responsabilizada con este proyecto, tiene experiencias concretas acerca del uso de estos dispositivos, tanto pretéritas como más actuales. Las pretéritas, aunque funcionaron de forma razonablemente conveniente, tuvieron dificultades que debían ser superadas y las más actuales, derivadas de la ejecución de proyectos de automatización asociados a la desagregación de condensados, responden a la adquisición de sistemas detectores de trazas cuyo precio en divisas puede ser reducido de forma significativa en el caso de materializarse un producto nacional competitivo.

Concepción del sistema

Los sistemas clásicos de detección de contaminación en aguas de condensado han estado basados en la determinación de la conductividad. Algunos sistemas muy rudimentarios y artesanales en la concepción de electrodos han estado funcionando en Cuba y en México (1). Esto constituye un modo indirecto de afrontar el problema ya que el arrastre de fluidos azucareros implica, por lo general, no sólo el arrastre de sacarosa (que no afecta significativamente la conductividad del condensado) sino también de las sales conductoras que sí afectan este parámetro.
Un electrodo en una solución puede ser representado esquemáticamente de la forma más simple a partir de un circuito equivalente como el mostrado (2):



Donde C: capacidad de la doble capa
Rp: resistencia a la polarización del electrodo
RΩ: resistencia óhmica de la solución

Las mediciones tradicionales con señales de corriente directa o de baja frecuencia, determinan predominantemente el valor de (Rp + RΩ) y como en general para estos sistemas Rp <<RΩ, el valor de la resistencia (o la conductividad) puede determinarse con relativa exactitud.
Si se realizan mediciones a frecuencias elevadas, la capacidad de la doble capa (C) comienza a manifestarse y la determinación de la impedancia refleja un valor de:

$$Z = Z' + jZ'' = R\Omega + \frac{Rp}{1 + w^2 C^2 Rp^2} - \frac{j\, w\, C\, Rp^2}{1 + w^2 C^2 Rp^2}$$

donde $j = \sqrt{-1}$
$w = 2\pi f$
f: frecuencia

Si la frecuencia es lo suficientemente pequeña, el condensador se comporta como un circuito abierto y toda la corriente fluye por la rama de Rp y se obtiene que:

$$Z = Rp + R\Omega$$

Si por el contrario la frecuencia es lo suficientemente elevada, el condensador se comporta como un cortocircuito y:

$$Z = R\Omega$$

Para frecuencias intermedias, la capacidad de la doble capa ejerce influencia en el valor de la impedancia total y como la sacarosa sí ejerce influencia sobre esta capacidad, su presencia provoca cambios en el valor de la impedancia con lo que se gana en la obtención de una medición directa de la contaminación, porque además de manifestarse la influencia de las sales conductoras acompañantes, también la lectura de impedancia refleja la presencia de sacarosa.
Para un buena determinación de impedancia, que no se vea afectada por la polarización de los electrodos, se requiere de materiales inertes. Generalmente se emplea platino en la composición de los electrodos, pero este material resulta muy caro para aplicaciones industriales. El grafito, en algunos casos (3) resulta también apropiado por su poca reactividad electroquímica, aunque su uso se ha limitado por sus pobres propiedades mecánicas.
Con el objetivo de minimizar los efectos de la diferencia en los potenciales estacionarios se tomaron dos electrodos similares para conformar el sistema, una práctica habitual en la práctica.

Un primer electrodo confeccionado a partir de grafito con un diámetro de 3 mm demostró esta deficiencia y aunque operó satisfactoriamente durante un mes, al cabo de este tiempo se fracturó uno de los electrodos y fue necesario reponerlo. Teniendo en cuenta esto y que conceptualmente el sistema respondía satisfactoriamente, se diseñó un nuevo electrodo también de grafito pero que tiene en cuenta la fiabilidad mecánica del sistema. El proyectos de este electrodo aparece en la Figura I.
El diámetro de los electrodos aumentó significativamente y se reforzó la estructura con teflón. Los orificios garantizan que en todo momento los electrodos estén sumergidos en la solución sin que reciban directamente el impacto directo del flujo. Se construyeron dos juegos de electrodos para ser sometidos a ensayos.
En mediciones preliminares a diferentes valores de frecuencia (entre 10 y 10 000 Hz) en agua de condensado extraída del central Pablo Noriega, utilizando un generador de señales y un osciloscopio, se determinó que a una frecuencia de 1 kHz, la influencia de la capacidad de la doble capa no era despreciable y aparecía significativamente en el valor de la impedancia determinado, a través de una componente imaginaria. Una frecuencia más elevada creaba ruidos eléctricos en la señal que dificultan la determinación de la impedancia mediante los métodos comunes
Se ensayaron tres formas de señales de estímulo: triangular, cuadrada y sinusoidal. La señal sinusoidal daba respuestas más nítidas y fáciles de analizar.
Igualmente se ensayaron amplitudes entre 10 y 100 mV pico a pico y se obtuvo que con un valor de 100 mV p-p la lectura era satisfactoria. Amplitudes muy pequeñas se confunden con los ruidos y a las más elevadas la polarización de los electrodos comienza a distorsionar la respuesta del sistema.

Transmisor de Impedancia

Es un dispositivo construido básicamente para detectar condensados contaminados a partir del sensor desarrollado con electrodos de grafito y cuerpo de teflón y acero inoxidable.
En el circuito electrónico del transmisor se tomaron en consideración los parámetros obtenidos de pruebas de laboratorio previas:

1. Empleo de una señal sinusoidal estable
2. Frecuencia de la señal: 1 kHz
3. Amplitud de la señal no mayor que 100 mV p-p

En la concepción del circuito se tiene en cuenta además:

- El uso de componentes de precisión para garantizar su utilización continua
- Circuito integrados analógicos y digitales de mediana escala de integración
- Diseño de impreso sencillo, de una sola cara
- Aislamiento galvánico de la etapa de salida con respecto a la de medición, con el empleo de acopladores ópticos
- Chasis adecuado, robusto y fiable, para garantizar un funcionamiento seguro en ambientes agresivos
- Sencillez de instalación, acoplándose a otros dispositivos con conectores DB9
- Comunicación con PLCs por medio de una salida analógica normalizada de 4 – 20 mA (con un rango de 0 a 100%) con una resistencia de carga máxima de 750 ohmios (20 mA)

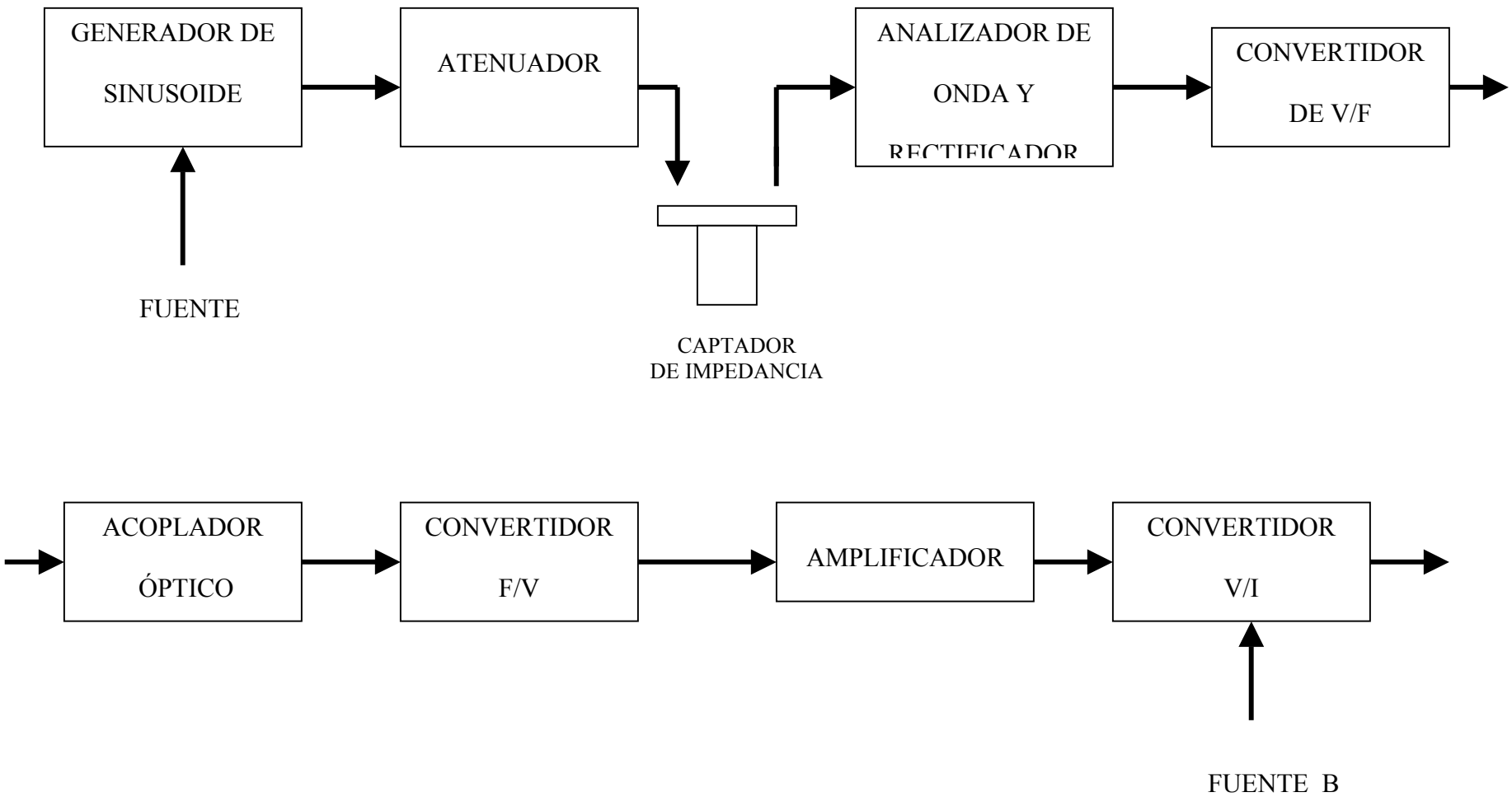
Rango de calibración del equipo: El equipo se ajusta en el taller empleando una resistencia variable de precisión (500 - 10000 ohms de resistencia equivalente a 2000 μmhos - 100 μmhos) lo que

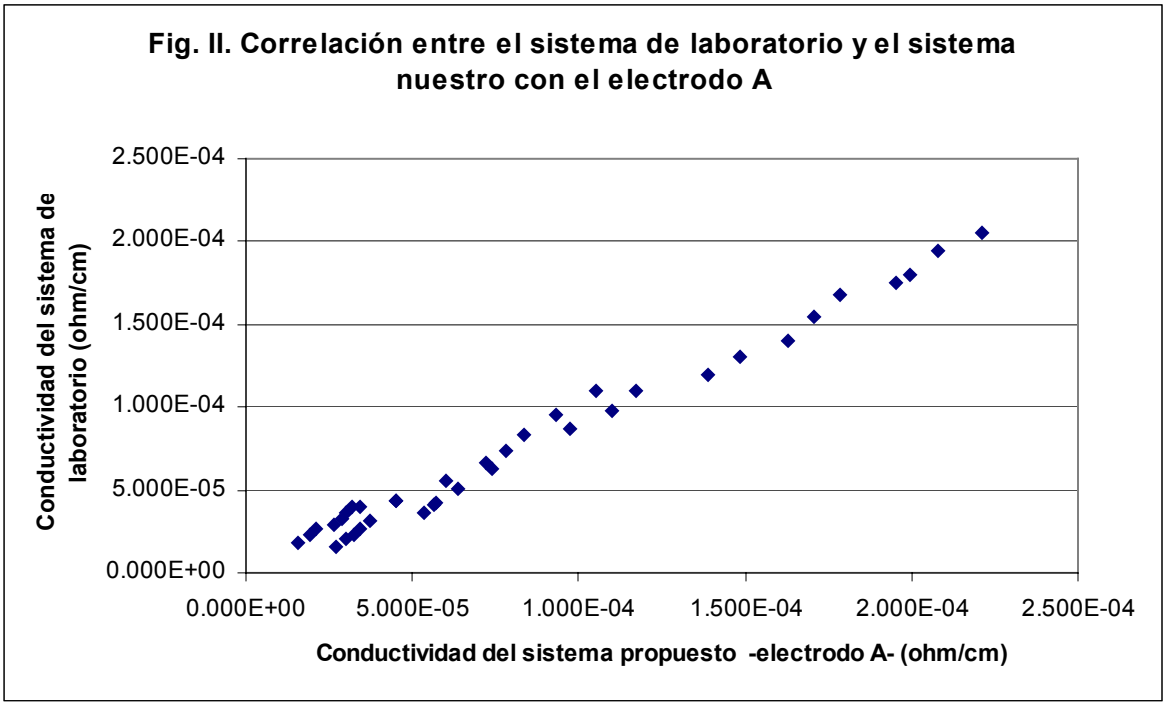
permite la obtención de una curva que convierte los valores de la corriente en valores de conductividad.
Según el diagrama de bloques que se muestra, el mismo consta en una primera etapa dee un generador de onda sinusoidal con los parámetros establecidos. A continuación, un atenuador sitúa la señal en los niveles de amplitud y acoplamiento necesarios enviándola hacia el captador con electrodos de grafito. La corriente resultante es detectada en el analizador y rectificada para ser convertida en un voltaje proporcional a la medición efectuada. Esta señal variable de voltaje de DC resulta convertida a una frecuencia proporcional para ser desacoplada galvánicamente con el empleo de dispositivos optoelectrónicos, de la salida final de 4 a 20 mA.
Dos fuentes estabilizadoras con circuitos integrados lineales suministran la energía necesaria para los circuitos en cada etapa

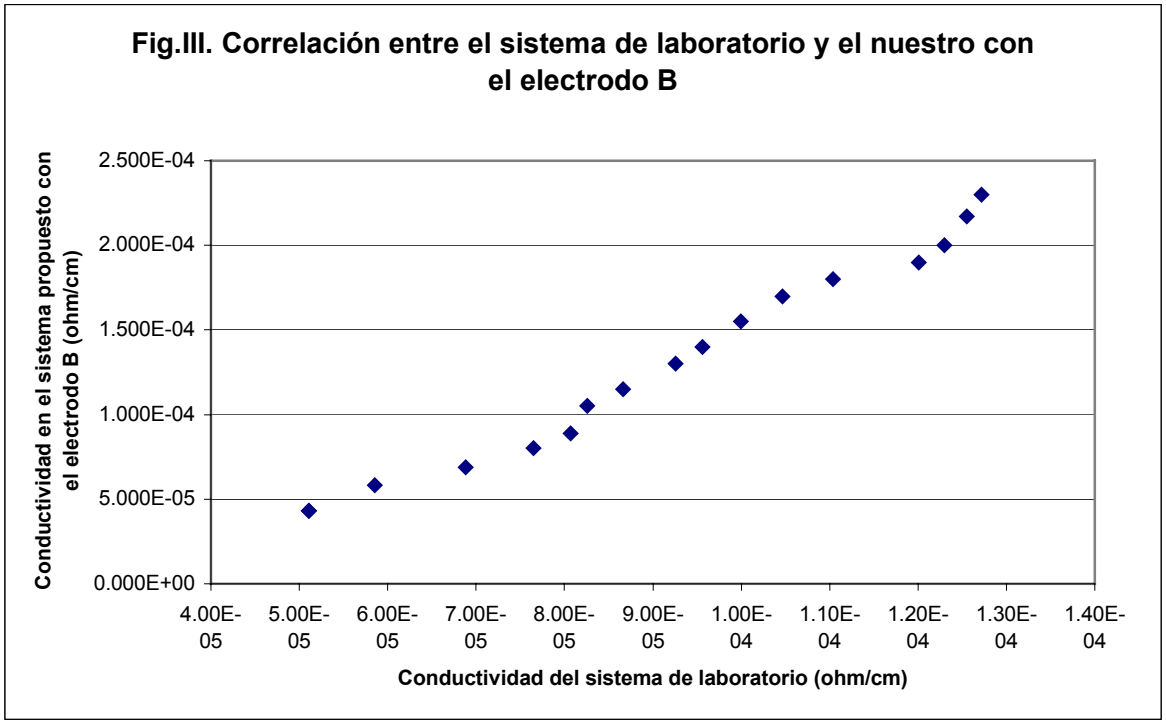
Pruebas de laboratorio

Los electrodos fabricados se sometieron a pruebas en el laboratorio con el transmisor de impedancia construido y se compararon sus lecturas con las de un conductímetro de laboratorio con electrodos de platino, en aguas de condensado extraídas del CAI Pablo Noriega a diferentes temperaturas con pequeñas adiciones de sacarosa a partir de meladura 61 Bx. En las Figuras II y III se muestra la correlación existente entre el sistema de laboratorio (conductímetro de laboratorio con electrodos de platino) y el sistema con el transmisor de impedancia construido y los electrodos A y B respectivamente.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL TRANSMISOR DE IMPEDANCIA

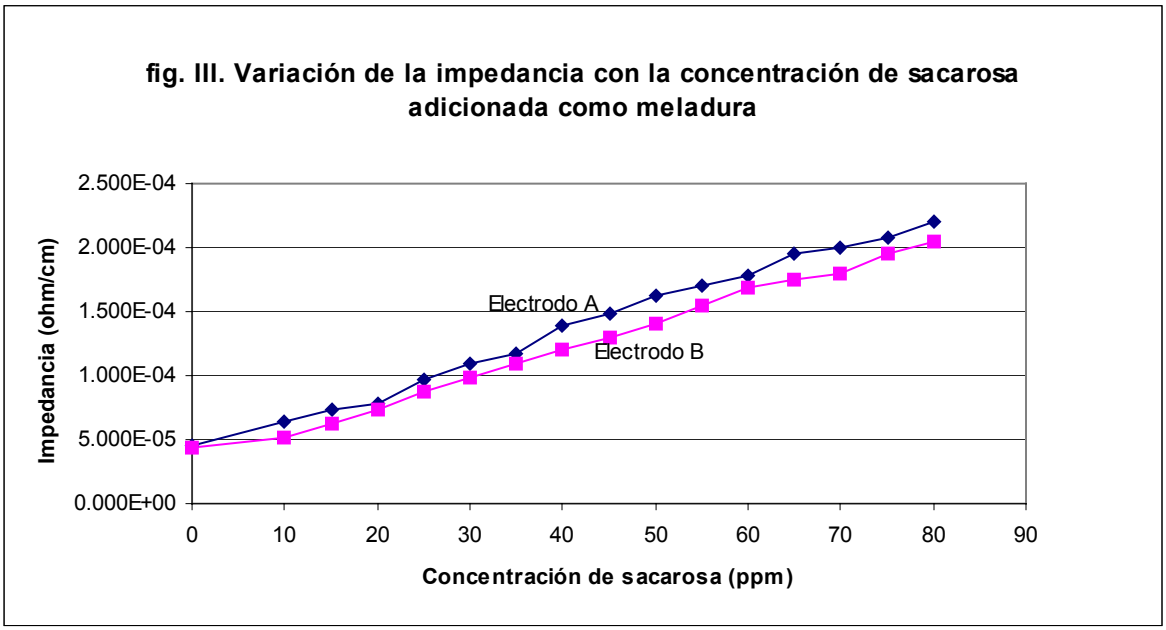






Se muestra buena correlación , en el primer caso con un valor de r^2 = 0,996 y en el electrodo B r^2 = 0,934.

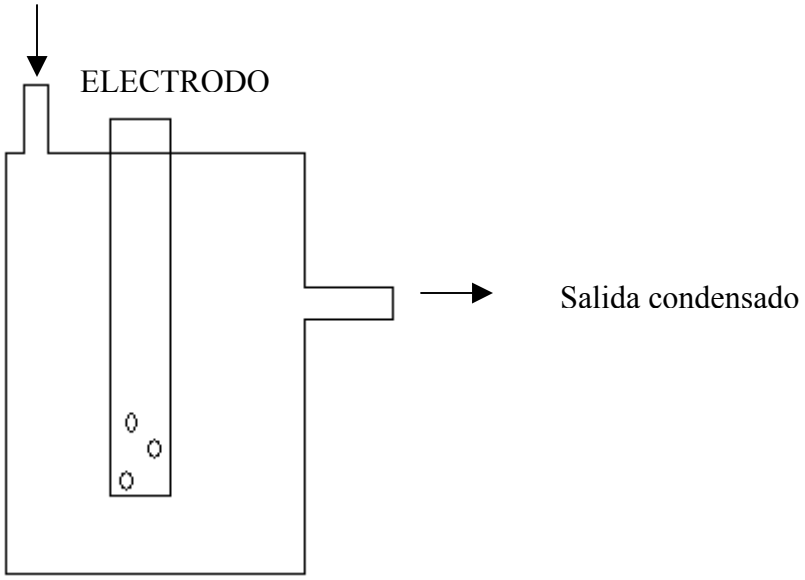
Este resultado demuestra que el sistema propuesto mide el valor de la impedancia con aceptable rigor.
En la Figura IV se muestra la variación de la impedancia medida con el sistema propuesto para los dos electrodos a 90 C variando la concentración de sacarosa añadida como meladura a 61 Bx.



Este gráfico demuestra la sensibilidad del sistema a la presencia de la contaminación con meladura en ambos electrodos de manera similar.
La determinación de la constante de los electrodos se realizó empleando solución de KCl 0,001 N a 25 C para cuya solución se conoce que la conductividad es de 146,9 mohm/cm (4). Los valores calculados para estas constantes fueron de 0,328 y 0,230 para los electrodos A y B respectivamente.

Prueba Industrial

Las pruebas industriales del sistema se realizaron con el electrodo A y el equipo transmisor de impedancia en el CAI 30 de Noviembre durante la zafra 2001 – 2002.
Después de algunas pruebas preliminares, el electrodo se ubicó en el punto de toma de muestras de la línea de condensado de los tachos en un recipiente apropiado que garantizara que se encontrara sumergido en el agua de condensado constantemente, independientemente de que estuviera fluyendo condensado o no. Para cumplir este requisito se colocó una porción de tubería de acero común de 6‘’ de diámetro como se ilustra a continuación, que se alimenta por la parte superior y la salida queda por encima del nivel en que se encuentra el electrodo:



Se fijó el nivel de alarma en 45% (7,2 mA) teniendo en cuenta los resultados de las mediciones con meladura en el laboratorio (que se corresponden con una concentración de sacarosa entre 15 y 20 ppm) y la experiencia industrial en cuanto a la contaminación. La señal se monitoreaba constantemente y se almacenaba en una computadora mediante el sistema supervisorio GRACIL.
Se tomaron muestras de agua de condensado en diferentes momentos de la prueba, especialmente cuando el equipo detectaba contaminación a través de la alarma.
A las muestras de condensado se les determinó sacarosa según la técnica recomendada (5) y se tomaba el por ciento leído en la computadora (de 4 a 20 mA).
En la tabla I se reflejan en orden ascendente de nivel de sacarosa, el % detectado por el equipo y si indicó alarma o no.

Ppm sacarosa	**% leído**	**Alarma**
5.43	45	NO
5,68	37	NO
6,42	39	NO
7,84	42	NO
8,21	42	NO
34,38	47	SI
41,23	47	SI
102,72	60	SI
114,8	58	SI
201,8	59	SI
270,37	46	SI
369,13	56	SI
520,58	56	SI
646,8	59	SI
698,8	43	NO
988,8	53	SI
1027,2	60	SI
1245,7	54	SI
1896,3	54	SI

Es de destacar que sólo en un caso de elevada concentración de sacarosa en el agua de condensado, el equipo no detectó alarma. Esto se atribuye a la distancia existente entre el punto de medición y el lugar en que se encuentra ubicada la computadora en la que se leía el %, lo cual puede haber conducido a la toma de valores erróneos. No obstante se considera satisfactorio el comportamiento desde este punto de vista.
Un aspecto importante detectado se refiere a la fiabilidad del equipo, por cuanto durante su operación continua, muchas veces se desconectaba y dejaba de medir, por razones puramente constructivas. Estos problemas fueron resueltos y el equipo permaneció por más de un mes operando continuamente.

Valoración económica

a) Relación Ingresos vs. Gastos:
Los ingresos derivados del Proyecto fueron 83,5 MP y los Gastos 81,7 lo que indica un saldo positivo.

b) Sustitución de importaciones:
De acuerdo con información recibida de la firma norteamericana GLIINT que comercializa de manera extensiva este producto, el precio de un sistema técnicamente equivalente al prototipo desarrollado en el presente proyecto es de 1080 USD y el costo del referido prototipo es igual a 380 USD.

Un ingenio azucarero requiere de uno 5 equipos para garantizar una adecuada desagregación de los condensados por lo que el monto derivado de la sustitución de importaciones sería de 3 500 USD por cada central

Conclusión

Se dispone de un sistema para el control en línea de la calidad de los condensados en los centrales azucareros ventajoso desde el punto de vista técnico-económico.

Referencias

(1) Jesús Izquierdo. (1999). ICINAZ Informe Interno

(2) Florian Mansfeld. (1981). Recording and Analysis of AC Impedance Data for Corrosion Studies. Background and Methods of Analysis. Corrosion 36, 5 Mayo p.301 - 307

(3) GLI International Ltd. (2002) Operating Instruction Manual Model 3433 series. Non metallic General Purpose. 15 pp.

(4) Conductividad.pdf www.guemisa.com (2002)

(5) MACU (2001). MINAZ – ICINAZ

DINÁMICA DE EVAPORADORES DE CALANDRIA

Mario R. Cesca [(1)] Jacinto L. Marchetti [(2)] María Rosa Hernández [(1)]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología – Universidad Nacional de Tucumán
Av. Independencia 1800 – (4000) San Miguel de Tucumán – Tucumán - Argentina
e-mail: mcesca@herrera.unt.edu.ar
(2) Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC)
Güemes 3450 - (3000) Santa Fe – Argentina
e-mail: jlmarch@ceride.gov.ar

Palabras Clave: Evaporador, Calandria, Dinámica

Resumen

A pesar de ser una tecnología ya centenaria, los evaporadores de calandria se siguen usando en forma intensiva en la industria azucarera de caña. La gran capacidad de acumulación de materia y energía de los recintos líquidos, le confieren a estos equipos una característica dinámica muy particular.
Empleando un modelo dinámico detallado de un sistema de cuádruple efecto industrial (Ingenio Concepción, Tucumán, Argentina), un estudio de la dinámica es llevado a cabo por simulación digital. El modelo, basado en primeros principios, fue convalidado experimentalmente y está constituido por un sistema de 16 ecuaciones diferenciales ordinarias y es complementada con ecuaciones de transferencia del calor, de movimiento de fluidos entre equipos, propiedades fisicoquímicas y termodinámicas, etc. El simulador se desarrolló en ambiente Simulink, herramienta de Matlab (Mathworks).
El estudio muestra distintos aspectos que son relevantes cuando se deben analizar los sistemas de control. Algunas conclusiones son:

- La existencia de dinámicas paralelas diferenciadas (recintos de vapor y de líquidos) que llevan en algunos casos a respuestas inversas.
- Efecto estático poco notable en la composición final de los caudales de extracción de vapor de los primeros efectos, mientras que la influencia transitoria resulta relevante.
- La influencia de los tiempos muertos asociados al transporte de líquido entre efectos es importante.

CHEST EVAPORATORS DYNAMIC

Keywords: Evaporator. Chest, Dynamic

Abstract

In spite of to be a centennial technology, the chest evaporators are continued using in intensive form in the cane sugar industry. The great mass and energy holdup of the liquid area confers to these equipment a very particular dynamic characteristic.
Using a detailed dynamic model of an industrial quadruple effect (Concepción Mill, Tucumán, Argentina), a dynamic study is carried out by digital simulation. The model, based on first principles was validated experimentally and it is constituted by a system of 16 ordinary differential equations and complemented with algebraic equations of heat transfer, liquid transfer between effects, physiochemical and thermodynamic properties, etc. The simulator was developed in Simulink environment, tool of Matlab (Mathworks).

The study shows different relevant aspects when control systems should be analyzed. Some conclusions are:

- There are of differentiated parallel dynamic (vapor and of liquids areas) that causes inverse response in some cases.
- The static effect in the final composition of the firsts effects vapor bled are not remarkable while the transient influence is important.
- The influence of dead time associated to the liquid transport between effects is remarkable.

Introducción

La evaporación es la operación intermedia entre el acondicionamiento de la materia prima (molienda y clarificación) y el acabado del producto (cristalización y secado). En esta etapa se consume la mayor parte del vapor de escape de turbinas (60 al 70 %) extrayéndose alrededor de las dos terceras partes del agua contenida en el jugo y provee de vapor a muchas operaciones del central. De allí que reciba considerable atención por parte de los investigadores. Este particular trabajo estudia las características dinámicas de los evaporadores de calandria. Estos evaporadores, si bien se dejaron de fabricar en los años 80' del siglo pasado, son los más difundidos en los ingenios azucareros de América Latina. La relevancia de conocer el comportamiento dinámico radica en que sirve para el diseño de los sistemas de control y para prever como repercuten en las variables más importantes los frecuentes cambios del régimen de molienda.

Variables Controladas y Perturbaciones

Hace tiempo (Urbanieck, 1989, cap. 6) se indicó que dos son los aspectos del control automático para lograr el mayor aprovechamiento energético de la evaporación:

- Control efectivo de la concentración del jugo concentrado.
- Estabilización de las presiones en los efectos individuales para asegurar la calidad del vapor que es extraído para los diversos calentamientos.

Respecto del primero de los objetivos, si bien el melado no es un producto final y por lo tanto no está sujeto a severas especificaciones, resulta particularmente apropiado mantener la concentración de la salida lo más acotada posible para lograr un trabajo más parejo en la etapa de cristalización posterior y permitir que el equipo trabaje en su máxima capacidad, esto es, logrando la máxima concentración a la salida. Si las fluctuaciones en la composición de salida son estrechas, el set point se podrá fijar tan alto como sea conveniente para la etapa posterior y así el equipo es empleado en su mayor potencialidad. Se lograría ahorrar que lo Shinskey (1982) denomina *"Costo de la Variabilidad"*.

Sin embargo hay otros requerimientos vinculados al funcionamiento de la estación de evaporación. En los efectos individuales se deberá mantener el balance de materia que aseguren la apropiada transferencia de calor minimizando la degradación de la sacarosa. De esto último surge la necesidad del control del nivel de líquido dentro del efecto (evaporadores de calandria) o en los separadores de vapor. Otra condición operativa que debe ser regulada es el vacío en el último efecto que se logra manteniendo acotada la presión de vapor o la temperatura en el condensador.

Las variables manipuladas disponibles son los caudales de jugos de distintas concentraciones y los flujos de energía (vapor calefactor y agua de refrigeración en el condensador).

El sistema de control de la evaporación múltiple debe hacer frente a las siguientes perturbaciones:

- *Flujo de jugo diluido (**Fo**)*: la molienda de la caña de azúcar en general es variable con fluctuaciones importantes que determinan que el jugo clarificado llegue con apreciable variabilidad, a pesar de los diversos tanques intermedios que en algo atenúan las variaciones.
- *Concentración del jugo clarificado (**xo**)*: debido a que la materia prima de calidad variable y al trabajo desparejo de extracción en molinos y clarificación, el tenor de sólidos puede tener variaciones, que en general no son muy pronunciadas (± 1º Brix).

- *Temperatura del jugo clarificado (**To**)*: es una variable que en general es sujeto de control automático para que la alimentación se haga en las condiciones de ebullición del primer efecto, por lo que en general no debería tener mayor relevancia.
- *Presión del vapor calefactor (**Pe**)*: es una variable con notable influencia en la capacidad de la evaporación. Sus variaciones son consecuencia del desbalance entre el escape de las turbinas y la demanda de los distintos usuarios. Normalmente es controlada automáticamente por lo que los cambios que experimenta no son deberían ser importantes. Sin embargo, en algunos casos, la presión del colector de vapor participa de esquemas de control globales junto a la propia evaporación, haciendo que la variable flote dentro de ciertos límites (Shinskey, 1981; De Viana, y Watson, 1992).
- *Flujo de vapor extraído de cada efecto (E_i)*: la demanda de vapor asociada a los calentamientos de jugo en general no tienen variaciones abruptas y normalmente siguen el nivel de producción. Sin embargo, el vapor destinado a los procesos de cristalización (cocimiento) desarrollado en unidades batch, es demandado con apreciables cambios y constituye una de las perturbaciones más intensas.
- *Temperatura de agua de condensación (**Tc**):* puede tener variaciones asociadas a factores climáticos o vinculados a la disponibilidad.

El control de nivel puede hacerse manipulando el flujo de alimentación o de salida de jugos, dependiendo del particular tipo de evaporador empleado. Con los evaporadores tipo Robert se pueden emplear cualquiera, de los dos, mientras que las unidades Kestner y las de placas con separador externo en general deben ser controladas con el flujo de salida para asegurar el sello hidráulico de separación entre efectos. Los evaporadores de tubos de película descendente, los niveles pueden ser controlados con la alimentación, pero en la mayoría de los modelos se prefiere manipular el flujo de salida. El establecimiento del control de los niveles es condición previa para que el equipo sea operable (Luyben y Luyben, 1997) y para que la composición pueda ser controlada. En este trabajo se consideran lazos de nivel con manipulación del flujo de liquido de salida.

Equipo Industrial Estudiado

El *Cuádruple C5* forma parte de un complejo sistema de evaporación del Ingenio Concepción (Tucumán, Argentina). Consta de unidades con calandria tipo Fletcher. Las condiciones de un estado estacionario típico se presentan en la Tabla I. Hay que destacar que del primer y tercer efecto pueden extraerse vapor que se aprovecha para el calentamiento de jugos en intercambiadores de tubos y coraza.

Tabla I: Variables de operación correspondientes a un estado estacionario típico. Cuádruple C5 (Ingenio Concepción – Tucumán).

Variable	*ALIMENTO*	*EFECTO 1*	*EFECTO 2*	*EFECTO 3*	*EFECTO 4*
Flujo líquido (Kg/seg)	44.40	33.77	2B.34	18.70	14.24
Fracción de sólidos	0.215	0.283	0.362	0.511	0.670
Temperatura del líquido (K)	385.0	372.7	362.8	351.6	331.8
Temperatura del vapor (K)	383.5	372.0	361.8	349.8	328.4
Presión del vapor (Bar)	1.412	0.949	0.649	0.402	0.155
Flujo de vapor (Kg/seg)	10.05	10.63	7.44	7.64	4.46
Extracción de vapor (Kg/seg)		3.50		3.50	

Los diversos puntos de medición del Cuádruple C5 se ven en el diagrama P&I de la Figura 1. Además de estas mediciones permanentes, se pueden conocer las composiciones de las distintas corrientes de jugos por muestreo y análisis refractométrico.

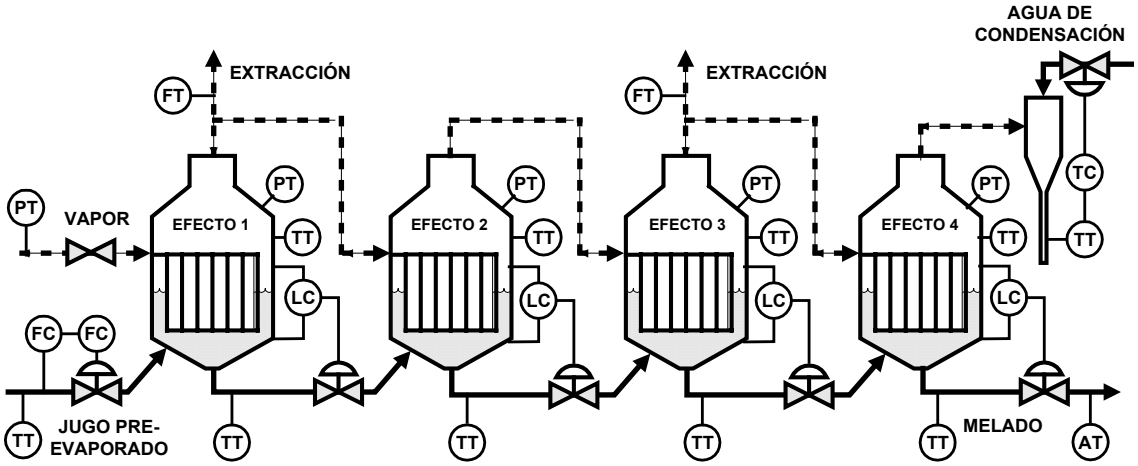


Figura 1: Diagrama P&I del multiefecto C5 del Ingenio Concepción (Tucumán).

Los parámetros geométricos del Cuádruple C5 son mostrados en la Tabla II. Se incluye también los valores típicos de los coeficientes de intercambio global de calor para el caso de equipo limpio, después de la operación de limpieza.

Tabla II: Parámetros geométricos y de intercambio de calor del Cuádruple C5 (Ingenio Concepción – Tucumán).

Parámetros	*Efecto*			
	1	*2*	*3*	*4*
Superficie de intercambio (m^2)	1500	1500	1500	1350
Volumen de líquido debajo de los tubos (m^3)	3.123	3.123	4.523	4.523
Masa de los tubos (Kg)	24112	24112	29100	29100
Sección transversal de movimiento de líquido (m^2)	8.878	8.878	10.006	9.742
Volumen de cañería de interconexión (m^3)	0.543	0.588	1.232	1.338
Altura de los tubos (m)	2.5	2.5	2.5	2.5
Coeficiente de transferencia de calor ($KW/m^2/K$)	1.350	1.135	1.089	0.387
Fracción inundada de los tubos	0.500	0.500	0.550	0.600

El fluido calefactor del Cuádruple C5 proviene de un colector de vapor surtido por un sistema de evaporadores que actúan como primeros efectos. Los vahos del último efecto son condensados parcialmente en un intercambiador de calor de tubos y coraza que precalienta jugo crudo (no aparece en el diagrama de la Figura 1) y el resto va un condensador de contacto directo. Un lazo simple de control de temperatura del agua en la pierna barométrica que manipula una corriente de agua fresca mantiene las condiciones de vacío. Los incondensables son extraídos con una bomba de vacío.

Modelo Matemático Dinámico

Para llevar adelante un estudio vía simulación digital, se desarrolló un modelo dinámico del evaporador múltiple basado en primeros principios. Se hicieron las siguientes hipótesis que dieron lugar a simplificaciones normalmente aceptadas, a saber,

- La dinámica de vaporización es lo suficientemente rápida de modo que se establece equilibrio termodinámico en todo momento (Newell y Fisher, 1972).
- En forma análoga, del lado del vapor condensante, existe equilibrio entre vapor y condensado (Ritter y André, 1970).
- La agitación en el lado del líquido es lo suficientemente vigorosa como para suponer que no existen gradientes de composición y temperatura. Este supuesto fue adoptado desde los primeros modelos (Andersen y otros., 1961) y confirmado ampliamente por la experiencia (Newell y Fisher, 1972; Bolmstedt, 1977; Tonelli, 1987).
- La fase vapor no contiene sólidos (por definición de la operación unitaria de evaporación) y no existen gradientes de temperatura de acuerdo con 2.
- Pérdida de calor es proporcional al calor liberado en la calandria. El factor permite ajustar los datos experimentales con el balance de energía.
- La variación del volumen del condensado es despreciable, de modo que el volumen del vapor puede considerarse constante (Newell y Fisher, 1972).
- Resistencia al flujo de calor en los tubos es nula. Si bien no hay demasiada evidencia experimental, algunos resultados (Struijs, 1996) indican que esta simplificación es aceptable
- Calor de dilución despreciable. No se producen transformaciones químicas que generen efectos térmicos importantes.
- Capacidad térmica de la aislación de la unidad despreciable en relación con las correspondientes al líquido, metal y vapor (Burdett y Hollland, 1971).
- Insignificante el efecto de los incondensables en la operación del equipo con un venteo constante de vapor de la calandria para evitar su acumulación.

Las propiedades fisicoquímicas y termodinámicas se estimaron con fórmulas apropiadas. Se estableció controladores PI con saturación de señales y realimentación externa para obviar el efecto de windup. Se estableció que el movimiento de fluidos se hace por diferencia de presión y se tuvo en cuenta la característica de flujo y grado de apertura de las válvulas de control.

También se consideró el tiempo muerto de composiciones y temperaturas asociados al movimiento del jugo entre efectos. El modelo resultante tiene 16 variables de estado. Para integrar el sistema de ecuaciones algebraico-diferenciales que describen el comportamiento transitorio del evaporador múltiple se recurrió a *Simulink v.3.0*, herramienta de programación gráfica de *Matlab* (Mathworks Inc., USA) ya que al día de hoy es uno de los paquetes de mayor uso en el ambiente académico e industrial para simulación de sistemas dinámicos. Los detalles de este simulador denominado DYNEVA pueden ser consultados en el trabajo de Cesca (2004).

Validación del modelo en planta

En la campaña 1999 se hicieron diversos ensayos en este equipo (Heluane *et al*., 2001). Uno de ellos involucró cambios importantes en dos variables de entrada: caudal de jugo diluido (Fo) y temperatura (presión) del vapor calefactor. La Figura 2 muestra las series temporales correspondientes a las variables de entrada que cambiaron en forma más importante. Las otras entradas tuvieron fluctuaciones leves.

Se realizaron dos simulaciones, una considerando las series temporales mostradas en la Figura 2 y otra suponiendo cambios tipo escalón como se muestra en la misma figura..

La Figura 3 presenta en forma conjunta los valores simulados y medidos de la variable a controlar, la concentración de melado. Se observa gran aproximación entre las respuestas simuladas (entradas escalón o series temporales). La respuesta simulada guarda un moderado ajuste con los valores experimentales, produciéndose las discrepancias más acentuadas hacia el fin del transiente. Esto puede deberse fundamentalmente a un deficiente ajuste de los coeficientes de transferencia del calor.

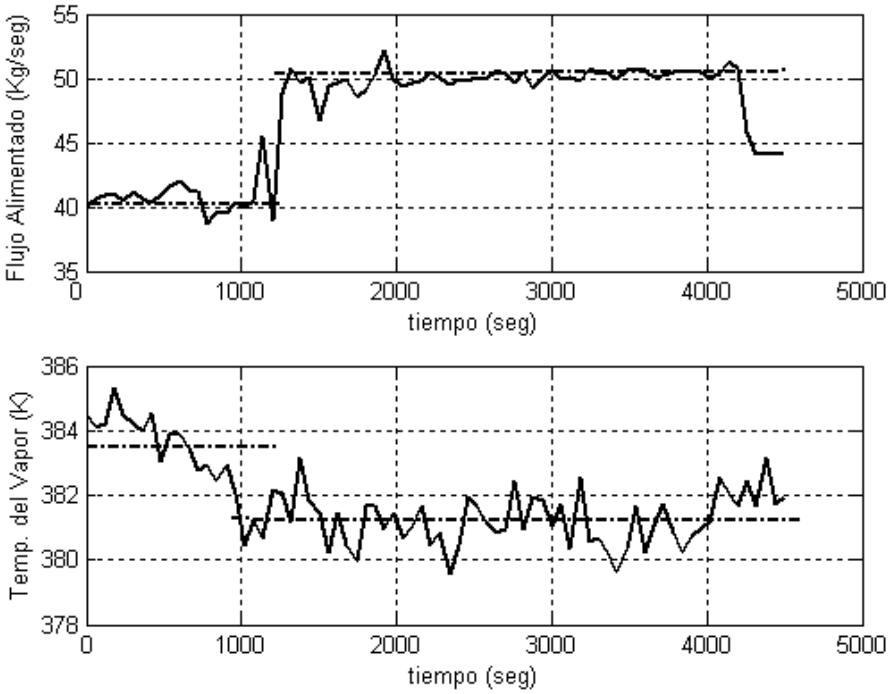


Figura 2: Evolución de las variables de entrada al evaporador C5 con cambios substanciales.

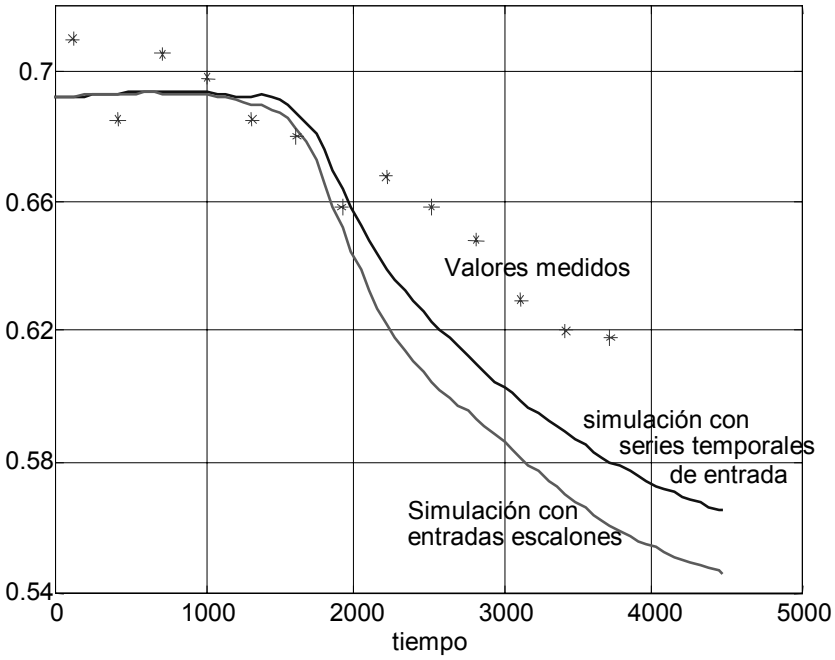


Figura 3: Transitorio de la concentración de sólidos a la salida del evaporador C5. Valores medidos y resultados de simulación .

Debe destacarse la existencia de un tiempo muerto de alrededor de 500 segundos, que se puede asociar a los retardos distancia-velocidad de composiciones y temperaturas entre efectos.

Influencia estática de las perturbaciones

Lo Primero que debe determinase es cuánto pueden afectar las perturbaciones a la variable controlada. Esto permite decidir que entradas deben ser tenidas en cuenta en forma específica por el sistema de control. En principio se consideran los efectos de estado estacionario que resultan de emplear el modelo estático. En forma genérica, se puede poner la variable controlada (x_4, concentración de melado) en función de las variables de entrada (manipulación y perturbaciones):

$$x_4 = f(m,\mathbf{d}), \qquad \mathbf{d} = d_1, d_2, ..., d_N, \qquad [1]$$

donde m es la manipulación para los sistemas de control (lo normal es el caudal de vapor enviado al primer efecto Vo) y **d** el vector de las perturbaciones. Una medida de la influencia de las distintas perturbaciones es el máximo cambio (en valor absoluto) que experimentaría la variable a controlar por acción de cada entrada y que se puede estimar con:

$$\Delta_k = \left| \left(\frac{\partial f}{\partial d_k} \right) \max(\Delta d_k) \right| , \qquad [2]$$

La derivada es la sensibilidad o ganancia que se evalúa con el modelo de estado estacionario, incluido en el modelo dinámico. Las perturbaciones consideradas fueron: caudal (Fo), composición (xo) y temperatura (To) del jugo alimentado, presión del vapor calefactor (Pe), Temperatura del agua en la pierna barométrica y extracciones en el primer (E_1) y tercer efecto (E_3). Los máximos cambios de estas entradas se obtuvieron de la información histórica de la planta. Otro aspecto que fue tenido en cuenta es el grado de incrustación de las superficies de intercambio a través del coeficiente de transferencia de calor. Lo máximos cambios se presentan la Tabla III.

Tabla III: Influencia estática de las perturbaciones.

		Perturbación						
		Fo (Kg/s)	Xo	To (K)	Pe (Bar)	Tc (K)	E_1 (Kg/s)	E_3 (Kg/s)
Equipo Limpio	Sensibilidad	-0.01537	0.60605	0.00143	0.22131	-0.00562	0.00054	0.02407
	$\max(\Delta d_k)$	7.5	0.02	3	0.2	1	2.5	2.5
	Δ_k	0.115	0.012	0.004	0.044	0.006	0.001	0.060
Equipo Sucio	Sensibilidad	-0.01679	0.50616	0.0014	0.21961	-0.00526	-0.00098	0.02373
	$\max(\Delta d_k)$	7.5	0.02	3	0.2	1	2.5	2.5
	Δ_k	0.126	0.010	0.004	0.044	0.005	0.002	0.059

Es evidente que la perturbación de mayor importancia es el caudal de jugo diluido que se alimenta al primer efecto y le siguen en importancia el flujo de vapor extraído del tercer efecto (E_3) y la presión del vapor alimentado al primer efecto (Pe). El resto no tienen s efecto de consideración. No es relevante la influencia del grado de incrustación de las superficies de intercambio.

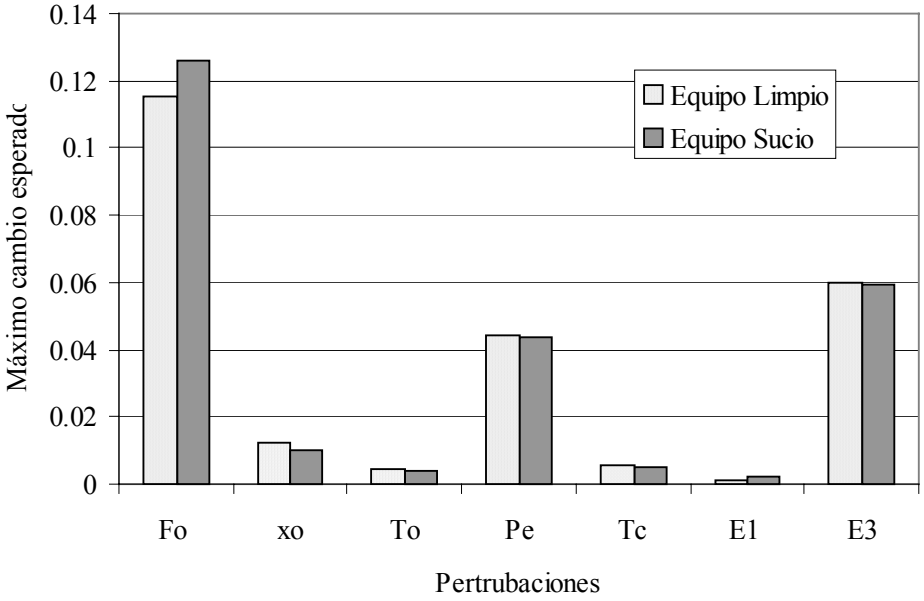


Figura 4: Máximo cambio esperado en la variable controlada (Δ_k).

Resulta notable, y para nada intuitivo, que cambios en la sangría de vapor del primer efecto (E_1) prácticamente no incidan en la concentración final. Esto puede explicarse teniendo en cuenta que un aumento del vapor demandado en el primer efecto causa un descenso de la presión de vapor y una consiguiente baja de la temperatura. Así aumenta la fuerza impulsora y por consiguiente se incrementa el flujo de vapor (calor) que compensa en gran parte la demanda adicional de la extracción.

Comportamiento dinámico. Respuesta a escalones.

No es frecuente tener entradas tipo escalón, pero resulta sumamente útil analizar la respuesta a este estímulo porque permite comprender la forma en la que actúan las perturbaciones. Haciendo uso de DYNEVA se simularon las respuestas de la variable controlada (concentración de melado) a escalones de las distintas perturbaciones. La respuesta a un escalón del flujo de Jugo Pre-evaporado alimentado de +6 Kg/seg, considerando un estado estacionario inicial típico, se muestra en las Figuras 5 a 8, donde aparecen los transitorios de distintas variables de salida.
La evolución de los niveles sigue un patrón oscilatorio como cabe esperarse en un lazo de control. Es interesante observar que presentan error de estado estacionario a pesar que los controladores de nivel son PI. El offset se explica porque la medición de nivel se hace con un transmisor de presión diferencial y la densidad del líquido varía con los cambios de concentración. Los períodos de oscilación son más prolongados en los últimos vasos, debido fundamentalmente a que la retención es mayor por doble razón: mayor volumen y mayor densidad (concentraciones más altas). En los transientes de concentración se ven con claridad los tiempos muertos que progresivamente se van incrementando hacia los últimos efectos ya que el aporte de cada unidad se va adicionando.
Las temperaturas muestran un aumento transitorio debido a que la alimentación líquida se halla a mayor temperatura que el vapor calefactor y en los momentos iniciales se hace sentir el efecto de la mayor carga energética. Sin embargo, al cabo de cierto tiempo la temperatura comienza a descender ya que se está procesando un mayor caudal sin que cambien sustancialmente las condiciones de transferencia del calor. El detalle notable es que el cambio permanente de las temperaturas es realmente ínfimo, debido a que tanto la temperatura del vapor calefactor como las condiciones de vacío se mantienen inalteradas.

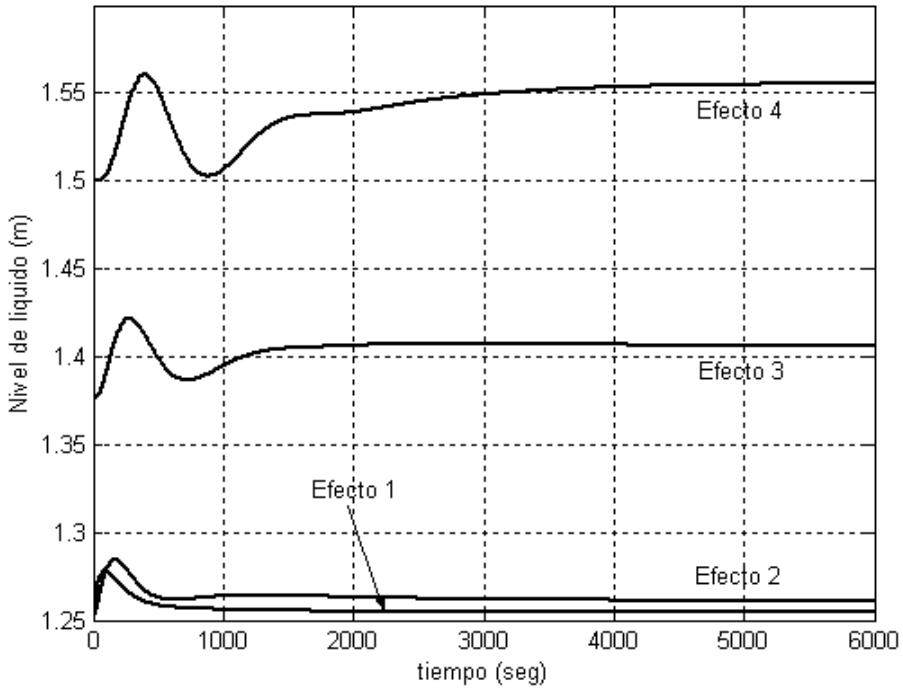


Figura 5: Transitorio de niveles del evaporador C5 ante una perturbación escalón de + 6 Kg/seg en la alimentación líquida.

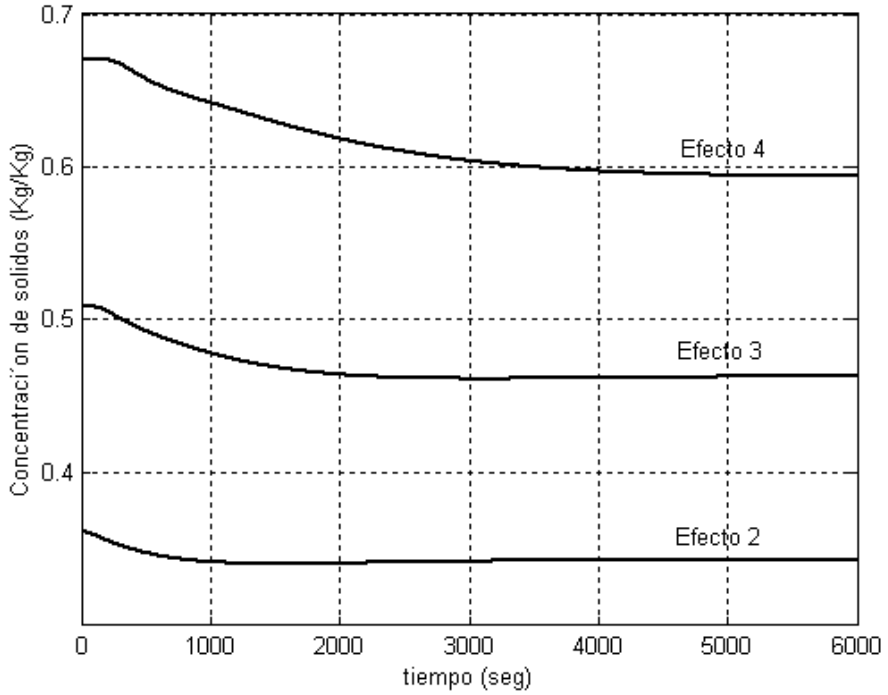


Figura 6: Transitorio de concentración de sólidos del evaporador C5 ante una perturbación escalón de + 6 Kg/seg en la alimentación líquida.

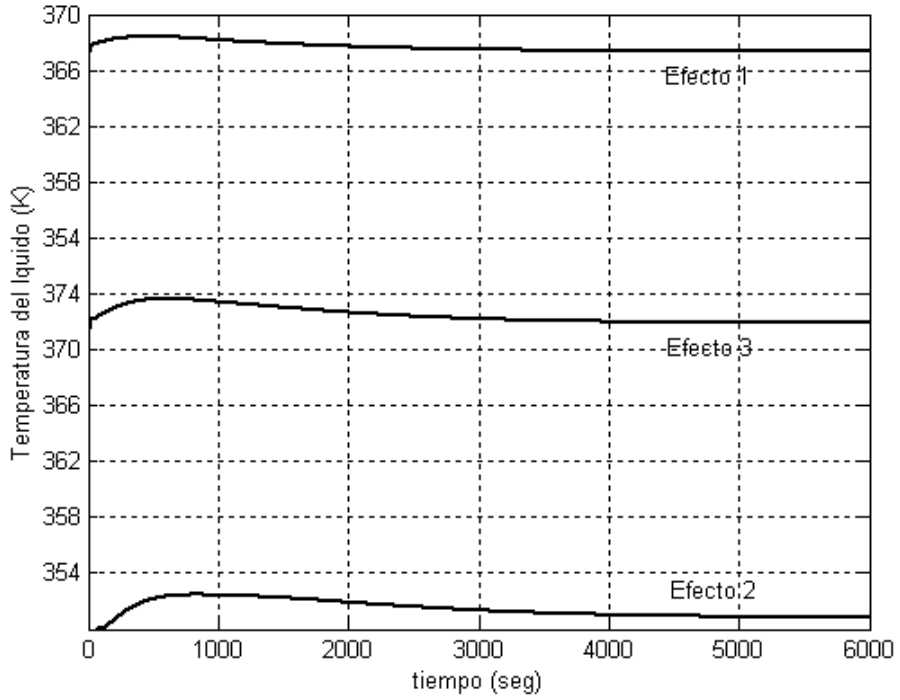


Figura 7: Transitorio de Temperatura de líquido del evaporador C5 ante una perturbación escalón de + 6 Kg/seg en la alimentación líquida.

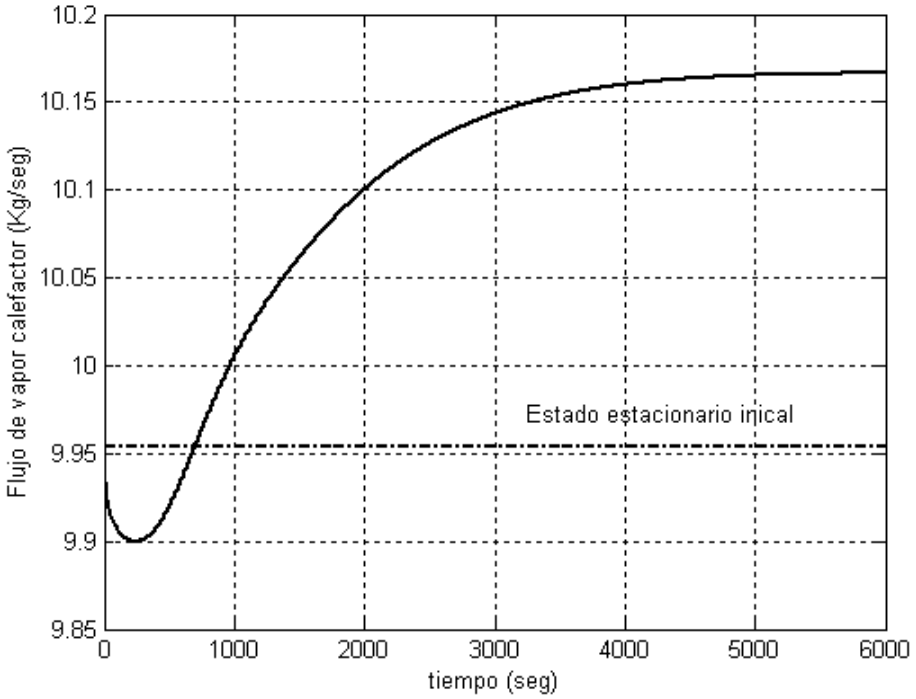


Figura 8: Transitorio del vapor calefactor consumido en el primer efecto del evaporador C5 ante una perturbación escalón de + 6 Kg/seg en la alimentación líquida.

La evolución del flujo de vapor alimentado al primer efecto (Figura 8) merece un párrafo especial. Un primer detalle es que el cambio permanente es ínfimo, aumentado un 0.2 % cuando la magnitud del escalón de jugo alimentado es del 14 %. Otra característica es la respuesta inversa que se explica considerando que inicialmente la transferencia de calor disminuye por el incremento transitorio de temperatura del líquido en el primer efecto. Al transcurrir el tiempo, la temperatura vuelve a descender, produciendo un aumento neto del flujo de vapor.

Un escalón de la concentración de jugo diluido (Figura 9) presenta una respuesta inversa notable que puede atribuirse a la existencia de dos vías paralelas por las que se propaga la perturbación dentro del equipo hasta alcanzar a al variable de salida. Por un lado, la perturbación se hace sentir a través de la dinámica asociada a las corrientes de vapor. Al ingresar la alimentación más concentrada, disminuye el coeficiente de transferencia del calor y se produce menos vapor y así la salida tiende a disminuir su concentración. Este efecto se refleja primero en la concentración final. Por otro lado, al entrar más concertado el jugo pre-evaporado, la dinámica del balance de sólidos fuerza a la concentración a subir. Estos cambios se van dando progresivamente en cada vaso hasta llegar al último, de modo que estos cambios aparecen en la salida en forma más tardía, aunque con mayor intensidad. De ahí la respuesta inversa. La influencia del grado de ensuciamiento es doble: por un lado, el incremento de las incrustaciones disminuye la sensibilidad, y por otro, la dinámica se torna más lenta.

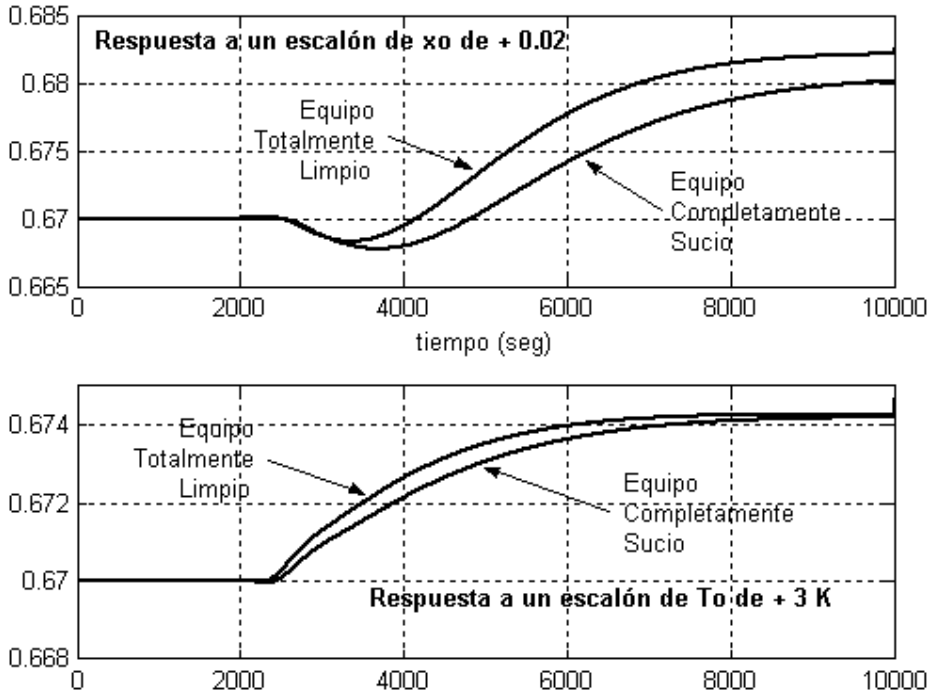


Figura 9: Respuesta de la concentración de melado (V. Controlada) a escalones de composición y temperatura del jugo pre-evaporado aplicados en t = 2000 seg.

Con la temperatura de alimentación To, el comportamiento es diferente. Hay una respuesta inversa, ya que el aumento de temperatura disminuye la fuerza impulsora aunque incremente el coeficiente global de transferencia. Pero este efecto es prácticamente imperceptible. El ensuciamiento de las superficies de intercambio hace la dinámica de concentración del melado más pesada, pero no afecta el comportamiento estático.

Las influencias de la fuente que aporta energía (presión de vapor calefactor Pe) y de la fuente que extrae energía del sistema (temperatura en el condensador barométrico Tc) se muestran en la Figura 10. Se

puede constatar lo afirmado antes acerca de la importancia de la presión de vapor calefactor como perturbación. El ensuciamiento tiene únicamente influencia en la dinámica. En el caso de la temperatura del condensador, se puede observar un tiempo muerto más reducido que para la variable anterior debido a que la perturbación incide directamente en el 4to. Efecto, precisamente donde se mide la concentración de melado. Esta variable afecta escasamente al sistema de control ya que es controlada automáticamente, con cambios transitorios de poca intensidad.

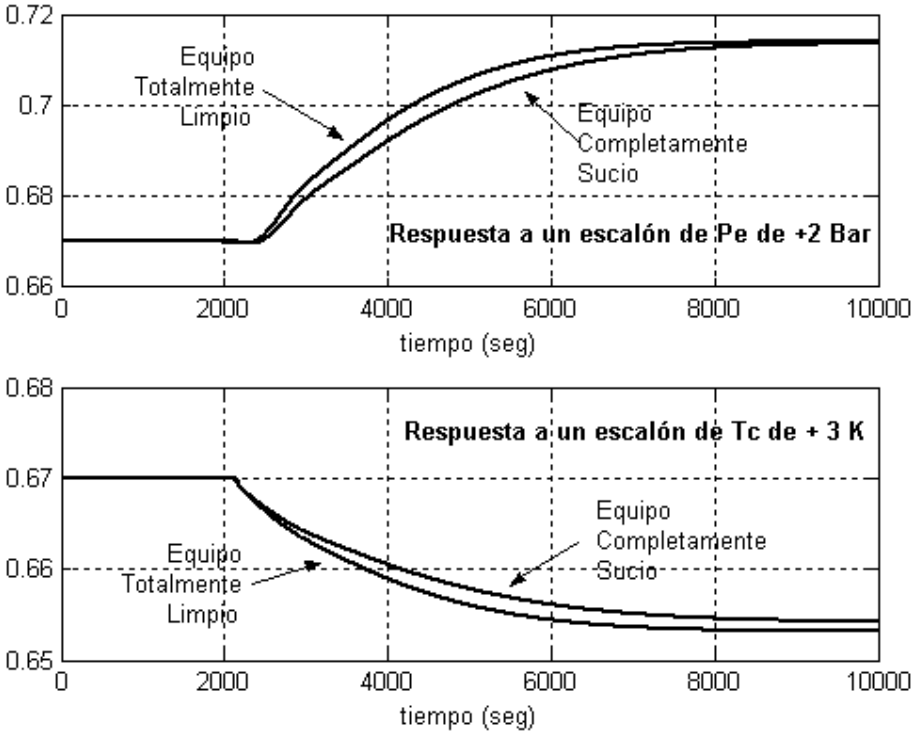


Figura 10: Respuesta de la concentración de melado (v. Controlada) a escalones de Presión de vapor calefactor y temperatura en el condensador aplicados en t = 2000 seg.

La respuesta de la concentración de salida a escalones en las extracciones del 1er. y del 3er. cuerpo de evaporación (Figura 11) presenta dos comportamientos completamente distintos. La sangría del primer efecto al disminuir abruptamente produce cambios transitorios relativamente leves, con escaso efecto permanente como ya se dijo antes. La sensibilidad no solamente es pequeña, sino que cambia su signo de acuerdo con el grado de ensuciamiento.

La extracción E_3 tiene una sensibilidad apreciable y prácticamente no depende del grado de incrustaciones. Hay retardo adicional de la respuesta por efecto del ensuciamiento.

Debe recordarse que en todos los casos, los sistemas de control de nivel están trabajando automáticamente. La sintonización de esos lazos se hizo con valores algo más ajustados que los reales de planta. La dinámica de los niveles, como estaba previsto, muestra una influencia leve sobre la respuesta de la composición de salida.

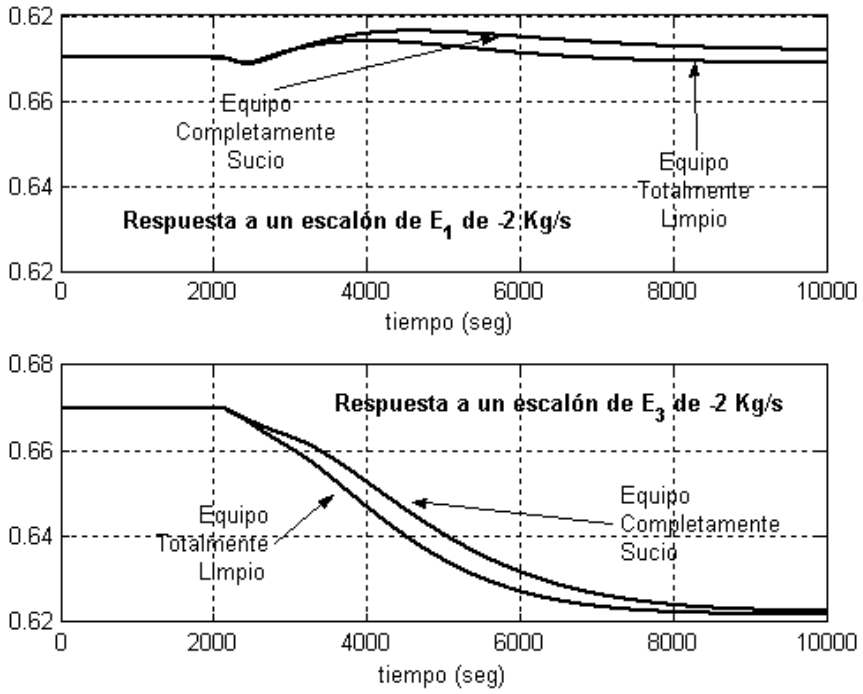


Figura 11: Respuesta de la concentración de melado (V. Controlada) a escalones de Extracciones de vapor del 1er y 3er. efecto aplicados en t = 2000 seg.

En todos los transitorios se puede apreciar una tiempo muerto, cuyo valor cambia según el punto de incidencia de la perturbación.

Conclusiones

- Se presentó un modelo dinámico de la evaporación múltiple para equipos de calandria de la industria azucarera basado en los clásicos principios de conservación. Se tomaron en cuenta las propiedades físico-químicas, termodinámicas y de transferencia de calor para una unidad. Fijando la interconexión entre efectos, el sistema de control de nivel y el mecanismo de movimiento de líquido entre equipos, se llega a un modelo descripto en un espacio de estados de orden 16 para el Cuádruple C5 del Ingenio Concepción. El modelo codificado en Simulink v.3.0 dio como resultando el simulador DYNEVA.
- Se analizaron transitorios correspondientes a valores medidos en el equipo industrial y se los confrontó con los obtenidos por simulación. Se pudo constatar que el modelo ajusta moderadamente bien.
- A partir del un modelo de estado estacionario incluido en DYNEVA se cuantificó el efecto estático de las perturbaciones que influyen sobre la variable controlada del evaporador cuádruple C5. Se encontró que la incidencia más notable la tiene el flujo de líquido alimentado. La sangría de vapor del tercer efecto E_3 tiene una influencia importante, mientras que la correspondiente extracción del efecto primero es prácticamente insignificante. La presión en el colector de vapor es la perturbación que sigue en intensidad.
- El estudio de la respuesta transitoria a cambios en las entradas empleando DYNEVA permite una mayor comprensión de los mecanismos internos que gobiernan el comportamiento dinámico de estos

equipos de evaporación. Un aspecto que se puede explicar es la existencia de respuesta inversa en la mayoría de la perturbaciones.

- Como se sabe, el tiempo muerto tiene una connotación negativa para los sistemas de control. En este equipo es particularmente notable el tiempo muerto de la composición del melado que se puede vincular a los retardos distancia-velocidad de transporte de líquido entre efectos.

Agradecimiento

Este trabajo fue desarrollado en el marco de los Proyectos WESAP (INT/01/K07 - financiado por The Perez Guerrero Trust Fund of the Group of 77 a través del Programa de la Naciones Unidas Para el Desarrollo - PNUD) e Ingeniería de Sistemas de Procesos (auspiciado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán).

Referencias

- Andersen, J., Glasson., L., Lees, F., (1961), *Trans. Soc. Instr. Tech.*, 13, 21-36.
- Bolmstedt, U., Jernqvist, A., (1976), *Comp. Aided Des.*, **9** (1), 29.
- Burdett, J., Holland, C., (1971), *AIChE J.*, 17 (5), 1080-1089.
- Cesca, M., (2004), Diseño robusto de control en cascada usando estructura IMC. Aplicación a evaporadores de múltiple efecto, Tesis Doctoral en Ingeniería Química, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.
- De Viana, M. J., Watson, L. (1992), *Proc. Australian Soc. of Sugar Cane Technogists'*, 216-222.
- Heluane, H., Colombo, M., Ingaramo, A., Hernández, M. R., Cesca, M. R., (2001), *Latin American Applied Research*, 31 (5), 519-524.
- Luyben, M. L., Luyben, W. L. (1997), Essentials of Process Control, McGraw-Hill, Nueva York, USA.
- Newell, R., Fisher, D. G. (1972), *Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev.*, 11 (2), 213-221.
- Ritter, R., André, H., (1970), *Can. J. Chem. Eng.*, 48, 696-701.
- Shinskey, F. G. (1981), *Austr. J. of Instr. & Control*, 34 (2), 1-7.
- Shinskey, F. G. (1982), Controlling Multivariable Processes, Instrument Soc. of America, Research Triangle Park, USA.
- Struijs, J., (1996), *Zukerind.*, 121 (2), 102-107.
- Tonelli, S., (1987). Estudio Dinámico y Control de Evaporadores de Múltiple Efecto, Tesis Doctoral en Ingeniería Química, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Urbaniec, K. (1989), Modern Energy Economy in Beet Sugar Factories, Elsevier, Amsterdam, Holanda.

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA ECONÓMICA DE LOS INGENIOS AZUCAREROS MEXICANOS EN PROPIEDAD PÚBLICA Y PRIVADA

A COMPARISON BETWEEN THE PUBLIC AND THE PRIVATE MEXICAN SUGAR CANE FACTORIES IN TERMS OF ECONOMIC EFFICIENCY

*** Esteban Trujillo Murcia**
**** Miguel Ángel Martínez Damián**

* Profesor investigador. Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. emurcia@hotmail.com
** Profesor investigador. Colegio de Postgraduados. México. angel01@colpos.mx

Resumen

En el presente trabajo se propone un método de análisis en el estudio de la eficiencia económica de los ingenios azucareros mexicanos, comparando un año de administración pública con un año de administración privada. Para tal propósito se utiliza una muestra de 30 ingenios en la que se contrastan los ingresos marginales indizados del año 1989 con el año 1997, aplicando pruebas no paramétricas de rangos con signos de pares ajustados como Wilcoxon, Z y de signos, que señalan si los aumentos marginales de ingreso fueron significativamente mayores de una administración a otra, de tal manera que se puedan considerar como aumento de la eficiencia económica.

Palabras claves: eficiencia, económica, ingenios, azucareros.

Summary

This paper proposes a method of analysis for the measurement of economic efficiency in the Mexican sugar cane factories. These factories are compared in terms of their one-year performances in terms of their affiliation or belonging to either the public or the private sectors. A sample of 30 sugar cane factories for the contrastation of their marginal revenues for 1989 indexed in 1987 was taken for that measurement, where non-parametric tests of ranges with such adjusted pairs as Wilcoxon, Z and of signs were applied. These tests are used to determine whether the marginal increases in revenues were larger in either the public sector or in the private sector, so that the tests applied can be considered as indicators of increases in economic efficiency.

Key words: efficiency, economic, sugar, factories.

Introducción

El azúcar es el más importante de los edulcorantes en el mundo, en la zafra 2002/2003 la producción fue de 147 336 000 Ton, de las cuales diez países produjeron el 73% del total (USDA, 2003). México se ubicó en el lugar ocho con 4 927 574 Ton producidas, en una superficie de caña de azúcar industrializada de 609, 358 Ha (Coazucar, 2003), y le correspondió el lugar seis como consumidor en el año 2003.

En México la industria azucarera es la más importante de las agroindustrias y la más antigua, genera un volumen considerable de empleos en el campo y en el procesamiento industrial. Alrededor del cultivo de la caña de azúcar y su industrialización se han formado pueblos y se han desarrollado ciudades, se genera una alta ocupación de mano de obra directa e indirectamente, y es una de las pocas alternativas económicas de producción en la mayoría de las zonas cañeras. Además, el consumo de azúcar tiene gran importancia dentro de la dieta de la población, ya que se encuentra dentro de la canasta básica de alimentos y es un insumo importante para la industria agroalimentaria. A partir de 1995 la producción fue superior al consumo interno, llegando en la zafra 1997/98 con 60 ingenios en operación, a 5 174 000 Ton de producción record, ofreciéndose excedentes para cubrir las cuotas ante los Estados Unidos negociadas en el TLCAN y destinando el resto al mercado internacional.

En el transcurso de su historia la industria azucarera en México conoce tres etapas de propiedad: la primera hasta 1971 que estuvo totalmente en manos de particulares; la segunda de 1971 a 1989 que operó en su mayoría dentro del sector público y la etapa actual en que nuevamente opera como propiedad privada, con cambios a partir de 2001 en que 27 ingenios fueron expropiados temporalmente.

En el presente trabajo interesa proponer un método de análisis en el estudio de la eficiencia económica de los ingenios azucareros mexicanos, específicamente en la comparación de un año de administración pública, con un año de administración privada. Para tal propósito se utilizó una muestra de 30 ingenios en la que se contrastan los ingresos marginales del año 1989 con el año 1997, aplicando pruebas no paramétricas que señalan si los aumentos marginales de ingreso fueron significativamente mayores, de tal manera que se puedan considerar como aumento de la eficiencia económica.

Según Parkin (2004), existen dos conceptos de eficiencia de producción: eficiencia tecnológica y eficiencia económica. La eficiencia tecnológica ocurre cuando la producción se genera con la menor cantidad de insumos. La eficiencia económica es reconocida cuando se produce al mínimo costo. También para Besanko y Braeutigam (2001), la eficiencia económica en mercados competitivos se da cuando se produce al mínimo costo.

Los resultados de este trabajo muestran que se pueden inferir beneficios económicos más altos para la mayoría de los ingenios azucareros mexicanos en su etapa privada, como consecuencia de una mayor eficiencia económica, dada por la diferencias en los ingresos marginales de una administración a otra.

Conclusiones

Aunque las limitaciones en información no permiten un análisis más amplio de observaciones y tiempo, la comparación hecha puede ser una referencia aceptable por la característica de los años analizados: 1989 y 1997. El último año con administración pública, y el año con administración privada que fue el umbral de zafras posteriores con importantes excedentes en la producción de azúcar.

Se corroboró la estimación de que para el año 1997, el ingreso marginal en la industria azucarera tenía la tendencia a ser superior al último año de su etapa pública. Según la muestra al final del período público había

ingenios con ingresos marginales negativos, al contrario de 1997 con ingresos marginales positivos para los 30 ingenios. Como los resultados de las pruebas en la muestra indican que el 70% de los ingenios aparentemente tuvieron condiciones económicas mejores para este año que en 1989, y aceptando lo que dice la teoría económica en referencia a los costos marginales y los ingresos marginales; en la comparación de los dos años se puede inferir que hubo beneficios económicos para un número importante de ingenios; sin tomar en cuenta sus compromisos financieros.

Referencias bibliográfícas

Besanko, A. D. y Braeutigam, R.R., 2001, Microeconomics an integrated approach, Wiley and Sons Inc, USA, pp. 411-412.

Coazucar, 2004, [www..sagarpa.gob..mx/coazucar]

Financiera Nacional Azucarera, S. N. C., Costos de producción correspondientes al ejercicio contable 1989 y 1997, México.

Kazmier, J., 1990, *Estadística aplicada a administración y economía*, 2ª edición, ed. Mc Graw Hill, México, pp. 206-207.

Mason, D. y Douglas, A., 1998, *Estadística para administración y economía*, 8ª edición, ed. Alfa Omega, USA, pp. 732-734.

Mendenhall y Reinmuth, 1981, *Estadística para administración y economía*, 3ª edición, ed. Iberoamericana, USA. Pp. 596-599, 601-603.

Parkin, M., 2001, Microeconomía versión para Latinoamérica, 5ª edición, Addison Wesley, México, p. 197.

USDA, 2003, [www.usda. gov/psd/intro.asp?circ_id=10]

Webster, L. A., 2003, Estadística aplicada a los negocios y la economía, Mc Graw-Hill, 3ª edición, Colombia, pp. 477-481.

Metodología

A la muestra señalada se le aplicó la prueba de Wilcoxon de rangos con signos de pares ajustados; la prueba de Z similar a U de Mann-Whitney para muestra grandes y la prueba de signos. Las tres pruebas son de dos extremos, y la realización de éstas se basa en una diferencia de muestras dependientes, que también se les llama observaciones apareadas o pares asociados (Kazmier, 1990). El método consiste primeramente en determinar la diferencia de cada par de valores, y después probar la hipótesis nula (H_o) de que la diferencia poblacional promedio es cero.

Donde:

H_o: $\overline{X}_1 = \overline{X}_2$; No hay diferencia entre la localización de las distribuciones.

H_a: $\overline{X}_1 \neq \overline{X}_2$; Sí hay diferencia entre la localización de las distribuciones.

Se trata del tipo de experimentos "antes y después", en el que se estudian dos muestras con observaciones que comprenden, en este caso, un mismo ingenio en condiciones diferentes de propiedad para cada período.

La prueba de Wilcoxon de rangos con signos de pares ajustados, también es conocida como prueba de la suma de rangos de Wilcoxon para experimentos apareados. Es una prueba más sensible que la prueba de signos, ya que toma en cuenta la magnitud de las diferencias entre cada una de las observaciones (Kazmier, 1990a). Esta prueba se puede aplicar cuando se tienen 2 muestras dependientes, recolectadas como observaciones apareadas para probar la hipótesis nula de que las medias poblacionales son iguales. O sea que las dos muestras tienen la misma distribución de frecuencias relativas, esperando que en promedio, la mitad de las diferencias sean positivas y la otra mitad sean negativas. La prueba de hipótesis es la siguiente (Mendenhall y Reinmuth, 1981):

H_o: $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$ Las distribuciones de frecuencias relativas de las dos poblaciones para una prueba de dos extremos son iguales.

H_a: $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$ Las distribuciones de frecuencias relativas de las dos poblaciones para una prueba de dos extremos no son iguales.

La prueba de Z para muestras apareadas es similar a la prueba U de Mann-Whitney y se usa para muestras grandes en experimento apareado cuando $n \geq 25$; ya que tiene una distribución aproximadamente normal. El planteamiento es el mismo al de Wilcoxon (Mendenhall y Reinmuth, 1981a).

La prueba de signos es una suma de rangos para la que no se considera la magnitud de las diferencias, y sólo hay dos resultados posibles para cada observación: un éxito o un fracaso. Se supone que la probabilidad de éxito es de 0.5 y la probabilidad de fracaso también es de 0.5. Cada observación es independiente de todas las demás. Por tanto la prueba de hipótesis es como sigue (Mason y Douglas, 1998a):

H_o: $p = 0.5$ No hay diferencia en las muestras.
$\mu_1 = \mu_2$

H_a: $p > 0.5$ Hay diferencia en las muestras.
$\mu_1 \neq \mu_2$

Resultados

En el afán de obtener el ingreso marginal (IMg), se calcularon los costos totales en toneladas de producción por ingenio y año, e ingresos por ingenio y año; correspondientes a ejercicios contables de los años 1989 y 1997. Se procedió a obtener un costo indizado y un ingreso indizado para 1989 y 1997 (que representan un costo marginal y un ingreso marginal), tomando como base para la indización de ambos factores, el menor costo total entre los 30 ingenios. La diferencia de ingresos indizados con costos indizados para cada año, dio como resultado IMg por ingenio para los dos años. Estos resultados parciales fueron usados como muestras dependientes de antes y después, necesarias en las pruebas no paramétricas que se aplicaron (ver cuadro).

Diferencia de muestras de ingresos marginales indizados para 1989
y 1997 en 30 ingenios y rango de las diferencias.

	Img 1997	Img 1989				
INGENIO	(B)	(A)	B – A	Rango	B – A	
PLAN DE AYALA	0.49923295	1.10571346	-0.60648051	1	0.0535407	(-)
CASASANO	0.19587968	-0.0712131	0.26709278	2	0.10638984	(-)
CUATOTOLAPAN	0.49843401	0.01103454	0.48739947	3	0.12001962	
PLAN DE SAN LUIS	0.81397574	0.5494131	0.26456264	4	0.14495147	
SAN GABRIEL	0.18037231	0.03542084	0.14495147	5	0.14500615	
JOSÉ. M. MORELOS	0.22639322	0.4568006	-0.23040738	6	0.16024584	
SAN CRISTOBAL	3.28021171	-0.21452722	3.49473893	7	0.17241092	(-)
EL POTRERO	3.1264586	0.21869527	2.90776333	8	0.17993207	(-)
PEDERNALES	0.169592	0.02458585	0.14500615	9	0.19182475	
LA CONCEPCIÓN	0.13492094	0.33535565	-0.20043471	10	0.19507178	(-)
BENITO JUÁREZ	1.17794401	-0.24144232	1.41938633	11	0.19872403	
LOS MOCHIS	1.28022473	-1.47385756	2.75408229	12	0.20043471	(-)
S.F. EL NARANJAL	0.33931695	0.17907111	0.16024584	13	0.23040738	(-)
SAN SEBASTÍÁN	0.29632586	0.10450111	0.19182475	14	0.26456264	
SANTA CLARA	0.32117935	0.12245532	0.19872403	15	0.26467305	
HUIXTLA	0.81700617	-0.20284641	1.01985258	16	0.26709278	
BELLAVISTA	0.39352718	0.58859896	-0.19507178	17	0.27894912	
SAN PEDRO	0.60635922	0.19220816	0.41415106	18	0.41415106	
ZAPOAPITA	0.60080226	0.33612921	0.26467305	19	0.48739947	
SAN MIGUELITO	0.43323573	0.60564665	-0.17241092	20	0.55321526	
LÁZARO CÁRDENAS	0.2466261	-0.03232302	0.27894912	21	0.60648051	(-)
ALIAZA POPULAR	0.92410713	3.2450064	-2.32089928	22	0.61824927	
ATENCINGO	2.15156256	-1.26205394	3.4136165	23	1.01985258	
PUGA	1.1621946	1.26858444	-0.10638984	24	1.02753342	
EL HIGO	0.50397126	0.68390333	-0.17993207	25	1.41938633	
LA GLORIA	1.03654374	0.00901032	1.02753342	26	2.32089928	(-)
TALA	2.00583366	1.38758439	0.61824927	27	2.75408229	
EL MODELO	1.56174067	1.61528137	-0.0535407	28	2.90776333	
MELCHOR OCAMPO	1.28937434	0.73615908	0.55321526	29	3.4136165	
MAHUIXTLÁN	0.54510736	0.42508774	0.12001962	30	3.49473893	

Fuente: Elaboración propia con datos de Financiera Nacional Azucarera S. A.,1989 y 1997

Resultados de eficiencia económica por la prueba de Wilcoxon

Con la diferencia de ingreso marginal de los años 1989 y 1997, a través de la muestra se puede estimar que el 70% de los ingenios en la industria azucarera mexicana tuvo resultados económicos positivos en 1997 (ver cuadro). Si estos fueron iguales o mejores a los del final de su etapa pública, se determina con la prueba de Wilcoxon para experimentos apareados. Dicha prueba compara a través de prueba de hipótesis, el antes y después de la diferencia en el comportamiento del IMg- CMg en las muestras.

H_o: Entre los años 1989 y 1997, no hay diferencia en el comportamiento del Img – Cmg.

H_a: Entre los años 1989 y 1997, si hay diferencia en el comportamiento del Img – Cmg.

Estadística de prueba o T calculada, es la menor de las sumas de los rangos de las diferencias positivas y negativas

La suma de los rangos negativos es igual a: 100

La suma de los rangos positivos es igual a: 365

T Calculada = 100

n = 30

Como: 365 + 100 = 465; 465 ÷ 2 = 232.5. El límite de aceptación de H_o hacia los extremos de cada cola es igual a 232.5.

En una prueba de dos colas a un nivel de significancia de 0.05, cuando n es igual a 30, el valor crítico de Wilcoxon es 137. Puesto que el valor calculado de T igual a 100 es menor que el valor crítico de tablas, se rechaza la H_o y se acepta la H_a. Por lo tanto el comportamiento de las muestras de 1989 a 1997, si cambió. De tal modo se puede estimar conforme a la muestra de 30 ingenios, que en el año 1997 de la etapa privada de la industria, comparado con el año 1989 de la etapa pública, el ingreso marginal fue más grande para la mayoría de los ingenios. Así mismo se puede decir que los ingenios azucareros mejoraron su eficiencia económica en 1997, comparándola con la de 1989.

Resultados de eficiencia económica por la prueba de Z

Como en el par de muestras n es mayor a 20, se consideró conveniente realizar una prueba para muestras dependientes y apareadas de antes y después, usando la distribución de probabilidades normal (Z) y planteando las mismas H_o y H_a de la prueba anterior. Con esto se pretende mayor rigor en el análisis y resultados más finos.

$$Z = \frac{T - E(T)}{\sigma_t}$$

donde:

T = la menor de las sumas de los rangos de las diferencias positivas y negativas.

$$E(T) = \frac{n(n+1)}{4}$$

$$\sigma_t^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{24}$$

Si: T = 100
n = 30

Entonces: E (T) = 232.5 y $\sigma_t = (2363.75)^{1/2} = 48.62$

$$\therefore\ Z = \frac{100 - 232.5}{48.62} = -2.7252$$

A un nivel de $\alpha = 0.05$; $\alpha / 2 = 0.025$
0.5 – 0.025 = 0.475

Al nivel de significancia 0.05 el valor crítico de z es 1.96. O sea, el área de aceptación de H_o va de –1.96 hasta 1.96.

Ya que Z es igual a –2.7252, se localiza fuera del área de aceptación de H_o. Por lo tanto se acepta H_a, lo cual quiere decir que sí hay diferencias en el comportamiento de las muestras. De tal suerte se repite el resultado de la prueba anterior, donde se dijo que la mayoría de los ingenios (70 %), se vieron favorecidos en sus rentas marginales respecto de 1989.

Resultados de eficiencia económica por prueba de signos

Aunque la prueba de signos tiene menor rigor analítico que las pruebas de Wilcoxon y Z, se consideró conveniente realizarla con el propósito de comparar la consistencia de los datos a través de los diferentes resultados. Debido al tamaño de la muestra se empleó la aproximación de distribución normal de probabilidades, y el planteamiento de las hipótesis nula y alterna es similar a las pruebas anteriores.

n = 30 y p = 0.5

donde:

p = La probabilidad de éxito o fracaso en cada muestra.

n = Tamaño de la muestra.

n(p) debe ser mayor que 5 para que sea aplicable la prueba.

Como: n (p) = 15, es mayor que 5; la prueba es aplicable.

Ya que $N \sim (\mu, \sigma^2)$:

$\mu = n(0.5)$ y $\sigma = 0.5(n)^{1/2}$

Estadístico de prueba de Z:

$$Z = \frac{(x \pm 0.5) - \mu}{\sigma}$$

Como el número de signos positivos es mayor a n/2 (ver cuadro):

$$Z = \frac{(21 - 0.5) - 0.5\ (30)}{0.5\ (\ 30\ )^{1/2}} = 2.007$$

Al nivel de $\alpha = 0.05$, el valor crítico de z es 1.96. Entonces el área de aceptación de H_o va de –1.96 hasta 1.96. Como z es igual a 2.0, se encuentra fuera del área de aceptación de H_o. Por lo tanto se acepta H_a, lo cual señala diferencia entre las muestras (Webster, 2003). Queda por decir que con esta prueba se corroboran los resultados de las dos anteriores. Es decir, los ingresos de la industria azucarera no han sido similares en los dos años, han sido mayores en 1997.

Discusión de resultados

En 1989 hubo siete ingenios de la muestra con ingresos marginales negativos, indizados al nivel del ingenio con menor costo. Según la teoría económica dichos ingenios estuvieron por debajo de un equilibrio y tenían algún tipo de pérdida respecto de los demás. En 1997 ningún ingenio de la muestra tuvo IMg menor a su CMg. Esto quiere decir que a los precios nacionales del azúcar estándar y refinada en ese año, los 30 ingenios tuvieron IMg por encima de sus CMg (ver cuadro).

Comparando el año de la industria azucarera con administración pública (1989), frente al año con administración privada (1997). Se hacen evidentes en las pruebas estadísticas realizadas, los mayores beneficios económicos para un porcentaje importante de los ingenios azucareros privatizados.

Sin tomar en cuenta otros factores como los compromisos financieros de las empresas propietarias de los ingenios, hasta aquí los resultados de la industria azucarera mexicana podían parecer bastante optimistas sobre una posible mejoría en los siguientes años.

APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE DIAGNÓSTICO Y PRONÓSTICO DE MOLINOS EN LOS TANDEMS "MELANIO HERNÁNDEZ" Y "RAMÓN PONCIANO" DE LA PROVINCIA DE SANCTI SPÍRITUS.

APPLICATION OF THE DIAGNOSIS AND FORECAST PROGRAM IN THE SUGAR CANE CRUSHERS OF THE SUGAR MILLS "MELANIO HERNÁNDEZ" AND "RAMÓN PONCIANO" IN SANCTI SPIRITUS.

Autores: Dr. Ing. Eusebio Pérez Castellano.

Universidad Central "marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara Cuba
Email: eusebiopc@fim.uclv.edu.cu

MSc. Ing. Pedro Pablo Hidalgo Reina.

Universidad Central "marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara Cuba
Email: pedroph@fim.uclv.edu.cu

Ing. Alberto Azaret Galí.

Sede Universitaria de Sancti Spiritus, Sancti Spiritus, Cuba.
Email: azaret@suss.co.cu

Ing. Ramón Cruz Rojas

Universidad Central, Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Cuba.
Email: **cruzrojas@fim.uclv.edu.cu**

RESUMEN.

En este trabajo se aplica un sistema de diagnóstico y pronostico en el trabajo del tandem de molinos para los centrales "Melanio Hernández" y " Ramón Ponciano" de la provincia de Sancti Spíritus" . Este sistema fue montado en una metodología de cálculo en Excel que simula el trabajo de cada uno de los molinos y del tandem en su conjunto. A partir de los datos de montaje y de la fibra en caña se determina la capacidad potencial de molida. De igual manera se calculan los ajustes –setting- que deben colocarse entre las mazas, el consumo de potencia en cada uno de los molinos y el consumo específico por tonelada métrica de caña molida y de fibra procesada. En ambos centrales se midieron los valores reales de consumo para un régimen de trabajo previamente establecido con la dirección técnica de la fábrica. Se tomaron aproximadamente 40 lecturas de

consumo de potencia en cada uno. Estas lecturas se procesaron estadísticamente y los valores reales se compararon con los teóricos, existiendo un adecuado nivel de concordancia entre ambos. Los resultados del trabajo sirvieron para detectar irregularidades en la operación de los equipos de extracción en ambas fábricas y proyectar las medidas para disminuir el consumo de energía y mejorar la eficiencia tecnológica.

Palabras clave: Molinos, capacidad de molida, consumo de potencia.

ABSTRACT.

In this paper a system of diagnostic and forecast about the the work of the tandem of crushers for the sugar mills "Melanio Hernández" and "Ramón Ponciano" in Sancti Spíritus is applied This system was mounted in a calculation methodology in Excel that simulates the work of each one of the mills and of the tandem . Starting from the data about the dimension of tha crushers and from the fiber in cane the potential capacity is determined. In a same way are calculated the setting that should be placed between the rolls, the consumption of power in each one of the mills and the specific consumption for metric ton of crushed cane and of processed fiber. In the two crusher stations the real values of power consumption were measured for a work conditions that were previously established with the technical managers of the factory. Approximately 40 values of power consumption were measured in each mill, they were statistically processed and the real values were compared with the theoretical ones. There was an adequate level of agreement between both. The results of the work were used to detect irregularities in the operation of the extraction equipments in both factories in order to project the decreasing of the energy consumption and to improve the technological efficiency in the work of the factory.

Key words: sugar mills, capacity, power consumption.

INTRODUCCIÓN.

La industria azucarera mundial atraviesa en estos momentos un período de crisis: La crisis económica que sufren los países productores de azúcar de caña, pertenecientes al tercer mundo tiene una influencia marcada sobre este renglón de la producción en todos estos países. Por otra parte la producción de sirope de maíz como sustituto del azúcar de caña ha hecho que la demanda sea muy baja y los precios se han situado en niveles en los cuales ya no es costeable la producción del dulce producto.

Cuba se ha visto obligada a desarrollar una reestructuración de agroindustria azucarera, en la cual se ha decidido que permanezcan moliendo solamente 71 complejos, con producciones que garanticen el consumo nacional de unas 600 000 tm y el resto dependerá de la demanda mundial y se conveniará a precios ventajosos pero no sobrepasando los 4 millones de tm. Operará los ingenios el personal absolutamente imprescindible y el resto será reubicado en otros renglones de la producción o se dedicará a la superación.

Pero el camino para llegar a niveles aceptables de rentabilidad en la agroindustria cañera en Cuba pasa ineludiblemente por el aumento de la eficiencia y por diversificación de las producciones:

- En el primer aspecto juegan un papel importantísimo las medidas que tienen que ver con el aprovechamiento eficiente de las fuentes tradicionales de energía , lo cual contribuirá también de manera notable al cuidado del medio ambiente.

- En el segundo aspecto tendrá una importancia clave la entrega de electricidad al SEN a partir de una energía renovable como es la que se genera en las empresas azucareras a partir del bagazo proveniente de la caña de azúcar.

El trabajo fue aplicado a nivel experimental en la zafra 2001-2002 en la Planta Piloto Azucarera "José Martí" de la Universidad Central de Las Villas y se aplicó en la zafra 2003-2004 en las empresas "Melanio Hernández" y "Ramón Ponciano" de la provincia de Sancti Spíritus .

OBJETIVOS:

- **Crear un software que relacione las variables operativas del tandem de manera que se puedan analizar los valores de las mismas con vistas a reflejar los resultados esperados del trabajo de los molinos y tomar las medidas convenientes para la optimización de la operación.**
- **Aplicar el software en diferentes industrias en su operación normal durante una zafra. Analizar los resultados y pronosticar los cambios que deben producirse en su operación para optimizarla.**

MATERIALES Y MÉTODOS.

1. **Breve descripción del programa.**

El programa se basa en las recomendaciones que aparecen en la literatura acerca del cálculo de la capacidad de molida de un tandem y en trabajos desarrollados previamente por el propio autor. Las principales de estas bibliografías aparecen al final de este trabajo.
Con relación a la capacidad de molida se tomaron las recomendaciones de Hugot (1980) y Hugot (1986), donde se tiene en cuenta el número de mazas en el tandem, las dimensiones de las mismas, su velocidad angular, así como la fibra en caña. Por otra parte se desarrolló el análisis acerca del factor de grueso de colchón que se recomienda por el MINAZ (1995) y (1996) así como los aspectos que ya se habían planteado por el MINAZ (1971) en cuanto a la relación entre las dimensiones de los molinos y la capacidad de molida.
Para calcular el setting se utilizó la metodología de los volúmenes en tránsito que se plantea por el MINAZ (1996).
En cuanto a la distribución de presiones a lo largo del tandem se tomaron referencias de Hugot (1986) y del MINAZ (1996).
Para calcular el consumo de potencia se tomó la expresión de Hugot (1986), pero adaptada a las condiciones actuales de Cuba, en que todos los molinos tienen montada cuarta maza, la cual posee un determinado consumo de potencia, pero ya no mueven el conductor intermedio. De esta manera se dedujo por los autores una nueva expresión.
Con estas referencias y en base a la experiencia del autor se desarrolló el programa que requiere para su corrida de los siguientes datos.

- Número de unidades de molida, equipos de preparación y de alimentación forzada con que cuenta el tandem.
- Fibra en caña.
- Magnitudes de las mazas de los molinos (longitud, diámetro medio y magnitudes de los rayados).

- Velocidad angular del equipo motriz y relación de transmisión.
- Flotaciones en las mazas superiores.
- Presiones hidráulicas en las líneas de alimentación de aceite a los pistones hidráulicos de los molinos y diámetro de dichos pistones.

Con estos datos el programa calcula la capacidad potencial de molida y la compara con la norma que se fijó el ingenio. Calcula los ajustes (setting) dinámicos y estáticos, la fuerza hidráulica total sobre cada molino, la potencia que consume, el índice de consumo por tonelada métrica de caña molida y de fibra procesada así como la eficiencia mecánica . Los tres últimos valores los calcula para cada molino y para el tandem en su conjunto.

2. Aplicación del programa en el CAI "Melanio Hernández".

Este ingenio tiene una norma de molida de 400 000 @s/día (191,6 t por hora). Las características del sistema de preparación y extracción son las siguientes:

- dos juegos de cuchillas preparadoras con una potencia instalada en los motores eléctricos de 400 kW en cada uno.
- Cinco molinos de 7 pies (2,13 m) de longitud de mazas. Todos los molinos poseen cuarta maza alimentadora y todos excepto el tercero poseen tolva Donnelly a la entrada.

Los equipos motrices instalados en los molinos son motores eléctricos: el primer molino posee un motor independiente con una potencia de 500 kW y con una velocidad que puede ser variada desde 600 rev/min hasta 900 rev/min. Para los molinos 2 y 3 existe un motor eléctrico con una velocidad de 600 rev/min y una potencia de 800 kW que, mediante una transmisión bifurcada mueve ambos molinos a la vez. La misma situación se presenta con los molinos 4 y 5 aunque las relaciones de transmisión y por tanto las velocidades angulares son distintas para cada molino.
Se aplicó el programa de diagnóstico para este tandem con los datos iniciales
Se prefijaron con la dirección de la fábrica los valores de las variables operativas del tandem.
En estas condiciones se calcularon los valores teóricos de capacidad, fibra por unidad de tiempo, ajustes (setting), potencia a consumir por cada molino y en el total del tandem así como la potencia específica por tonelada de caña molida y de fibra procesada.
Los ajustes que se habían calculado y fijado por los técnicos coincidían casi en su totalidad con los calculados por el sistema.
La capacidad teórica calculada por el sistema de diagnóstico en estas condiciones fue de
378 675 @s/día (181,4 t/h) y el ingenio se fijó una norma de 400 000 @a/día (191,5 t/h), o sea, un 5,6 % superior al diagnóstico..
La potencia consumida por los motores 1 y 3 fue medida con la utilización de metros contadores, con los cuales se puede leer la potencia instantánea mediante el conteo del número de vueltas del disco en un tiempo determinado, de igual manera se podían leer los acumulados de consumo cada hora. Para el motor # 2, que mueve los molinos 2 y 3 no se pudo establecer la instalación del metro contador.
Se establecieron corridas de una o dos horas dependiendo de la estabilidad de la molida. En este tiempo se determinaba el peso exacto de caña molida mediante la contabilización de los carros o camiones que se alimentaban al tandem. Al mismo tiempo se tomaba una muestra de la caña preparada por las cuchillas, se le realizaba la determinación del índice de preparación y se le medía la densidad.
Durante las corridas, cada 20 minutos, se comprobaron los valores de todos los parámetros establecidos, desechándose aquellas lecturas en las cuales no existiera estabilidad en los mismos, estas lecturas incluyeron el consumo de potencia instantáneo de cada motor por el método explicado anteriormente. De esta manera se obtuvieron un total de 39 lecturas de potencia

instantánea para cada uno de los dos motores. Del procesamiento estadístico de las lecturas se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla I. Resultados de las lecturas de potencia en el tandem de "Melanio Hernández".

	Motor # 1	Motor # 3
Promedio (kW)	339,87	564,03
Dispersión	16,51	30,06
Coef. De var. calc.(V, %)	4,98	5,33

El coeficiente de variación para cada caso es inferior al teórico lo que demuestra que existe una buena reproducibilidad de los resultados en los experimentos.

3. Aplicación del programa en el CAI "Ramón Ponciano"

El tandem del CAI "Ramón Ponciano" posee cinco molinos de 6 1/2 pies (1,98 m) de longitud, todos con cuarta maza, sin tolva alimentadora. Cada uno de los molinos es movido por un motor de 400 kW, que operan a 6300 Volts, con una velocidad de 600 rev/min, un reductor con una relación de transmisión de 35,5, seguido por una transmisión abierta con 27 y 130 dientes. La velocidad angular de todos los molinos es de 3,5 rev/min. La norma de molida es de 105 t/h (220 000 @sdía).
Con los datos de dimensiones de los molinos y velocidades angulares de los mismos así como con la fibra en caña y las presiones hidráulicas se corrió el programa de diagnóstico.
Se discutieron con la dirección de la fábrica las variables operativas del tandem y se fijaron estas. En estas condiciones se tomaron un total de 42 lecturas. En el procesamiento estadístico de estas lecturas se determinaron los siguientes resultados:

Tabla II. Resultados de las lecturas de potencia en el tandem de "Ramón Ponciano".

	Motor # 1	Motor # 2	Motor # 3	Motor # 4	Motor # 5	Σ (kW)
Promedio (kW)	240. 33	201.66	206.96	214.74	222.40	1085.58
Dispersión	8.63	9.03	9.76	8.83	9.78	
Coef. De var. calc.(V, %)	3.39	4.49	4.72	4.11	4.40	

De la comparación entre los valores del diagnóstico y de los obtenidos por medio de las lecturas se desprende que en todos los molinos el valor real de lectura de potencia es ligeramente inferior al calculado y lo mismo ocurre con la potencia sumaria en el tandem.
El consumo real específico por tonelada métrica de caña molida y de fibra procesada, que se obtiene al dividir el consumo total de potencia sobre la molida real en Tm/h es de 10,30
KW-h / tm de caña y 71,05 kW-h/tm de fibra respectivamente, valores que son inferiores a los calculados en un 0,2 % y un 0,1 % respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Para este análisis se utilizaron los dos centrales en los que se desarrollaron las lecturas ya que se poseían todos los datos que permitían desarrollar un diagnóstico de los mismos y pronosticar cambios que permitieran mejorar los resultados del trabajo en los tandems respectivos.
Para todos los casos y escenarios posibles se emplearon los resultados del diagnóstico ya que en las mediciones prácticas se ha demostrado que los mismos poseen un buen nivel de confiabilidad. Se consideró una zafra en la que se muela una cantidad de caña equivalente a 100 días de molida con la norma actual.

CAI "Melanio Hernández".

Escenario a)

Para el escenario a) se consideraron, al igual que para el caso de ¨Ramón Ponciano¨, las condiciones en que se desarrolló la zafra 2002-2003. En este caso el ingenio trabajó con una norma de molida de 191,5 tm/h (400 000 @s/día). Para una zafra de 100 días con un aprovechamiento del 100 % de la norma fijada esto significa que se molerían 40 000 000 de @s de caña, equivalentes a 459 770 toneladas métricas.
La principal dificultad de este ingenio fue que tenía una norma de pol en bagazo de 1,75 y la real fue de 2,5 . Como resultado del análisis con ayuda de la metodología explicada en este trabajo se arribó a la conclusión de que existían tres causas que motivaron el elevado valor de pol en bagazo que se obtuvo

- Una norma de molida por encima de la que realmente se podía alcanzar ya que se eliminó el segundo molino (en la zafra anterior eran seis), no se mejoraron las condiciones de preparación y sin embargo no se disminuyó la norma de molida. Al tener que procesar una mayor cantidad de caña con una unidad menos de molida no se puede producir la misma extracción en el tandem.
- Una fuerza hidráulica total excesivamente baja en el tercer molino. La FHT que con que molió este molino fue de solamente 2415 kN, muy por debajo de la recomendada para este molino.
- Un bajo nivel de la cantidad y temperatura del agua de imbibición.

De esta forma se podía haber analizado cualquiera de estas tres situaciones (o una combinación de ellas) para mejorar la situación de la pol en bagazo.
Estos aspectos fueron discutidos con la dirección de la fábrica y se les explicó cuales eran las consecuencias que traería cada uno de ellos, en lo que sirvió como eficaz auxiliar el método aquí explicado.
En este escenario a) el consumo específico para el movimiento del tandem sería de 6,65 kw-h/tm de caña, por lo que el consumo total en la zafra será de 3 057 471 kW-h que a un precio de 0,09 USD/kW-h reportarían un consumo total de 275 172 USD.
Debe notarse que este ingenio puede moler el doble de la caña del ¨Ramón Ponciano¨con un gasto de energía para el movimiento del tandem que es solamente un 8 % superior al de dicho ingenio, aunque es de señalar que esta norma es muy elevada para la instalación actual y por esa causa, entre otras, la pol en bagazo es muy elevada.
En estas condiciones de molida las pérdidas en bagazo son de un 2,5 %. Si se asume que el bagazo es un 30 % de la caña molida se tendría una cantidad de bagazo de 137 931 toneladas métricas de

bagazo por lo que la pérdida total de azúcar en el bagazo sería de 3448 toneladas métricas si se supone un costo de 0,06 USD la libra de azúcar, entonces esta pérdida sería de 455 136 USD.

Escenario b)

Para este escenario se supuso que el ingenio muele a su norma potencial, o sea, que en lugar de 191,5 tm/h (400 000 @s/día) se muelen 182 tm/h (380 000 @s/día). Se supuso también que se aplica una presión adecuada en el tercer molino y que se logra aplicar una fuerza hidráulica total de 3756 kN, que es un valor muy cercano al que se recomienda para el mismo y por último se supondrá que el agua de imbibición se añade en la cantidad necesaria y con una temperatura adecuada. Si se cumplen estas condiciones la pol en bagazo recuperará su valor de la zafra anterior, de 1,75 %.
Para este caso el consumo específico de corriente en el tandem se eleva hasta 7,36 kW-h / tonelada métrica de caña molida y entonces el consumo de corriente durante toda la zafra por concepto de movimiento de los molinos será de 3 383 907 kW-h y considerando el mismo precio de 0,09 USD/Kw-h se tendrá un costo total durante toda la zafra para esta operación de 304 552 USD por lo que se produce un incremento neto de 29 380 USD por este concepto.
Por otra parte la pérdida de azúcar por concepto de pol en bagazo durante toda la zafra se puede obtener multiplicando el % de azúcar en bagazo por la cantidad total de bagazo que sería la misma que en el caso anterior, o sea, considerando un 30 % de bagazo en caña se tendrían 137 931 toneladas métricas de bagazo por lo que las pérdidas totales de azúcar durante la zafra por concepto de pol en bagazo sería de 2414 toneladas métricas que a un costo de 0.06 USD la libra representarían una pérdida monetaria de 318 620 USD.
Si se compara la pérdida por concepto de pol en bagazo en esta situación por la pérdida actual se tiene un ahorro neto de 136 516 USD durante toda la zafra que, si se compara con la pérdida debida al incremento del gasto de energía por tonelada métrica de caña molida, representa una ganancia neta de 107 136 USD en una zafra. Esto quiere decir que al tomar estas medidas se pueden ahorrar casi 110 000 USD en una zafra aunque estos valores no son absolutos ya que con la nueva norma potencial de molida la zafra se alargaría a 105 días, o sea, un 5 % y esto puede ocasionar gastos por otros conceptos.
También a modo de resumen se muestra la tabla que aparece a continuación.

Tabla III. Análisis económico en el CAI "Melanio Hernández"

CAI "Helanio Hernández" : Caña total a moler 40 000 000 de @s de caña (459 770tm) Costo del Kw-h 0,09 USD Precio de la libra de azúcar 0,06 USD							
	Norma de molida (@s/día)	C/E (kW-h/tm de caña)	Consumo total (kW-h)	Costo (USD)	Pol en bagazo (%)	Pérdida total de azúcar (tm)	Pérdida en azúcar (USD)
Escenario a) Zafra 2002-2003	400 000	6,65	3 057 471	275 172	2,5	3 448	455 136

Escenario b) Molida a la norma potencial	380 000	7,36	3 383 907	304 552 (+ 29 380)	1,75	2414 (-1034)	318 620 (-136 516)

Nota: Los valores entre paréntesis son diferencias con relación al escenario a).

Todos estos aspectos fueron discutidos con la dirección de la fábrica y se trabaja en la implementación de varios de ellos.

CAI "Ramón Ponciano"

Escenario a)

Para el CAI "Ramón Ponciano" se consideró como escenario a) el que se desarrolló en la zafra 2002-2003, o sea, con una norma de molida de 220 000 @s/día (105 tm/h), en 100 días de zafra pueden molerse 22 millones de arrobas de caña, lo que equivale a 252 874 toneladas métricas.
De acuerdo con el diagnóstico de este tandem el consumo total de los cinco molinos es de 1184,83 kW, el motor de mayor consumo es el quinto con un valor de 244,5 kW, el consumo específico sumario de los cinco molinos es de 11,25 kW-h/tm de caña. Entonces en toda la zafra el tandem consumirá 2 844 829 kw-h. Si se supone un costo de 0,09 USD/kW-h el costo total de este consumo es de 256 035 USD (debe aclararse que este únicamente es el costo para el movimiento de los motores de los molinos).
Nótese que en este tandem el gasto de energía para el movimiento de los molinos en una zafra de 100 días, suponiendo una molida estable de 220 000 @s/día (105 tm/h), será de más de un cuarto de millón de dólares y de aquí la importancia de analizar este aspecto con vistas a economizar lo más posible en el mismo.

Escenario b)

En el escenario b) se supuso igual cantidad total de caña molida pero, un aprovechamiento del ciento por ciento en la norma potencial de molida calculada en el diagnóstico , esto es, con una molida de 260 000 @s/día (124,5 tm/h). Para este caso el diagnóstico dio como resultado un aumento del consumo total de energía en el tandem 1235,64 kW y el motor de mayor consumo sigue siendo el quinto con un total de 254 kW, pero como la molida ha aumentado en una proporción mayor se produce una disminución del consumo específico hasta 9,92 kW-h/tm de caña. Entonces el gasto total de energía por este acápite en toda la zafra será de 2 508 510 kW-h y el costo total será de 225 766 USD, o sea, se habrá producido un ahorro neto de 603 519 kW-h , cuyo costo sería de 30 269 USD solamente por este concepto en una sola zafra. Si se dividen los 22 millones de arrobas sobre la molida que se puede alcanzar se tendrá una disminución de 85 días de zafra, o sea, una disminución de un 15 % en el tiempo de zafra. Esto permitiría también que la molida se produzca en la parte más alta de la curva de rendimiento de la caña y contribuiría a disminuir los costos por otros acápites.

Escenario c)

Para el escenario c) se ha supuesto el montaje de tolvas Donnelly a la entrada del primero y del último molino. En este caso se pueden alcanzar valores de aumento en la capacidad de molida de un 20 % si se comparan con el mismo tandem sin que se le hubieran instalado la tolva y con cuarta maza en todos los molinos (este es el caso actual para este tandem).
En este caso la capacidad potencial que se alcanza al instalarle las tolvas es de 310 134 @s/día Se supuso una norma de molida de 310 000 (148,5 tm/h) y un aprovechamiento del 100 % de esa norma. En esta situación el consumo total en el tandem sería de 1294 kW y el motor de mayor consumo sería el del quinto molino con 265,4 kW pero existiría una disminución en el específico hasta 8,72 kW-h/tm de caña molida. Para moler el total de la caña se requiere un consumo total de 2 205 061 kW-h y su costo será de 198 455 USD, por lo que el ahorro en toda la zafra será de 303 449 kW-h, equivalentes a 27 310 USD en relación con el escenario b) pero de 639 768 kW-h, equivalente a 57 580 USD si se relaciona con el escenario a) que es el de la zafra 2002-2003. En este caso habría que considerar el costo de la instalación de las dos tolvas que es de 25 000 pesos, con una componente del 25 % en divisas.
Con la instalación de las tolvas se produciría un aumento en la capacidad de molida que, de ser aprovechado adecuadamente, produce disminuciones sustanciales en el consumo específico ya que las tolvas son aditamentos que no consumen potencia pues no poseen partes móviles.
Todas estas variantes son factibles de aplicar desde el punto de vista de potencia individual instalada en los motores de los molinos pues en ningún caso la potencia a consumir se acerca a los 400 kW instalados.
Por otra parte se puede hablar del efecto ecológico pues debe considerarse también que esta energía que se ahorra no tiene que ser generada en plantas termoeléctricas y entonces se disminuye el gasto de petróleo como energía no renovable y la afectación al ecosistema por la combustión de este hidrocarburo.
Es necesario aclarar que el proceso que es válido en un tandem puede no ser el más eficaz en otro y el sistema de diagnóstico y pronóstico que se ha utilizado permite comparar los valores reales con que se está trabajando con aquellos que se recomiendan y que son los que aparecen en las hojas de cálculo en Excel y permite también calcular los resultados que se obtendrían si se hicieran estos cambios. Por otra parte es posible que la dirección de la fábrica planifique en determinado momento hacer cambios como puede ser la sustitución de los equipos motrices (máquinas de vapor sustituidas por motores eléctricos) y el sistema de pronóstico y diagnóstico permite predecir los resultados que se obtendrán en cada caso.
Para que se tenga una idea más clara del impacto que producen las distintas situaciones se muestra a continuación una tabla resumen de los distintos escenarios.

Tabla IV. Análisis económico en el CAI "Ramón Ponciano"

CAI "Ramón Ponciano" : Caña total a moler 22 000 000 de @s de caña (252 874 tm) Costo del Kw-h 0,09 USD				
	Norma de molida (@s/día)	C/E (kW-h/tm de caña)	Consumo total (kW-h)	Costo (USD)
Escenario a) Zafra 2002-2003	220 000	11,25	2 844 829	256 035
Escenario b) Aprovechamiento total de la molida.	260 000	9,92	2 508 510 (-603 519)	225 766 (-30 269)
Escenario c) Tolva	310 000	8,72	2 205 061	198 455

Donnelly en M1 y M5 y aprov. total.			(-639 768)	(-57 580)

Nota: Los valores entre paréntesis son diferencias con relación al escenario a).

También en este caso se discutieron los resultados de la aplicación del programa con la dirección de la fábrica.

CONCLUSIONES:

- **En los centrales donde se aplicó el diagnóstico se detectaron problemas de inadecuado aprovechamiento de la norma potencial de molida y de disciplina tecnológica en la operación del tandem que, de ser eliminados en posteriores zafras, redundarán en un beneficio neto para la rentabilidad de la producción de azúcar en esas empresas.**
- **En el caso del CAI ¨Ramón Ponciano¨ se presenta un bajo aprovechamiento de la norma potencial, la posibilidad de introducir mejoras sin una inversión muy elevada y una excesiva presión en el quinto molino. La toma de medidas adecuadas en todos los sentidos puede producir disminuciones de gastos en más de 50 000 USD con relación a la zafra 2002-2003.**
- **En el caso del CAI ¨Melanio Hernández¨ la eliminación del segundo molino, unida a una presión muy baja en el actual tercer molino y a un régimen no adecuado para el agua de imbibición no permiten alcanzar la norma de pol en bagazo que se le fijó para esta zafra. Si se toman las medidas adecuadas se gastará un poco más de energía pero el aumento de la extracción de azúcar en el tandem producirá una ganancia neta para el ingenio del orden de los 135 000 USD.**
- **La utilización de este método permite analizar todas las variantes de trabajo posibles en la operación del tandem de una forma rápida y eficiente y que la dirección técnica de la fábrica elija aquella que más conviene dentro de las posibilidades reales. Debe recalcarse que este análisis no es general sino que debe hacerse particular para cada ingenio.**

REFERENCIAS.

1. Hugot, E., "Handbook of sugar cane engineering", tercera edición, editorial Elsevier, Amsterdan, Holanda, 1986.
2. Hugot, E., "Manual para ingenieros azucareros", segunda reimpresión, Edición Revolucionaria, La Habana,1980.
3. MINAZ, "Criterios actuales de la industria azucarera cubana" , Dirección de Maquinaria Industrial, La Habana, 1995.
4. MINAZ, "Indice de capacidades para ingenios de crudos de Cuba", Editorial Ciencia y Técnica, Instituto Cubano del Libro, La Haban, 1971.
5. MINAZ, "Manual de operaciones de la planta moledora", La Habana, 1996.

EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE PURIFICACION EN JUGOS DE CAÑA DEL CENTRAL IZALCO, SIMULADAS A ESCALA DE LABORATORIO.

EVALUATION OF ALTERNATIVE OF PURIFICATION IN JUICES OF CANE OF THE CENTRAL IZALCO, SIMULATED TO SCALE OF LABORATORY.

AUTORES: Dr Ing. Luis Gómez Rodríguez*, Dr. Lic. Raúl Fajardo García*, Ing. Eduardo Batule Díaz **, Ing. Jaime Valladares Paiz **, Ing. Luis Girón Villalobos **, Ing. Claudia Figueroa Mendoza**, Ing. Francisco Rosales**, Ing. Adan Ernesto Anaya**, Lic. Miriam Paz Avalos**, Y Técnicos del Area de Fabricación del Central IZALCO del Salvador.

INSTITUCIONES: ***UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS. CUBA. E-MAIL: lugo@qf.uclv.edu.cu**

**** CENTRAL "IZALCO". CASSA. EL SALVADOR.**
E-MAIL: batule@cassa.com.sv; jvp@cassa.com.sv

RESUMEN:

En el presente trabajo realizado en el laboratorio del Central IZALCO de la CompañÍa Azucarera Sociedad Anónima del Salvador, se muestran los resultados de la evaluación de sus jugos de caña, al ser sometidos al proceso de purificación, simulado a escala de laboratorio ante diferentes alternativas tecnológicas , que incluyen el sistema de alcalización en frío o en caliente, variaciones en dos niveles de Ph (7,2 y 7,8) y la utilización o no de floculante.

La realización de las experiencias responden a un diseño factorial 2^3, que incluye cada corrida y su respectiva réplica para un total de 16 experimentos.

Se realizaron determinaciones de: Ph, Turbiedad, Azúcares Reductores, Fosfatos, Ceniza, Pol, y Brix al jugo mezclado y clarificado, en tanto que al mezclado se le realizó además razón inicial de sedimentación y volumen final de cachaza.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la alcalización en caliente a un Ph de 7,8 y aplicación de floculante a diferencia de la alcalización en frío, que es la practicada tradicionalmente en el Central IZALCO, permitió obtener jugos claros de buena calidad, dada esta por una menor cantidad de sólidos en suspensión y velocidades de sedimentación en niveles aceptables.

PALABRAS CLAVES: Purificación de jugos de caña, Alcalización, Sedimentación,

SUMMARY:

Presently work carried out in the laboratory of the Central IZALCO of the Sugar Company Anonymous Society of the Salvador, the results of the evaluation of their cane juices are shown, to the subjected being to the purification process, feigned to laboratory scale before different alternative technological that include the alcalizatión system in cold or in hot, variations in two levels of Ph (7,2 and 7,8) and the use or not of floculant.

The realization of the experiences responds to a factorial design 2^3 that it includes each race and its respective replica for a total of 16 experiments.

Were carried out determinations of: Ph, Turbidity, Sugars Reducers, Phosphates, Ash, Pol, and Brix to the mixer and clarified juice, as long as to the mixer one it was also carried out initial reason of sedimentation and final volume of mud.

The obtained results show that the alcalizatión in hot to a Ph 7,8 and floculant application contrary to the alcalizatión in cold that is the one practiced traditionally in the Central IZALCO, allowed to obtain clear juices of good quality, given this for a smaller quantity of solids in suspension and sedimentación speeds in acceptable levels.

KEY WORDS: Purification of cane juices, Alcalizatión, Sedimentation,

INTRODUCCION:

La purificación del jugo de caña considerada como una de los procesos más importante en la tecnología de la producción de azúcar, se realiza con el objetivo de eliminar la mayor cantidad de impurezas y otros no-azúcares presentes en el mismo, para facilitar la recuperación de la mayor cantidad de sacarosa por cristalización en el área de tachos, y cristalizadores y su posterior separación por centrifugación.

Entre las etapas que conforman el proceso de purificación, se encuentran la alcalización, el calentamiento, o viceversa, la sedimentación y la filtración, pudiendo algunas de estas ser intensificadas por la aplicación de otras vías, físicas o química. Spencer (1963), Gómez (2001) .

En cuanto a la alcalización con lechada de cal o sacarato de calico (Spencer (1963), Gómez (2001), cuyo propósito principal es lograr la incorporación de CaO necesario para su reacción con el P_2O_5 que acompaña al jugo para la formación del fosfato tricálcico, esta puede ser en frio, en caliente o fraccionada, en contrándose generalizada alguna de las dos primeras por su simplicidad en cuanto a equipamiento, aunque cada una presenta características que la diferencian, tales como:

ALCALIZACION EN FRIO: Con este tratamiento se forma un precipitado pesado que en su composición contiene sales insolubles de cal, albúmina coagulada y diversas proporciones de ceras, grasas y gomas que contiene el guarapo. Este precipitado lleva consigo la mayor parte del material fino que se encuentra en suspensión en el guarapo. El Ph del jugo claro resultante es de 6,8.

ALCALIZACION EN CALIENTE: Al jugo crudo calentado hasta una temperatura entre 100 y 102 grados Celsius, se le añade lechada de cal hata un Ph de 7,5-8,0, dejándose luego decantar. Con este tratamiento ciertos coloides (la albúmina y la sílice hidratada), se precipitan con el calor al Ph del jugo crudo, necesitándose entre un 15-20% menos de cal, siendo más rápida la decantación. Se plantea que con este método es posible lograr una diferencia constante de Ph entre la mezcla del guarapo caliente alcalizado y el jugo claro. Otras de las ventajas que se plantean respecto a la alcalización en frio, son: mayor velocidad de sedimentación, mayor eliminación de fosfatos, menor nivel de turbiedad, menor volumen de lodos y menor color en el jugo claro. Su principal desventaja radica en la inversion y destrucción de azúcares.

Además de los efectos combinados de la alcalización y el calentamiento, en el proceso de purificiación es frecuente el empleo de otros agentes tales como polielectrolitos, con el objetivo de facilitar la coagulación y floculación del sistema coloidal y otras impurezas presentes en el jugo que interesa clarificar. Los Floculantes usados en la Industria azucarera son polielectrolitos aniónicos y son parcialmente poliacrilamidas sintéticas solubles en agua de peso molecular alto.

Con posterioridad al tratamiento con calor, cal y floculante, el jugo tratado se somete a decantación en el campo gravitatorio, para la separaración del jugo claro del lodo o sedimento, sometiéndose este último a filtración, con vistas a agotar lo más posible,, el contenido de sacarosa, presente en la torta de cahaza de los filtros que salen de fábrica.

Por todo lo antes expuesto y con vistas a definir si el sistema de alcalización en caliente dada sus referidas ventajas respecto a la alcalización en frio, dada las cañas que se procesan en el Central IZALCO, pudiera ofrecer mejores resultados, es que se acomete el presente trabajo, en el que se persigue como objetivo:

ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO SEDIMENTACIONAL Y CARACTERIZACION CUALITATIVA DEL JUGO CLARO OBTENIDO, AL SIMULAR A ESCALA DE LABORATORIO LA PURIFICACION DE LOS JUGOS DE CAÑA DEL CENTRAL IZALCO, ESTABLECIENDO ADEMAS LOS PARAMETROS TECNOLOGICOS NECESARIOS PARA LA MEJOR VARIANTE OPERACIONAL.

ETAPA EXPERIMENTAL:

Consistió en definir las variables objeto de estudio y sus niveles, con vistas a establecer una matriz experimental para un diseño factorial 2^3= 8 combinaciones y sus réplicas .Se trabajó con jugos de 15^0Bx, Lechada de Cal de 5^0Bé y Solución de Flocualnte Talosep A3XL al 0,01 %, para dosificarlo a 3 ppm.

Para la velocidad de sedimentación, se realizaron pruebas de sedimentación en probetas termostatizadas de 2000 ml

TABLA I.-CONDICIONES QUE LIMITARAN EL EXPERIMENTO.

VARIABLES	NIVEL INFERIOR (-)	NIVEL SUPERIOR (+)
TEMPERATURA	FRIO (60^0C)	CALIENTE (98-100^0)
Ph	7,2	7,8
ADICION DE FLOCULANTE	SIN FLOCULANTE	CON FLOCULANT(3ppm)

Las determinaciones analíticas realizadas, ICUMSA (1994), Batule (2000, 2000 a) se indican en la Tabla II.

TABLA II.ANALISIS DE LABORATORIO Y OTRAS DETERMINACIONES.

ANALISIS	JUGO CRUDO	JUGO CLARO
Brix refratométrico	X	X
Polarización	X	X
Pureza	X	X
Ph	X	X
Acidez	X	X
Cenizas	X	X
Azúcares Reductores	X	X
Fosfatos	X	X
Turbidez ICUMSA	-	X
Color	-	X
Velocidad de Sedimentación.	X	-

A partir de los datos presentados en las Tablas I y II, se diseña la Matriz experimental (TABLA III) para la que se hizo uso de permutaciones al azar para establecer el orden en que se realizará.

TABLA III. MATRIZ EXPERIMENTAL

ORDEN	NUM. DE EXP.	ALCALIZACION	Ph	FLOCULANTE
17	1	+	+	+
6	2	+	+	-
3	3	+	-	+
7	4	+	-	-
18	5	-	+	+
8	6	-	+	-
1	7	-	-	+
16	8	-	-	-
15	9	+	+	+
9	10	+	+	-
4	11	+	-	+
10	12	+	-	-
2	13	-	+	+
5	14	-	+	-
13	15	-	-	+
14	16	-	-	-

RESULTADOS: Se muestran en la Tabla IV (Jugo Crudo) y Tabla V (Jugo Clarificado)

TABLA IV.-JUGO CRUDO.

Exp.	Brix	Pol	Pza.	Color	Ph	Acidez	Ceniza	Az. R.	Fosfato	Turb.	RSI
7	15,10	13,05	86,42	-	5,30	0,80	0,39	1,19	411	-	-
13	15,09	13,18	87,34	-	5,30	0,80	0,42	1,14	481	-	64,00
3	16,20	13,92	85,93	-	5,20	0,80	0,43	1,09	473	-	-
11	15,24	12,80	83,99	-	5,10	1,10	0,52	1,72	441	-	65,00
14	15,20	12,52	82,37	-	4,80	0,90	0,60	1,76	456	-	12,00
2	15,18	12,56	82,74	-	5,00	1,10	0,59	1,32	432	-	78,00
4	15,12	11,97	79,17	-	4,80	1,20	0,59	2,05	463	-	-
6	15,16	11,87	78,30	-	5,00	1,20	0,60	2,19	430	-	8,00
10	15,44	17,10	90,28	-	5,10	0,50	0,93	0,77	455	-	8,00
12	15,37	17,07	90,04	-	5,20	0,50	0,91	0,74	439	-	48,00
15	14,36	20,87	68,80	-	5,40	1,20	0,53	2,28	225	-	76,00
16	14,73	18,61	79,15	-	5,30	1,70	0,55	1,94	243	-	-
9	14,17	18,O6	78,47	-	5,30	1,40	0,52	2,02	238	-	56,00
8	15,05	18,52	81,26	-	5,30	2,20	0,61	1,75	481	-	-
1	15,20	18,71	81,25	-	5,30	2,50	0,66	2,19	588	-	68,00
5	15,04	18,69	80,45	-	5,30	2,10	0,61	1,59	663	-	72,00

TABLA V.-JUGO CLARIFICADO.

Exp.	Brix	Pol	Pza.	Color	Ph	Acidez	Ceniza	Az. R.	Fosfato	Turb.	Vol(cm^3)
7	17,15	14,84	86,53	10637	6,44	0,20	0,78	1,25	36	13	168,00
13	16,45	13,89	84,44	10044	6,84	0,20	0,50	1,23	74	21	212,00
3	16,31	14,14	86,70	10973	7,51	0,20	1,75	1,24	34	8	212,00
11	15,98	12,69	79,41	14692	8,08	0,30	0,64	2,62	56	20	247,00
14	16,49	13,29	80,59	11909	7,36	0,30	0,71	1,87	38	40	159,00
2	16,03	12,85	80,16	12066	8,50	0,25	0,73	2,10	45	56	106,00
4	15,96	12,29	77,01	13488	7,68	0,40	0,73	1,96	75	121	-
6	-	-	-	14392	7,40	-	-	-	-	36	124,00
10	15,95	14,27	89,47	6595	8,40	0,20	0,37	0,84	35	19	124,00
12	15,77	14,87	94,29	7773	7,60	0,20	0,38	0,81	18	12	274,00
15	15,36	12,28	79,95	5969	6,60	0,70	0,59	2,39	52	20	88,00
16	15,44	12,30	79,66	6087	6,50	0,70	0,62	0,97	46	25	239,00
9	14,94	11,85	79,32	6271	8,50	0,10	0,63	2,26	8	5	230,00
8	15,29	12,30	80,44	9461	6,70	0,90	0,67	1,70	110	48	238,00
1	15,37	12,34	80,29	9579	8,40	0,20	0,80	1,52	60	8	203,00
5	15,10	12,28	81,32	11871	7,50	0,70	0,71	1,43	64	30	265,00

ANALISIS DE LOS RESULTADOS:

Los resultados mostrados en las tables IV y V , ponen de manifiesto los siguientes criterios:

- Se observa una marcada disminución de la acidez de los jugos y aumento de Ph, lo cual resulta lógico puesto que todos los lugos fueron encalados al menos hasta un Ph=7,2.

- Los mejores valores de turbiedad en el jugo claro corresponden a las experiencias 9 y 1, que además son aquellas que fueron alcalizadas en caliente hasta un Ph de 7,8 y Floculante.

- Las experiencias 1 y 9, también mantienen valores altos en sus razones de sedimentación.

- Todos los jugos analizados poseen una alta concentración de sales de fosfato por lo que no es necesario adicionar ácido fosfórico a los jugos en los molinos.

CONCLUSIONES:

- Se logró menor turbiedad en el jugo claro, cuando se alcalizó en caliente (98-100^{0}C) hasta un Ph=7,8, aplicando floculante a razón de 3 ppm.

- La más rápida floculación y las mayores rezones de sedimentación inicial (RSI), se lograron en las experiencias con Floculante, en correspondencia a una mayor densidad y tamaño de los flóculos.

- La destrucción de azúcares reductores fue mayor cuando se alcalizó en frio hasta Ph=7,8.

- La mayor Razón Inicial de sedimentación se logró caundo se alcalizó en frio hasta Ph=7,8, pero la calidad del claro obtenido no era buena, dado su alto nivel de trubiedad.

BIBLIOGRAFIA:

1.- Spencer, G.P. Meade (1963). Manual del Azúcar de Caña. 9^0 Edición. Edit. Montaner y Simos. Barcelona. España.
2.-Gómez R. L. (2001). Documento preparado de Tecnología Azucarera. (Azúcar Crudo, Blanco Directo y Refino). Facultad de Química y Farmacia. UCLV. Cuba.
3.-ICUMSA. (1994). Methods Book. Abril 1994. Edit. ICUMSA. Norwich. Inglaterra.
4.-Batule. D. E. (2000). Serie Azucarera 10. Métodos de Análisis Azucareros. Tomo I. 2000
5.-Batule. D. E. (2000 a). Serie Azucarera 10. Mértodos de Análisis Azucareros. Tomo II. 2000.

VIGENCIA ACTUAL Y PERSPECTIVA DE LA OBRA DE ALVARO REYNOSO EN EL REDIMENSIONAMIENTO DE LA AGRO INDUSTRIA AZUCARERA CUBANA.

CURRENT VALIDITY AND PERSPECTIVE OF THE ALVARO REYNOSO'S WORK IN THE REDIMENSIONAMIENTO OF THE SUGAR CUBAN AGROIDUSTRY.

AUTOR: DR. LUIS GOMEZ RODRIGUEZ. E-Mail : lugo@qf.uclv.edu.cu

INSTITUCION: Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.

RESUMEN:

En el presente trabajo se expone una breve reseña biográfica de Don Alvaro Reynoso Valdés, que nos permita conocerlo, así como su fecunda obra en el campo de la Agricultura Cañera.

Se realiza un análisis reflexivo de los postulados científico-técnico expuestos por el insignie sabio cubano para una mayor producción cañera (altos rendimientos agrícolas), de lo cual depende en gran medida el Rendimiento Industrial, a partir de que la principal y verdadera fábrica de azúcar lo constituye la caña, durante su cultivo y vegetación.

Se ofrece además una proyección del significado de la obra de Don Alvaro Reynoso en el presente y futuro para la Agroindustria Azucarera y se plantean las principales acciones que constituyen la Tarea Alvaro Reynoso que establece el MINAZ para su redimensionamiento.

PALABRAS CLAVES: Alvaro Reynoso Valdés, Caña de Azúcar, Agroindustria Azucarera, Agricultura Cañera,

SUMMARY:

In the present work is exposed a brief biographical review about Don Alvaro Reynoso Valdés that allows us to know it, as well as its fertile work in the field of the Agriculture Cane.
It is carried out a reflexive analysis of the postulates scientific-technician exposed by the Cuban wise insignie for a bigger production cane (high agricultural yields), of that which the Industrial Yield depends in great measure starting from that the main and true factory of sugar constitutes it the cane, during its cultivation and vegetation.

It also offers a projection of the meaning of Don Alvaro Reynosos's work in the present and future for the Sugar Agroindustry and they think about the main actions that they constitute the Task Alvaro Reynoso that the MINAZ settles down for its redimensionamiento.

KEY WORDS: Alvaro Reynoso Valdés, Cane of Sugar, Sugar Agroindustry, Agriculture Cane.

INTRODUCCION:

Como es conocido, el Mercado Azucarero Internacional ha presentado grandes fluctuaciones en los deprimidos precios del azúcar que se comercializa, y Cuba, país eminentemente productor de este edulcorante no escapa a tal situación.

Es por ello que teniendo en cuenta tal situación y que el abasto de la material prima (caña) a los centrales en nuestro país, donde se contaba con aproximadamente 160 ingenios, no era el requerido, se plantea como una possible medida la disminución del número de este tipo de fábrica, con vistas a poder abastecer en los niveles y sistematicidad requerida a aquellas, que por su eficiencia y posibilidades de diversificación lo ameritan.

Esta decisión junto a la de la superación como empleo, de los técnicos de las fábricas, tanto de las que se descontinúan como de las que permenecerán activas, constituyen entre otros, aspectos de la denominada **TAREA ALVARO REYNOSO** , la que a través de varias acciones específicas que contempla, establecen el llamado redimensionamiento del organismo MINAZ.

Dada la significación y necesidad de la mencionada medida y de la Tarea Alvaro Reynoso que establece la pauta para su ejecución, se deriva la importancia y proyección del presente trabajo en el que se persigue como objetivos:

- Exponer una breve reseña biográfica de Don Alvaro Reynoso Valdés y su obra, en función del desarrollo Agorindustrial Azucarero.

- Conocer las acciones contempladas en la Tarea Alvaro Reynoso para el redimensionamiento del MINAZ.

DESARROLLO:

¿QUIEN FUE ALVARO REYNOSO VALDES?

- Eminente Científico Cubano, miembro original de la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de Cuba, fundada en 1861.

- Nació Reynoso el 4 de Noviembre de 1829 en Guanimar, Barrio de Alquizar en la Provincia de la Habana. Nadie podia imaginar que con el decursare del tiempo, este niño se convertiría en un verdadero sabio para Gloria de su patria.

- Cursó la enseñanza primaria en el acreditado colegio “San Cristobal de Carraguao”. Allí uno de sus profesores fue José Luis Casaseca, creador en 1848 del primer Instituto de Investigaciones Químicas Cubano, que se dedicaría principalmente al análisis de productos naturals y agrícolas con aplicaciones a la Indutsria, la medicina, la agricultura y en especial a la Industria Azucarera. Reynoso fue un alumno muy destacado y tanto aprendio de Casaseca que cuando este se retiró del Instituo por decisión propia, le sucedió como director con solamente 30 años de edad

- Reynoso culminó sus estudios de Filosofía en la Real Universidad de la Habana y se gradúa de Bachiller en Ciencias a los 17 años, en Julio de 1846.

- Posteriormente matricula el primer año de la Carrera de Medicina pero no logra la motivación requerida y marcha a Paris en 1847, donde se gradúa también de Bachiller en Ciencias, como lo hiciera el año anterior en la Habana.

- Tanto se destaca el estudiante cubano que en 1848 logra realizar su sueño de ingresar en el afamado laboratorio de Eugenio Pelouze, uno de los químicos mas famosos de aquella época.

- Compartiendo los estudios con el trabajo, logra obtener el grado de doctor en Ciencias Físico-Químicas en la Universidad de París, con la magnifica tesis "Investigaciones sobre la formación del Eter".

- Entre 1850 y 1885 siendo aún muy joven, publica numerosos trabajos y monografías, todas en Francés sobre Química Pura, Bioquímica , Química Fisiológica y Química Inorgánica, entre los cuales podemos citar: "Diversas combinaciones nuevas del amoniaco con los ferrocianuros" , "Sobre la preparación de ácidos Metálicos", "Nuevo Método para la separación del ácido fosfórico de sus combinaciones con los ácidos metálicos". " La presencia del azúcar en las orinas de los enfermos histéricos y epilépticos", etc.

- A los 27 años de edad se reconcoe el trabajo de Reynoso en la mayor parte del continente europeo.

  Por el prestigio alcanzado el gobierno español lo nombró catedrático de Química de la Universidad Central de Madrid, sin que tuviera que concurrir a ejercicios de oposición.

- Por muy poco tiempo desempeña la plaza anterior pues en 1858 regresa a Cuba, después de una ausencia de 11 años. Este mismo año es nombrado catedrático de Química Aplicada en la Escuela Preparatoria de La Habana.

- Hay que señalar que sus investigaciones más importantes las realizó en fisiología vegetal, en los estudios físico-químicos de los suelos, en fertilizantes inorgánicos, así como sobre aguas minerales, y la composición química de plantas y frutas, tanto indígenas como exóticas.

- En 1861 publica su obra Estudios experimentales acerca de la vegetación de la caña, la cual publica en 1862 a los 33 años de edad en un compendio de más de 500 páginas que hubiera bastado para que alcanzara los mas altos honores en todos los paises donde se cultivaba la caña de azúcar . Esta obra revolucionaria fue traducida casi inmediatamente al Francés, Holandés, Inglés y Portugués, desde entonces la tecnología desarrollada por Reynoso en esta monumental obra es conocida como sistema Reynoso.

Con esta obra sobre el cultivo de la caña, Reynoso logró un impacto universal. Por ejemplo en fecha tan temprana como el año 1866, Luis Vidart Schuch, destacado intelectual español declaraba en una publicación madrileña: "Su obra ensayo sobre la caña de azúcar, le ha valido por parte de los más inteligentes plantadores de su patria, la honra de ser considerado como el primer iniciador de la época científica de la agricultura cubana".

En 1955 uno de los biógrafos, el Ingeniero cubano Feliciano Aldereguia, que fuera presidente de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba, en la seudo república, después de señalar que este libro de Reynosos es de aquellos que se escriben una vez cada siglo, señaló en su obra biográfica **"Si nosotros hubieramos seguido el Sistema Reynoso y practicado los consejos, las enseñanzas contenidas en esta obra, la industria azucarera de Cuba estaría en otras condiciones, no solo de producción, sino de competencia"**.

Alvaro Reynoso vuelve a ausentarse de su patria en 1864, para no regresar hasta 1883. En esta etsapa es muy fecuanda su actividad científica.

- Debemos destacar que Reynoso no solamente se preocupó por el cultivo de la caña de azúcar, también su obra incluyó magnificos tratados sobre el cultivo del tabaco, del café, del arroz, plátano trigo y diferentes viandas.

- Los últimos años del ilustre sabio cubano fueron verdaderamente dramáticos. Desde su regreso a Cuba en 1883 hasta el fín de sus días vivió enfermo y en la mayor pobreza, sin tener siquiera para comer y pagar su humilde albergue.

- Aquel hombre genial y desinteresado que había dedicado gran parte de sus recursos personales a experimentos científicos y a la impresion de muchas de sus obras para el desarrollo científico, cultural y económico de su patria, moría el 11 de Agostode 1888, sumido en la miseria y totalmente abandonado por las autoridades españolas.

Cuanto le debemos todavia a Reynoso. La única forma de pagar nuestra deuda eterna con este gigante del pensamiento cubano del siglo XIX, es aplicando racionalmente su legado científico, aún actual, en el desarrollo integral de nuestra agricultura, tanto cañera como no cañera, en correspondencia a lo que en estos momentos en la diversificación del MINAZ, se quiere y necesita.

Teniendo en cuenta el amplio historial biográfico de Don Alvaro y la diversidad de campos en los cuales sincursionó, así como su obra cumbre " Ensayo sobre el cultivo de la Caña de Azúcar", vale la pena destacar, la visión que tuvo este científico hacia el sistema intensivo de los cultivos y a la agricultura orgánica, aunque en aquel entonces no lo llamara así.

Al igual que Reynoso otro cubano ilustre el Doctor Francisco Zayas, se pronunció en su respectiva época por la necesidad del cultivo INTENSIVO y ambos abogaron contra la rutina y a favor de los métodos científicos, planteando que lo que necesita el sembrador de caña es llegar a fijar en su mente que la agricultura ya no es empírica, sino científica, y que el éxito depende de seguir las reglas con la mayor exactitud.

Con relación al cultivo de la caña por el Sistema Extensivo o Intensivo de acuerdo a los criterios esgrimidos por Reynoso y Zayas, dos autoridades en la material, se apunta la siguiente reflexión:

"El sistema EXTENSIVO casi lo pide todo a la naturaleza, esclaviza sus productos a la feracidad o esterilidad del terreno, a las lluvias que caen, a todos los fenómenos meteorológicos, al azar, en fín".

"El sistema Intensivo o Científico, exige positivos resultados a la naturaleza misma a la cual pone al servicio de la intelegencia, la doblega dócil a las exigencies del hombvre que sabe que en Agricultura esa naturaleza solo es caprichosa con la ignorancia.".

Como se aprecia de lo antes expuesto, el sistema INTENSIVO al cual tenemos que aspirar, ofrece los mejores resultados y las mayores posibilidades en los altos Rendimientos Agrícolas a los cuales se debe aspirar. Ejemplo de esto se tiene en Java, donde aplicando los Métodos de Reynoso, producen una misma cantidad de caña, empleando solo la cuarta parte de las tierras que en Cuba.

Otra prueba del resultado del Cultivo Intensivo, se encuentra en las estadísticas de Hawai, donde se ve que cada año se reduce el área del terreno sembrado de caña y en cambio aumenta el producto por acre, como resultó en el Ingenio Ewa conocido en el mundo azucarero por tener record mundial de producción de azúcar, por cada acre de terreno y en el que en el año 1924, en un campo de 120 acres (un poco más de 4 cabellerias), se obtuvieron 18,09 ton de azúcar por acre.

Con relación al drenaje de los terrenos, aspecto al que tanta importancia le daba Reynoso, por su influencia al Rendimiento Agricola y que hoy es considerado por los verdaderos agricultures como la base primordial de la cosecha, se ofrece un ejemplo que pone de manifiesto tal influencia:

Dos campos experimentales de 12 meses cada uno, uno de los cuales pudo ser drenado debidamente (campo # 1) y el otro no (campo # 2), ofrecieron como resultado, el campo # 1), 94700 @/caballeria, en tanto que el campo # 2 solo arrojó 52332 @/caballeria. El promedio del peso de cada caña del campo # 1 fue de 4 libras, en tanto que el promedio del peso de cada caña en el campo # 2 fue de 2 libras, pero además se pudo constatar que el gasto en el campo #1 bien drenado fue mucho menor que en el campo # 2 donde faltó drenaje.

No se puede obviar lo planteado por Reynoso y otros especialistas de su época, en cuanto a que los Trapiches no pueden sacar de la caña más azúcar que la que ella contenga y donde hay que ponerle azúcar a la caña es en el campo. Allí está la verdadera fábrica vegetal de azúcar.

A tenor de todo lo planteado y la vigencia actual de la obra del insignie sabio cubano Don Alvaro Reynoso Valdés, es que el MINAZ decide acometer el redimensionamiento del proceso agroindustyrial azucarero, a partir de la Tarea denominada Alvaro Reynoso la que a través de 7 aspectos contempla las acciones a acometer parta dar cumplimiento al objetivo propuesto.

TAREA ALVARO REYNOSO:

TAREA # 1

El Programa de Reestructuración de la Agroindustria Azucarera en sus aspectos principales comprende:
Acelerar el incremento de los ingresos netos generados a través de un profundo proceso de disminución de los costos. Este es el objetivo esencial del proceso. Para alcanzar ese propósito se debe:

- Reducir la capacidad instalada para 10 millones de toneladas a un potencial máximo de 4 millones de toneladas métricas anuales las instalaciones industrials y las tiertras plantadas de caña.
- Seleccionar 71 centrales azucareros por sus condiciones técnicas y eficiencia económica con areas de caña de las mejores tierras, propias o agregadas, para alcanzar mayores Rendimientos y costos competitivos, no superiores a 260 pesos moneda total por toneladas de azúcar y de ellos 60 dólares.
- Destinar 14 centrales a la Diversificación de la producción de mieles y alcoholes y convertir la atención al desarrollo de los derivados de la caña en una linea de trabajo de vital importancia.
- El objetivo de producir azúcar será por tanto, satisfacer nuestro consumo interno en una 700 mil toneladas y acceder al Mercado externo en la medida en que su precio genere ingresos en divisas ostensiblemente superiores al costo que se invierte en fabricarla.
- Alcanzar un promedio de 54 toneladas métricas/hectarea (63 mil @/Cabelleria de caña) y un Rendimiento del 12 % en zafras de 90-100 días de duración en el período óptimo.
- Emplear por el MINAZ las tierras liberadas de las actuales áreas cañeras, que ascienden a un 60 %, en producción ganadera, carne y leche, en el cultivo de viandas, frijoles, arroz, hortalizas y vegetales en organopónicos y huertos intensivos y áreas forestales de propósito industrial y bosques naturales para la producción de frutas para el consumo y la exportación contribuyendo a la alimentación de la población, a crear nuevos empleos y sustituir importaciones.
- Incorporar al estudio como la principal forma de asegurar el futuro, a 100 mil trabajadores agroindustriales azucareros.

TAREA # 2.

¿Cuáles son las misiones del MINAZ?
Identificamos en las misiones planteadas tres misiones principales:
1.-Ser competitivos y eficentes en la fabricación de azúcar y sus derivados como misión inmediata.

2.-Producir alimentos, mediante la diversificación agrícola e industrial, como misión a mediano plazo.
3.-Desarrollar una agricultura sostenible, apoyada en la industria del conocimiento como misión a largo plazo.

TAREA # 3.

¿Por qué 100 mil trabajadores a estudiar?
Esta tarea constituye a la vez uno de los mayores beneficios para los trabajadores azucareros. No se trata ya de la seguridad de empleo o salarial, que aunque importante es un resultado inmediato, sino de la superación professional de 100 mil azucareros.
El MINAZ cuenta con cerca de 15 mil profesionales de nivel superior y 43 mil técnicos de nivel medio, este potencial constituye el pilar fundamental del amplio programa de superación, además de aquellos que deben alcanzar el sexto, noveno y duodecimo grado. De sus priopios profesionales el MINAZ aportará profesores para estos cursos.
Los trabajadores tendrán derecho y acceso a la superación, optar por profesionales de futuro en el país, incluyendo carreras universitarias de perfil agrícola, Industrial, técnica, de informática, económica, de derecho y humanisticas entre otras, además de maestrias, especialidades y doctorados.

TAREA # 4.

¿Quienes dirigen el proceso y como?
Para conducir este proceso fue constituida una Comisión Central del Gobierno, integrada por dirigentes y especialistas directamente vinculados a esta tarea y participan el Sec. General de la CTC, el Pdte. de la ANAP y el Sec. General del Sindicato Nacional de trabajadores azucareros.
En el Ministerio del azúcar fue creada la Comisión Central del MINAZ, integrada por Viceministros y directores. A nivel de ministerio fueron creado 7 grupos de trabajo para la atención permanente del proceso en las provincias y se formaron 12 equipos de trabajo con especialistas de alta calificación para evaluar y proponer los cambios necesarios.
Fueron constituidas Comisiones Provinciales integradas por todos los organismos vinculados con la misión de conducir el proceso en cada territorio y comisiones en los CAI..
En los CAI de acuerdo a la Resolución del Ministerio de trabajo, fueron creadas las comisiones de tratamiento Laboral y Salarial, integradas por representantes de la Admon y el Sindicato, que responden por ello, más 3 trabajadores elegidos por la masa en asambleas.
Existe un Programa para cada uno de los 70 centrales que se desactivan y serán desmontados en un proceso que comienza en Septiembre del 2002, donde han sido creadas las comisiones liquidadoras de acuerdo a lo establecido por el Ministerio de Economía y Planificación. El papel de las comisiones liquidadoras es garantizar el orden, la disciplina, el control y el empleo adecuado de los medios y recursos.

TAREA # 5.

¿Se consideran las opiniones de los trabajadores?

El primer proceso de asambleas estuvo dirigido a debatir el documento programático donde se argumentaban los fundamentos de la reestructuración y el Segundo para dar respuesta mediante los proyectos de resoluciones a los planteamientos realizados por los trabajadores en el primero.

Resumen de los procesos de asamableas en el MINAZ.

Los principales planteamientos de las asambleas en el primer proceso fue el siguiente:

El tema Laboral y salarial representó el 28,2 % del total, los Beneficios y Servicios que actualmente el MINAZ mantiene en los bateyes el 11,9 %, el Programa de estudio para 100 mil azucareros el 11,4 %, los

productores cañeros que cambian total o parcialmente su objeto social, representó el 15 % y los temas en cuanto a como se resolverán sus deudas el 10,8 %.

En el Segundo proceso de asambleas, recibieron las respuestas a sus planteamientos en el primer ciclo por los representantes de distintos organismos estatales, sobre las medidas que garantizan empleo, protección salarial y estudio. Los proyectos de resoluciones quedaron abiertos a nuevos planteamientos de los trabajadores antes de oficializarlos.

En coordinación con los Comités de Defensa de la Revolución, se inició un tercer proceso de información en 553 zonas y 3123 CDR organizados en las comunidades azucareras para explicar la reestructuración del sector a la población vinculada a los bateyes.

TAREA # 6.

¿Qué Recursos se destinan por el MINAZ para los servicios?

Suministro de agua a las comunidades, servicio de energía eléctrica, el Programa de electrificación de los bateyes del MINAZ-MINBAS, la transportación y unido a ello el beneficio del transporte obrero y ferroviario, así como otros equipos y medios de trabajo, tales como tractors, turbines, estaciones de bombeo, locomotoras, omnibus, ambulancias, camions, pipas y otros.

TAREA # 7.

¿ A donde vamos?

Marchamos con firmeza a un proceso de diversificación intensivo, tanto de la producción Agrícola como industrial en busca de ser un productor eficiente y competitivo, con avances en la calidad, la reducción de los costos y la sostenibilidad.

La Agroindustria Azucarera cubana diseñada debe sustentarse en el conocimiento, la investigación y la integración. Debemos desplegar en todo su potencial el movimiento de la Innovación que produce el cambio.

CONCLUSIONES:

- Lo antes expuesto nos permite conocer la vida y obra de Don Alvaro Reynoso reconociendo en su personalidad a un eminente e insignie sabio cubano, con una gran dimensión, diversidad y proyección en su quehaecr científico.

- La agricultura orgánica (Ecológica), y el método Intensivo de cultivo, para cualquier tipo de plantación, son postulados de la experiencia de Don Alvaro, vigencia actual y future.

- En el redimensionamiento del MINAZ, es indudable que la obra de Alvaro Reynoso constituye una aspecto de primera importancia, de ahí que a este proceso de transformación se le haya denominado con el nombre de TAREA ALVARO REYNOSO.

BIBLIOGRAFIA:

1.- Reynoso, A.(1998). Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar. Sexta Edición. Publicaciones Azucareras. La Habana, 1998.

2.-García, A. (1998). Fidel Castro y la producción azucarera. Publicaciones Azucareras. Ministerio de Azúcar. 1998.

3.-Cuellar A.I., Villegas D.R., De León O. M.E., (2002). Alvaro Reynoso: 140 Años Después. La Habana. 2002.

MODELACION MATEMATICA PARA LOS ACCIONAMIENTOS DEL TREN DE MOLINOS DE LA CAÑA DE AZUCAR

MATHEMATICAL MODELING FOR THE MILLS TRAIN WORKING IN THE SUGAR CANE FACTORY

Sergio Jáuregui Rigo
Profesor Titular, Dr. en Ciencias Técnicas. Centro de Estudios de Termo energética Azucarera. CETA. Universidad Central de las Villas. C. Camajuaní, Km. 5, Santa Clara V.C. CP 54830, Cuba
jaureguisl@fim.uclv.edu.cu

Jorge Alberto Vélez Enríquez
Profesor Asistente Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Veracruzana, zona Xalapa, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, zona Universitarias, C.P. 91020, México.
jvelez@uv.mx

Idalberto Herrera Moya.
Profesor Instructor Centro de Estudios de Termo energética Azucarera. CETA. Universidad Central de las Villas. C. Camajuaní, Km. 5, Santa Clara V.C. CP 54830, Cuba.
idalbertohm@fim.uclv.edu.cu

Resumen.
En el presente trabajo son presentados los modelos matemáticos que permiten determinar las demandas de la potencia mecánica y consumo de energía eléctrica en los trenes de molinos (tandem) para la obtención del jugo de la caña de azúcar.
En el estudio presentado son analizadas dos variantes de accionamiento en el tandem, la primera consiste en una transmisión mecánica y un motor eléctrico como accionamiento y la segunda una transmisión hidráulica con igual tipo de accionamiento.
Los análisis realizados permiten obtener los modelos universales que resumen las alternativas antes señaladas y extensibles a las turbinas y maquinas de vapor que típicamente son empleadas como accionamiento.
Las conclusiones se refieren a la obtención de software basado en estos modelos el cual caracterizan técnico y económicamente la operación del tandem y desde el punto de vista ambiental valorar la alternativa de menor costo ecológico.

Palabras claves: Tandem, Energía, tren de Molino

Summary
In the present work the mathematics models are presented that allow to determine the demands of the mechanical power and electrical consumption of energy in the sugar mills (tandem) for the obtaining of the juice of the cane of sugar. In the presented displayed study two variants of drive in the tandem, first it consists of a mechanical transmission and an electric motor like drive and a second hydraulics transmission with equal type of drive. The made analysis allow to obtain the universal models that summarize the alternatives indicated and tensile before to the turbines and engine of steam that typically are used like drive. The conclusions talk about the obtaining of software based on these models which characterize technical and economical and the operation of the tandem and from the environmental point of view to value the alternative of smaller ecologic cost.
Key words: Sugar Mills, Energy , cane sugar mills

Introduccion

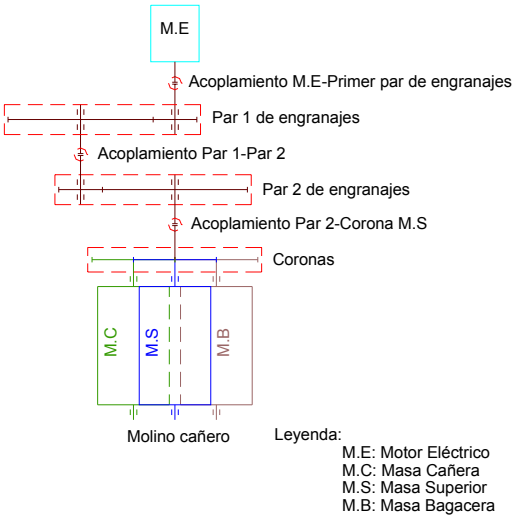
Entre los retos fundamentales de la humanidad para las próximas décadas se encuentra la obtención, transportación y uso de portadores energéticos más eficientes y económicos; debido en lo fundamental al agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, el de mayor porcentaje de los usados en el mundo en la actualidad. Por este motivo es muy importante la explotación eficiente de los recursos energéticos.

Este trabajo pretende llamar la atención sobre la importancia de los posibles ahorro de energía sobre la bases de un profundo análisis técnico económicos en el área del tandem a fin de lograr el máximo aprovechamiento energético. El rendimiento de esta área puede ser decisivo, lograr una buena extracción con una demanda racional de potencia, decide definitivamente, la eficiencia de la fábrica de azúcar sobre todo si tenemos en cuenta que en un central típico de Cuba aproximadamente el 35% de la energía eléctrica[1] consumida, se emplea en accionar el tandem, por lo que, en la actualidad cuando la utilización de los centrales azucareros como fuente de generación de energía renovable, es una de las razones que pueden justificar la molida, al elevar su eficiencia se estará capacitando al ingenio para ser más rentable a través de la venta de electricidad, a la vez que se incrementa en valor agregado del azúcar y se diversifica la agroindustria. Por otra parte sería una bondadosa contribución al medio ambiente tributar a la disminución de la quema de combustibles fósiles cuyo efecto esta provocando aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera.

El área de preparación y molienda de los ingenios azucareros presenta equipos que han sido seleccionados y utilizados a lo largo de los años de acuerdo a las exigencias que se han ido planteando en cada central azucarera y esto da como resultado que se presenten muchas variantes en los arreglos de los accionamientos de los tandems de molinos con sus respectivas transmisiones ya sean mecánicas o hidráulicas. Cada uno de los diferentes tipos de accionamiento presentan variantes en el desarrollo de potencia y como es ésta transmitida hasta la parte que acciona los molinos

Deducción del modelo matemático para la evaluación del consumo de potencia del accionamiento eléctrico, con transmisión mecánica.

Para llegar a un modelo general que permita evaluar este grupo de accionamientos la base es un tandem convencional con una desmenuzadora y 5 molinos con accionamiento eléctrico convencional, el cual puede verse en la figura 1, en este caso particular se logra la reducción de velocidad del motor eléctrico a la velocidad de rotación de las mazas mediante dos pasos de reducción formados por dos pares de engranajes abiertos de dientes rectos, el torque es transmitido del motor a la transmisión 1 y de la transmisión 1 a la 2 por acoplamientos rígidos y de la transmisión 2 a la maza superior del molino por un acoplamiento cúbico como se ve en la figura 1.



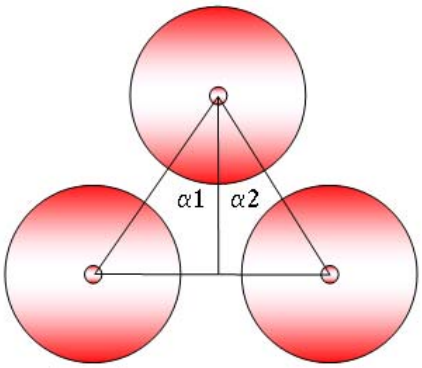


figura 1 figura 2

La distribución física de las mazas de un molino no es igual, obedeciendo al ángulo que las separa entre si, para la extracción del jugo de la caña (figura 2) y esto da como resultado que la distribución de la potencia en las mazas se presente de la siguiente manera:

$$N_{M.C} = F(N_{m.c}) * \varphi_{M.C}$$

$$N_{M.B} = F(N_{m.c}) * \varphi_{M.B}$$

$$N_{M.S} = F(N_{m.c}) * \varphi_{M.S}$$

En donde:

$N_{M.C}$: Potencia requerida por la maza cañera

$N_{M.B}$ Potencia requerida por la maza bagacera

$N_{M.S}$ Potencia requerida por la maza superior

$F(N_{m.c})$: Función de potencia requerida para moler la caña.

$N_{m.c}$: Potencia consumida para moler la caña incluyendo la potencia consumida por fricción entre las partes móviles del molino (muñones y cojinetes de los cilindros entre otras) y entre las partes del molino y el bagazo (bagazo y cuchilla central entre otras).

φ: Factor de distribución del consumo de potencia entre las mazas.

La potencia requerida por los molinos para moler la caña ($N_{R.m.c}$) será:

$$N_{R.m.c} = N_{m.c.1} + N_{m.c.2} + N_{m.c.3} + N_{m.c.4} + N_{m.c.5}$$

y en un tandem de n molinos será:

$$N_{R.m.c} = \sum_{n=1}^{i} F(N_{m.c(n)})$$

de forma similar en un tandem de k desmenuzadoras será:

$$N_{m.c.D} = \sum_{k=1}^{j} (N_{m.c.D(k)})$$

Entonces puede decirse que en un tandem de n molino y k desmenuzadora la potencia total demandada para moler la caña ($N_{T.m.c}$) esta dada por:

$$N_{T.m.c} = \sum_{n=1}^{i} F(N_{m.c(n)}) + \sum_{k=!}^{j} F(N_{m.c.D(k)}$$

Introduciendo los coeficientes de rendimiento de la transmisión puede entonces determinarse la potencia requerida desde la transmisión hasta moler la caña para cualquier molino n ($N_{T(n)}$).

$$N_{T(n)} = \frac{F(N_{m.c(n)})}{\eta_{t(n)}}$$

En donde:

η_t: Eficiencia de la transmisión

$$\eta_{t(n)} = \eta_{co(n)} * \eta_{a(n)} * \eta_{P.R(n)}$$

η_{co}: Eficiencia de las coronas.

η_a : Eficiencia del acoplamiento entre las coronas y los pasos de reducción.

$\eta_{P.R}$: Eficiencia de los pasos de reducción.

Puede plantearse entonces que la eficiencia de los pasos de reducción ($\eta_{P.R}$) para un molino n de m pasos de reducción será:

$$\eta_{P.R(n)} = \prod_{m=1}^{l} \eta_{P.m,n}$$

Siendo:

$\prod_{m=1}^{l} \eta_{P.m,n}$ Productoria de pasos de transmisión

La potencia requerida desde la transmisión hasta moler la caña para el molino uno (N_{T1}) puede expresarse como:

$$N_{T(n)} = \frac{F(N_{m.c(n)})}{\eta_{co(n)} * \eta_{a(n)} * \prod_{m=1}^{l} * \eta_{P.m(n)}}$$

Y para un tandem de n molinos y k desmenuzadoras con m pasos de transmisión puede plantearse como sigue:

$$N_{TT} = \sum_{n=1}^{i} \frac{F(N_{m.c(n)})}{\eta_{co(n)} * \eta_{a(n)} * \prod_{m=1}^{l} \eta_{Pm,n}} + \sum_{K=1}^{J} \frac{F(N_{m.c.D(k)})}{\eta_{co.D(K)} * \eta_{a.D(K)} * \prod_{m=1}^{l} \eta_{Pm,k}}$$

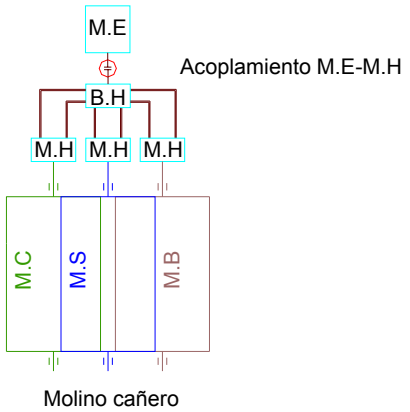
MODELO GENERAL Para un tandem de n molinos y k desmenuzadoras con m pasos de transmisión incluyendo rendimiento del elemento motriz puede plantearse como sigue:

$$N_{m.T} = \sum_{n=1}^{i} \frac{F(N_{m.c(n)})}{\eta_{co(n)} * \eta_{a(n)} * \eta_{m.(n)} * \prod_{m=1}^{l} \eta_{Pm,n}} + \sum_{K=1}^{J} \frac{F(N_{m.c.D(k)})}{\eta_{co.D(K)} * \eta_{a.D(K)} * \eta_{m.D(k)} * \prod_{m=1}^{l} \eta_{Pm,D(k)}}$$

Deducción del modelo matemático del consumo de potencia de un tandem azucarero con accionamiento eléctrico y transmisión hidráulica

El modelo propuesto esta desarrollado bajo la condición que se cuente con motores hidráulicos de características similares trabajando a eficiencias distintas por estar sometidos a cargas diferentes que los mecanismos de regulación no logran compensar.

Partiendo de la figura 3



Leyenda:

M.E: Motor Eléctrico
B.H: Bomba Hidráhulica
M.H: Motor Hidráulico
M.C: Masa Cañera
M.S: Masa Superior
M.B: Masa Bagacera

figura 3

Se tiene que:

$$N_{M.C} = F(N_{m.c}) * \varphi_{M.C}$$
$$N_{M.B} = F(N_{m.c}) * \varphi_{M.B}$$
$$N_{M.S} = F(N_{m.c}) * \varphi_{M.S}$$

$$N_{m.c} = F(N_{m.c}) * \varphi_{M.C} + F(N_{m.c}) * \varphi_{M.B} + F(N_{m.c}) * \varphi_{M.S}$$

La potencia requerida por los molinos para moler la caña ($N_{R.m.c}$) será:

$$N_{R.m.c} = N_{m.c.1} + N_{m.c.2} + N_{m.c.3} + N_{m.c.4} + N_{m.c.5}$$

En donde:

$$\varphi_{M.C} + \varphi_{M.B} + \varphi_{M.S} = 1$$

$N_{M.C}$: Potencia requerida por la maza cañera

$N_{M.B}$ Potencia requerida por la maza bagacera

$N_{M.S}$ Potencia requerida por la maza superior

$F(N_{m.c})$: Función de potencia requerida para moler la caña.

$N_{m.c}$: Potencia consumida para moler la caña incluyendo la potencia consumida por fricción entre las partes móviles del molino (muñones y cojinetes de los cilindros entre otras) y entre las partes del molino y el bagazo (bagazo y cuchilla central entre otras).

φ: Factor de distribución del consumo de potencia entre las mazas.

De donde en un tandem de n molinos es:

$$N_{R.m.c} = \sum_{n=1}^{i} F(N_{m.c(n)})$$

Y para las desmenuzadoras se tiene:

$$N_{m.c.D} = \sum_{k=1}^{j} (N_{m.c.D(k)})$$

Puede decirse que en un tandem de n molino y k desmenuzadora la potencia total demandada para moler la caña ($N_{T.m.c}$) esta dada por:

$$N_{T.m.c} = \sum_{n=1}^{i} F(N_{m.c(n)}) + \sum_{k=!}^{j} F(N_{m.c.D(k)}$$

Introduciendo los coeficientes de rendimiento de la transmisión se tiene:

$$N_{T(n)} = \frac{F(N_{mc(n)})}{\eta_{BH(n)}} * \left(\frac{\theta_{MC}}{\eta_{MHC(n)}} + \frac{\theta_{MS}}{\eta_{MHS(n)}} + \frac{\theta_{M\mathbf{B}}}{\eta_{MHB(n)}} \right)$$

η_{BH} : Eficiencia de la bomba hidráulica.

η_{MHC} : Eficiencia del motor hidráulico de la maza cañera

η_{MHS} Eficiencia del motor hidráulico de la maza superior

η_{MHB} Eficiencia del motor hidráulico de la maza bagasera

Realizando un análisis similar para la desmenuzadora se tiene:

$$N_{TD} = \frac{F(N_{mcD})}{\eta_{BHD}} * \left(\frac{\theta_{MC}}{\eta_{MHD}} + \frac{\theta_{MS}}{\eta_{MHD}} + \frac{\theta_{M\mathbf{B}}}{\eta_{MHD}} \right)$$

Entonces para un tandem de n molinos y k desmenuzadora la expresión de potencia total requerida desde la transmisión hasta moler la caña será:

$$N_{TT} = \sum_{n=1}^{i} \frac{F(N_{mc(n)})}{\eta_{BH(n)}} * \left(\frac{\theta_{MC}}{\eta_{MHC(n)}} + \frac{\theta_{MS}}{\eta_{MHS(n)}} + \frac{\theta_{MB}}{\eta_{MHB(n)}} \right) +$$

$$\sum_{k=1}^{j} \frac{F(N_{mcD(k)})}{\eta_{BHD(k)}} * \left(\frac{\theta_{MC}}{\eta_{MHCD(k)}} + \frac{\theta_{MS}}{\eta_{MHSD(k)}} + \frac{\theta_{MB}}{\eta_{MHBD(k)}} \right)$$

Introduciendo el coeficiente de rendimiento del motor eléctrico podemos obtener la potencia requerida por el mismo (N_{me}) para accionar la transmisión y el molino, para cualquier molino

$$N_{TH} = \sum_{n=1}^{i} \frac{F(N_{mc(n)})}{\eta_{BH(n)} * \eta_{me(n)}} * \left(\frac{\theta_{MC}}{\eta_{MHC(n)}} + \frac{\theta_{MS}}{\eta_{MHS(n)}} + \frac{\theta_{MB}}{\eta_{MHB(n)}} \right) +$$

$$\sum_{k=1}^{j} \frac{F(N_{mcD(k)})}{\eta_{BHD(k)} * \eta_{meD(k)}} * \left(\frac{\theta_{MC}}{\eta_{MHCD(k)}} + \frac{\theta_{MS}}{\eta_{MHSD(k)}} + \frac{\theta_{MB}}{\eta_{MHBD(k)}} \right)$$

CONCLUSIONES

1. Los modelos propuestos permiten utilizar cualquier expresión de cálculo de potencia desarrolladas hasta el momento por los diferentes especialistas del área.
2. Los modelos al utilizar transmisión mecánica tienen la opción de ser aplicado para la comparación de consumo de potencia de un tandem azucarero utilizando ya sea un accionamiento de tipo térmico (máquina de vapor, turbina de vapor) o eléctrico (convencional y de alta eficiencia)
3. Al utilizar estos modelos, es necesario contar con la herramienta de programación adecuada, sugiriendo el autor el uso de simulink de matlab, porque de otra manera seria demasiado extenso el cálculo de todas las variables relacionadas en el modelo propuesto, por lo que tendría su limitante al realizarla los cálculos de manera manual

FUENTES DE INFORMACION CONSULTADAS

1. Chinchilla Varona, M., 'Predeterminación de la potencia necesaria para moler caña", Memorias del congreso de la ATAC, La Habana, 1935
2. E. Hugot. Handbook of cane sugar engineering, Elsevier, third, completely revised, edition, 1986
3. Pérez Castellano E. Análisis de la correlación entre el consumo de potencia de un Molino de caña de azúcar y las variables operativas del mismo. Tesis Doctoral. 2003
4. Lehky,R.; Consumo de Potencia en Molinos, ISJ, 1937
5. . Manual de operaciones de la planta moledora. 1996

LUBRICANTE ECOLÓGICO PARA LOS COUPLING DE LOS MOLINOS DE CAÑA, UNA OPCIÓN VIABLE.

LUBRICANT ECOLOGICAL FOR THE SQUARES BOX COUPLING OF THE SUGAR CANE MILL, A VIABLE OPTION.

Autores: Dr. Ing. Yamill Campos Pérez
Dr. Ing. Feliberto Fernández Castañeda
Dr. Ing. Emilio Álvarez Gracias
Institución: Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas, Cuba
Dirección: Carretera a Camajuani Km 5 ½
Email: yamillc@fim.uclv.edu.cu
yamillc25@yahoo.com

Palabras claves: *Lubricante ecológico, Biodegradable, Acoplamiento Cuadrado, Molino de Caña de Azúcar*
Key words: *Square Box Coupling, Sugar Cane Mill, Ecological Lubricant, Biodegradable*

RESUMEN
En el presente trabajo se demuestra la necesidad del empleo de lubricantes ecológicos, biodegradables y no tóxicos para la lubricación de elementos de máquinas en las plantas productoras de azúcar de caña. Concretamente la sustitución del aceite "Guijo BM", tradicionalmente empleado en la lubricación de los acoplamientos cuadrados de los molinos de caña por el "KluberOil 4 UH1-1500". El lubricante sustituto satisface por sus características y propiedades las condiciones de explotación a que están sometidos los acoplamientos cuadrados, además de satisfacer los requerimientos de homologación de lubricantes para equipos y máquinas de la industria alimentaría, aspecto no considerado en las plantas productoras de azúcar de caña.

ABSTRACT
The paper is demonstrated the necessity of the employment of ecological and biodegradable lubricant for the lubrication of machines elements in the plants producers of sugar. Concretely the substitution of the "Guijo BM" oil, traditionally employee in the lubrication of the square box coupling of the sugar cane mills by the oil "KluberOil 4 UH1-1500". The lubricant substitute satisfies by its characteristics and properties the conditions of exploitation. Besides satisfying the approval requirements of lubricant for teams and machines of the feed industry.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación es una de las lacras de nuestra época. A pesar de ello, su presencia cotidiana resulta irremediable. No en vano, la contaminación medioambiental parece haberse convertido en el peaje inevitable que toda sociedad moderna debe pagar si no quiere renunciar a sus comodidades. Afortunadamente, nuestro planeta goza de recursos naturales capaces de sustituir algunas de las fuentes de energía más contaminantes. Recursos que tratados con la tecnología adecuada, pueden derivar en la fabricación de lubricantes competitivos. Este es el caso de determinados lubricantes empleados en la industria azucaras y en especial en los acoplamientos de los molinos de caña.

Los lubricantes son productos que está sufriendo las consecuencias de las exigencias legislativas en materia medioambiental. Las leyes que se encargan de regular la explotación, gestión y conservación

de los recursos naturales, son cada vez más exigentes con esta industria. Las principales compañías petroleras del mundo destinan gran cantidad de recursos a tareas de investigación y desarrollo. Gracias a estas iniciativas, se obtienen nuevas tecnologías para la producción de lubricantes mucho menos agresivos con el medio natural y al mismo tiempo capaces de brindar las mejores garantías funcionales.

La lubricación puede tener un impacto positivo o negativo sobre el medio ambiente dependiendo de su manejo y los productos que se estén utilizando. La conciencia ambientalista que se ha despertado en el mundo entero principalmente a partir de los años 80 propende por la protección de la tierra, el agua y el aire, y cuida de que aquellos compuestos o sustancias que le son añadidos no sean utilizados y sean reemplazados por productos alternativos. Los lubricantes minerales o derivados del petróleo que se utilizan en volúmenes que ascienden a millones de galones diarios, fueron durante muchos años y aún en la actualidad se presenta, arrojados a la tierra, a los ríos o se quemaban como productos de combustión (mezclado con un combustible). Como resultado de los últimos estudios sobre la atmósfera de la tierra y del deterioro que esta viene sufriendo, se ha empezado a tomar conciencia ambientalista en lubricación por parte de la industria mundial y de los productores de lubricantes, surgiendo como consecuencia los *"**LUBRICANTES CON CONCIENCIA AMBIENTAL**" (EAL)* los cuales permiten la conservación de los recursos no renovables, reducción de las fuentes de contaminación ambiental reciclaje y biodegradabilidad. Se pueden considerar lubricantes EAL aquellos que retrasan el impacto negativo y no tienen ninguna incidencia sobre el medio ambiente. En la actualidad se tienen bien definidos tres grupos de lubricantes EAL: ***Ecológicos, Biodegradables y No Tóxicos***. Existen muchas razones que ayudan a pensar en estos productos como lubricante del futuro. Y una de ella es su origen vegetal, lo que hace prácticamente inagotable la base de materia prima dada su abundancia en nuestro entorno.

En el proceso de lubricación de los acoplamientos cuadrados para molinos de caña es importante contar con un buen lubricante, capaz de ofrecer las mayores prestaciones y los mejores índices de calidad. Para ello, se debe ser muy cuidadosos en el momento de elegir el producto adecuado.

2. DESARROLLO.

Estudios realizados han demostrado que una correcta lubricación en los acoplamientos cuadrados disminuye el desgaste y fricción en la superficie de contacto reduciendo las fuerzas extras que generan los acoplamientos las cuales afectan al molino y reductor.

Los acoplamientos cuadrados son transmisiones que trabajan a bajas velocidades de rotación y altas cargas esto hace que se requieran lubricantes con aditivos de extrema presión (PE), además de poseer excelentes capacidad de adhesión y aditivos que permitan proteger las superficies metálicas contra el ambiente hostil creado por la acidez del jugo de caña y otros contaminantes, lo cual interfieren la lubricación adecuada.

Existe una gran variedad de lubricantes producidos especialmente para la industria azucarera como son: MOLYSTAR EP 3000-0 y 3000-2; LUBDECO 1500, 3200, 3200M y 3200MM. Dichos productos son de origen mineral y sus aditivos contiene molibdeno, sulfuros, nitrógeno, todos, elementos no gratos para el medio ambiente. En la tabla 1 se muestran las propiedades de los aceites comúnmente empleados en la lubricación de los acoplamientos cuadrados de los molinos de caña de la industria azucarera cubana.

Tabla.1 – Propiedades de los aceites Guijo.

Propiedades	ACEITE GUIJO			
	A	**BM**	**C**	**3000S**
Densidad a 15 ºC	0.97	0.98	0.98	0.93
Punto de Inflamación, ºC	220	220	248	70
Agua, % de Volumen	0.02	0.02	0.03	0.05
Viscosidad a 40 ºC	60	1500	1500	3000
Viscosidad a 100 ºC	-	113	256	90

Dentro de la propia industria azucarera estos aceites además son utilizados en la lubricación de engranajes, cadenas, etc. Son elaborados con aceites de alta viscosidad de base asfáltica. Los grados 3000S y BM tienen incorporados aditivos de extrema presión (EP).

Como puede apreciarse todos estos lubricantes son de origen mineral, por lo que se consideran no biodegradables y poseen un elevado grado de toxicidad. Lo anterior limita considerablemente su empleo en máquinas y equipos de plantas productoras de alimentos, como es el caso objeto de análisis en el presente trabajo.

Debido a las características de diseño y de funcionamientos de los acoplamientos cuadrados existe el riesgo del derrame o perdida del lubricante, aspecto este de vitar importancia no solo por las implicaciones que trae en la contaminación del medio ambiente sino también por el riesgo de contacto accidental con el jugo de caña, provocando la contaminación del mismo. Es por todo lo anterior la importancia del uso de lubricantes ecológico, biodegradable y no toxicos en la lubricación de los acoplamientos cuadrados, además que reúna las mas rigurosas exigencias técnica y de control sanitario.

Por último se tiene que los mismos no cumplen con las exigencia de las normas internacionales **USDA H1** y **USDA H2** para la lubricación de máquinas y equipos de plantas productoras de alimentos y fármacos.

La reglamentación de las normas de homologación **USDA H1** – se concede a ***Food grade lubricants***, es decir aquellos lubricantes que pueden utilizarse en punto de fricción en máquinas e instalaciones de la industria alimentaria y farmacéutica, allí donde puede existir un contacto ocasional técnicamente inevitable entre los alimentos y el lubricante.

El marcaje **USDA H2** se concede a aquellos lubricantes que pueden ser recomendados en la industria alimentaria y farmacéutica, siempre que sea imposible un contacto con los alimentos.

En un principio las exigencias básicas que deben satisfacer los lubricantes destinados al sector alimentario coinciden aquellos que ya se contemplan para los lubricantes usuales. Así pues, estos productos, deben poseer determinadas características químicas y técnicas a fin de cubrir estas necesidades.

Las condiciones necesarias para que sean reconocidos como tales lubricantes son:

- Ajustarse perfectamente a las normativas sobre productos alimenticios
- Ser inocuos para la salud
- Tener un sabor neutro
- Tener un olor neutro
- Disponer de la Homologación internacional

Además de las exigencias básicas como lubricante estos deben cumplir una serie de propiedades adicionales, tales como:

- Estabilidad frente a los productos alimenticios
- Resistencia a los productos químicos
- Resistencia al agua
- Comportamiento neutro frente a plástico y elastómeros
- Resistencia a vapores
- Capacidad para disolver el azúcar
- Comportamiento neutro frente a caucho y demás materiales de obturación

A partir de las consideraciones anteriores queda clara la necesidad inminente de la sustitución de los aceites Guijo por lubricantes que satisfagan los requerimientos de homologación según USDA.

En calidad de lubricante sustituto del Guijo se recomienda el empleo de un lubricante de la firma KLUBER LUBRICATION. Sus lubricantes cumplen los más exigentes requerimientos con respecto a la pureza e higiene. La base de estos productos impide cualquier formación de microorganismos, por lo cual pueden clasificarse a prueba de bacteria. Los lubricantes USDA H1 elaborados por esta firma están exentos de aceite mineral y aportan una seguridad de 100% en caso de un contacto incidental con alimentos.

Esta firma entre otras produce aceites y grasas destinados a la lubricación máquinas y equipos de la industria azucarera. El lubricante que por sus características y propiedades satisface las condiciones de explotación a que están sometidos los acoplamientos cuadrados resulta el KLUBEROIL 4 UH1 – 1500, cuyas propiedades físico – químicas se muestran en la tabla 2.

Tabla.2 – Propiedades del lubricante KLUBEROIL 4 UH1 – 1500.

ISO VG DIN 51 519	**Densidad a 20 ºC**	**Color**	**Campo de Temp. de uso ºC aprox**	**Viscosidad a 40ºC, mm^2/s**	**Viscosidad a 100ºC, mm^2/s**	**Índice de viscosidad**	**Punto de inflamación, ºC**	**Punto de fluidez crítica, ºC**
1500	0.86	Amarrillo claro	-20 a110	1500	135	>180	>200	≤25

Este es un aceite exento de aceite mineral, con buenas propiedades EP y de protección contra el desgaste. Especialmente indicado para la lubricación de cadenas, acoplamientos, cojinetes, husillos y articulaciones. Excelente protección contra la corrosión unido a una elevada estabilidad frente a la oxidación y al envejecimiento. Comportamiento prácticamente neutro frente a pinturas y materiales de obturación.

3. CONCLUSIONES.

1. Los aceites Guijo BM y 3000S al no cumplir con los requisitos de homologación USDA H1 para la lubricación de máquinas y equipos de plantas productoras de alimentos y fármacos no deben ser empleados en la lubricación de los acoplamientos cuadrados de los molinos de caña de azúcar.

2. El aceite KLUBEROIL 4 UH1 – 1500 resulta un sustituto efectivo del GUIJO, por que además de cumplir con las característica y exigencias para la lubricación de los acoplamientos cuadrados son lubricante del tipo biodegradable, ecológico y no tóxico.

4. BIBLIOGRAFÍAS.

1. Álvarez Garcías, Emilio. Tribología. Fricción, desgaste y lubricación. Edición UCLV. 1996.
2. Benloch Maria, José. Lubricantes y lubricación aplicada. ISJAE. Cuba. 1985.
3. Catálogo de selección de lubricantes industriales. CUBALUB. 2000
4. Instituto de normas británicas.“Informe sobre los factores que afectan la selección de lubricantes
5. KLUBER LUBRICATION MUNCHEN KG. Catálogo para la selección de lubricantes para la industria alimentaria y farmacéutica. Edición 03.1997.
6. KLUBER LUBRICATION MUNCHEN KG. Grasas lubricantes, clasificación, selección y aplicación.
7. Martínez Tomas. Guia de lubricación. Ciencia y tecnología. Cuba. 1982
8. Okamura H, Tanaka H, y Terao H. Square box couplings in cane mill drives, part I. International Sugar Journal. Oct. 1972.
9. Okamura H, Tanaka H, y Terao H. Square box couplings in cane mill drives, part II. International Sugar Journal. Nov. 1972.

DISEÑO DE LOS COUPLINGS DE HIERRO FUNDIDO DE LOS ACOPLAMIENTOS CUADRADOS PARA MOLINOS DE CAÑA MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.

DESIGN OF THE CAST IRON SQUARE BOX COUPLING FOR SUGAR CANE MILL BY METHOD OF THE FINITE ELEMENTS.

Autor: Dr. Ing. Yamill Campos Pérez
Institución: Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas, Cuba
Dirección: Carretera a Camajuani Km 5 ½
Email: yamillc@fim.uclv.edu.cu, yamillc25@yahoo.com

Palabras claves: *Acoplamiento cuadrado, Molino de caña de azúcar, Método de los elementos finitos*
Key words: *Square Box Coupling, Sugar cane mill, Method of the finite elements*

RESUMEN
El presente trabajo tiene como objetivo realizar el estudio de las tensiones internas que se generan en los couplings de hierro fundido de los acoplamientos cuadrados para molino de caña, dada la gran responsabilidad de los mismos. Además, se obtienen las expresiones matemáticas para calcular las tensiones equivalentes, teniendo en cuenta la influencia de parámetros, como son: diámetro exterior del coupling, dimensiones del agujero cuadrado, velocidad de rotación y potencia. Para la obtención de estas expresiones se empleó el método de los elementos finitos (MEF). El análisis realizado por el MEF se hizo a partir del cálculo estático lineal, utilizando para ello el programa de computación COSMOS/M Versión 2.6. Finalmente, se realizó una estandarización de los couplings con el fin de reducir la variedad de estos.

ABSTRACT
In the present paper about the study of the internal stress that are generated in the square box couplings of cast iron for sugar cane mill, given the great responsibility of the same ones. Also, are obtained the mathematical expressions to calculate the equivalent stress, and the influence of the parameters as are: external diameter of the square box coupling, dimensions of the square hole, speed of rotation and power. For obtaining these expressions the finite elements method was used (MEF), and for it was employee the software COSMOS/M Version 2.6. Finally, was realized a standardization of the square box couplings with the purpose of reducing the variety of these.

1. INTRODUCCIÓN

La decisión del diseñador al momento de escoger los valores de los factores que influyen en un correcto diseño suele ser un tanto complicado. Los especialistas tiene la alternativa de seleccionar valores que sobredimensionen su diseño, aumentando el costo y peso del mismo, o seleccionar valores que hagan el diseño más ligero y más económico pero con más probabilidades de fallas.

Los couplings actualmente fabricados para la industria azucarera cubana, presentan como una de sus principales deficiencias el hecho de encontrarse sobredimensionados, lo cual hace que no estén cumpliendo con su función de elementos fusibles.

En este trabajo se hace un estudio de las tensiones máximas que se generan en los couplings, obteniéndose las expresiones para el cálculo de las tensiones equivalentes. Para este

análisis se realizarán los cálculos de resistencia mediante el análisis estático lineal, utilizando para ello el programa de computación COSMOS/M Versión 2.6. Finalmente, y a partir de los resultados obtenidos, se llevará a cabo una estandarización con el objetivo de reducir al mínimo posible la variedad de los couplings.

2. DESARROLLO.

Las dimensiones principales del coupling se pueden dividir en dimensiones interiores y exteriores. Las dimensiones interiores, definidas básicamente por la altura del agujero cuadrado (*Haguj*), tienen como función principal garantizar que el movimiento relativo entre los diferentes elementos se produzca sin dificultad, ésta fue determinada en función de las dimensiones del escalón cuadrado de los guijos. Las dimensiones exteriores, en cambio, deben garantizar la resistencia del coupling durante su funcionamiento.

Desde el punto de vista de las dimensiones exteriores el problema es más complejo, y es precisamente en este sentido donde existen las mayores discrepancias entre los diferentes autores, sin llegar a resolver con precisión el tema del elemento fusible.

En cuanto a la forma exterior de los couplings en la industria se han difundido dos variantes fundamentales, una completamente cilíndrica (ver figura 1-A), y la otra es una superficie cilíndrica con un escalón cuadrado intermedio (ver figura 1-B). Ambas tienen en común el diámetro exterior (*D*), considerado como el parámetro geométrico fundamental para los cálculos de resistencia.

ANÁLISIS MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.

La solución de un problema mediante la aplicación del Método de los Elementos Finitos (MEF) es un proceso que consta de una secuencia lógica de trabajo, que se puede dividir en varias etapas. A continuación se describirá el cumplimiento de cada una de estas etapas de trabajo en el análisis de los couplings.

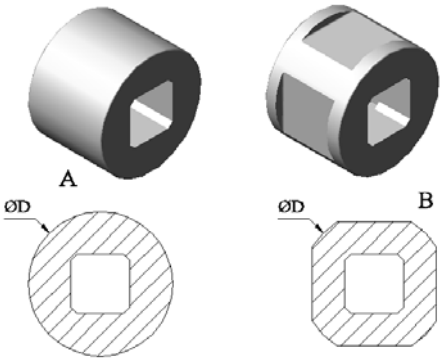


Figura 1. Forma exterior de los couplings.

2.1 Creación del modelo geométrico de la pieza a analizar

Definidas la altura del agujero cuadrado del acoplamiento (**Haguj**) y la longitud del acoplamiento (**l_{aco}**), las cuales se obtuvieron a partir de un análisis de las dimensiones de los escalones cuadrados de los guijos que se producen en el país, se tienen 8 variantes diferentes de couplings (ver tabla 1). Resta definir sus respectivos diámetros exteriores, pero este es precisamente el parámetro que se desea determinar para garantizar que los mismos ejerzan su función de elemento fusible. Por esta razón se hace necesario considerar, para este estudio, al diámetro como una variable que oscila en un rango determinado.

N^{ro} Variante	l_{esc} (mm)	h_{esc} (mm)	Haguj (mm)	l_{aco} (mm)
1	228.6	304.7	**310.4**	**360.05**
2	241.3	317.5	**323.2**	**382.27**
3	254.0	330.2	**335.9**	**404.50**
4	266.7	355.6	**361.3**	**426.72**
5	279.4	368.3	**374.0**	**448.95**
6	304.8	381.0	**386.7**	**493.40**
7	317.5	406.4	**412.1**	**515.62**
8	330.2	419.1	**424.8**	**537.85**

Tabla 1. Dimensiones de los couplings analizados del escalón cuadrado de los guijos.

Con el objetivo de simplificar el análisis resulta conveniente introducir un nuevo parámetro, que sería la verdadera variable, en lugar del diámetro, este es el espesor (*Esp*) del coupling en la dirección de la diagonal del agujero cuadrado, ver figura 2. La conveniencia radica en que la variación del espesor puede ser

considerada por igual para todas las variantes, algo que no resulta posible con el diámetro. La relación existente entre el diámetro y el espesor es:

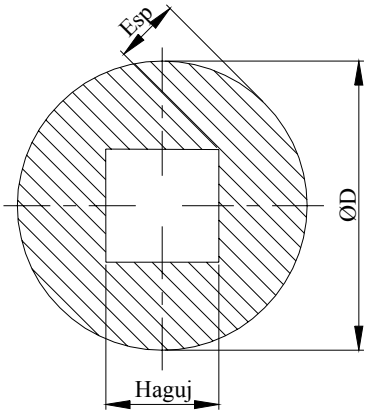


Figura 2. Dimensiones principales del coupling.

Una vez tomado el espesor como variable de referencia, se realizaron algunos cálculos de exploración que permitieron establecer el rango en que se evaluaría cada una de las variantes, éste quedó definido entre 100 y 250 mm. El análisis se realizó para cuatro valores dentro de este rango: 100, 150, 200 y 250 mm; lo que condujo a un total de 32 modelos geométricos diferentes. Las dimensiones nominales de los agujeros cuadrados de las 8 variantes analizadas se muestran en la tabla 1, así como sus longitudes.

Quedando definidas las dimensiones de los 32 modelos geométricos a analizar se procedió a la creación de los mismos, en tres dimensiones.

2.2 Definición de las propiedades mecánicas del material a utilizar

Las propiedades mecánicas, que deben introducirse en el software COSMOS/M, dependen del tipo de análisis que se va a realizar. El análisis de resistencia del coupling se corresponde con un problema estático lineal , siendo necesarias para el mismo las propiedades mecánicas que se muestran en la tabla 2,

$$D = \sqrt{2} \cdot Haguj + 2 \cdot Esp \quad (1)$$

correspondientes al hierro fundido.

Propiedad	Valor
Módulo de elasticidad E (MPa)	$1.2 \cdot 10^{5}$
Densidad del material ρ (kg/mm^3)	$7.2 \cdot 10^{-6}$
Coeficiente de Poisson ε	0.27
Aceleración de la gravedad g (m/s^2)	9.81

Tabla 2. Propiedades mecánicas del material.

2.3 Generación de la malla de elementos finitos.

Después de creado, en el COSMOS/M, el modelo geométrico se procedió a la generación de la malla, siendo la densidad de la misma o tamaño de los elementos finitos uno de los factores principales que influyen en la confiabilidad de los resultados del análisis. El método empleado para definir el tamaño de los elementos fue el cálculo del error en las tensiones, conocido también como "estudio de convergencia".

La generación de la malla se llevó a cabo por la vía paramétrica, dando la posibilidad de definir

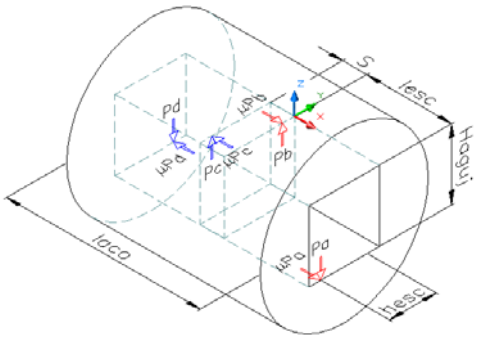


Figura 3. Diagrama del cuerpo libre.

el número de elementos en las tres direcciones (X, Y, Z). De esta forma se logró que la malla fuera más densa en la zona de aplicación de las cargas y los apoyos, lo cual influye en la precisión de los resultados. El tipo de elemento utilizado fue el sólido (SOLID), formado por 8 nodos, el cual tiene como características ser un elemento tridimensional isoparamétrico, recomendado para este tipo de análisis.

2.4 Definición de las cargas que se aplican sobre la pieza

Según estudios realizados las condiciones de trabajo más críticas de los couplings ocurren cuando la carga se transmite por dos puntos. Esto quiere decir que la carga es transmitida desde la barra intermedia al coupling únicamente a través de dos puntos de contacto, en los cuales actúa una fuerza normal a la superficie del coupling Pc y Pd, y la correspondiente fuerza de fricción que surge producto del deslizamiento entre ambos elementos μPc y μPd, ver figura 3. Desde el coupling hacia el escalón cuadrado del guijo el proceso es similar, actuando en este caso las fuerzas Pa, Pb, μPa y μPb.

A partir de la figura 3, considerando la condición de equilibrio del cuerpo libre, se plantean las siguientes expresiones.

Sumatoria de fuerzas en la dirección del eje X y Z:

$$X: \ \mu \cdot P_a + \mu \cdot P_b - \mu \cdot P_c - \mu \cdot P_d = 0 \qquad (2)$$

$$Z: \ -P_a + P_b + P_c - P_d = 0 \qquad (3)$$

Sumatoria de momentos con respecto al eje Y:

$$P_a \cdot l_{esc} + P_c \cdot S + \mu \cdot P_d \cdot Haguj - P_d \cdot (l_{aco} - l_{esc}) - \mu \cdot P_a \cdot Haguj = 0 \qquad (4)$$

Además de estas tres ecuaciones de equilibrio se puede definir la ecuación que relaciona al momento torsor (M_t) con las fuerzas P_a y P_b de la siguiente forma:

$$M_t = \frac{h_{esc}}{2} \cdot (P_a + P_b) \qquad (5)$$

De este modo se tienen cuatro ecuaciones para determinar las cuatro incógnitas P_a, P_b, P_c y P_d, cuyos resultados se obtienen después de resolver el sistema de ecuaciones y es el que se aprecia a continuación:

$$P_a = P_c = \frac{2 \cdot M_t \cdot (l_{aco} - l_{esc} - \mu \cdot Haguj)}{h_{esc} \cdot (l_{aco} - 2 \cdot \mu \cdot Haguj + S)} \qquad (6)$$

$$P_b = P_d = \frac{2 \cdot M_t \cdot (l_{esc} - \mu \cdot Haguj + S)}{h_{esc} \cdot (l_{aco} - 2 \cdot \mu \cdot Haguj + S)} \qquad (7)$$

Debe destacarse que el momento torsor no es constante para los diferentes molinos, incluso ni en aquellos que tienen las mismas dimensiones, pues esto depende de otros factores, como son: el consumo de potencia, velocidades, capacidad de molida, etc. Por esta razón se tomó la relación potencia-velocidad (Pot/n), que determina los valores del momento torsor, como variable para el cálculo. En este caso se tomaron cinco valores dentro del rango (10 ÷ 80) kW/r.p.m., en el que se encuentran los valores prácticos, debiendo repetirse cinco veces los cálculos para cada modelo geométrico, para finalmente analizar 160 modelos de cálculo diferentes.

2.5 Definición de las condiciones de contorno o apoyos.

Para la realización del análisis mediante el MEF resulta necesario definir ciertos apoyos, de manera que la posición de la pieza esté determinada en el espacio. Como es lógico, en la dirección que se coloque cada apoyo, limitando el movimiento, surgirá una reacción. Teniendo en cuenta esto y aplicándolo al caso del coupling mostrado en la figura 3, resulta evidente que deben sustituirse algunas de las cargas allí representadas por apoyos que limiten los desplazamientos en la misma dirección de dichas cargas. De esta forma surgirá una reacción igual a cada carga sustituida, y por tanto se mantiene el equilibrio del cuerpo.

La forma más lógica de proceder es dejando las cargas que genera uno de los dos elementos que se encuentran unidos a través del coupling, por

ejemplo la barra intermedia, y colocando los apoyos en los puntos de contacto del otro elemento, en este caso el escalón cuadrado del guijo. De esta manera se obtiene el modelo de cálculo que se muestra en la figura 4.

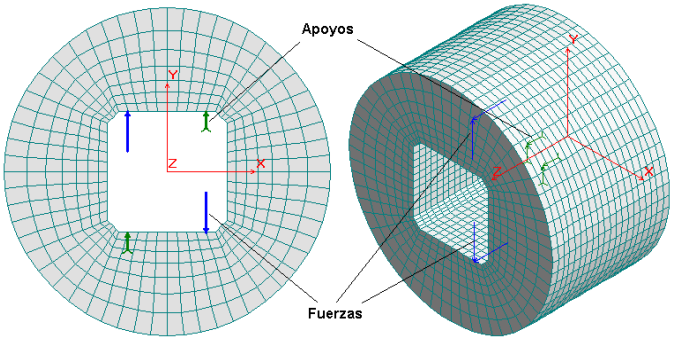


Figura 4. Modelo de cálculo del coupling.

2.6 Realización del análisis o cálculo

Como se mencionó anteriormente el análisis de resistencia del coupling corresponde a un problema estático lineal. Para resolver este problema el sistema COSMOS/M utiliza la teoría lineal de las estructuras, basada en la suposición de los desplazamientos pequeños, primeramente calcula las deformaciones y a partir de éstas las tensiones. La solución a los gigantescos sistemas de ecuaciones que se formaron en todos los casos fue hallada mediante el Direct Sparse Solver, una de las técnicas más modernas implementadas en este sistema, la cual reduce el tiempo empleado para los cálculos y ofrece resultados confiables.

2.7 Visualización y análisis de los resultados

El aspecto más importante en el estudio de resistencia del coupling lo constituye el análisis de las tensiones, que se originan debido a las cargas que actúan sobre el mismo. Comúnmente se analizan las tensiones equivalentes (σ_{equ}) por diferentes teorías de resistencia, lo cual está en dependencia fundamentalmente del tipo de material. En el caso analizado el material es hierro fundido, con un comportamiento frágil, para el cual se recomienda el empleo de la teoría de Mohr. En la figura 5 se muestra la distribución por contornos de estas tensiones en MPa, a la izquierda aparece íntegramente el coupling y a la derecha un corte que permite observar mejor el comportamiento en la zona interior.

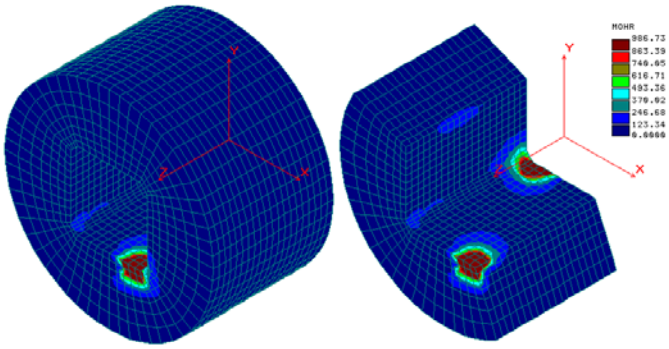


Figura 5. Tensiones equivalentes por la teoría de Mohr.

Los resultados mostrados anteriormente, y todos los que aparecen como ejemplo, se corresponden con la variante 2 de la tabla 1, un espesor de 200 mm y una relación potencia-velocidad igual a 80 kW/r.p.m. En la tabla 3 se muestran los resultados de los análisis realizados para los diferentes espesores y relación de potencia-velocidad de la variante número 2.

Espesor (mm)	**Relación potencia-velocidad de rotación (kW/r.p.m.)**				
	10	**20**	**40**	**60**	**80**
100	34.95	69.91	139.81	209.72	279.62
150	22.09	44.18	88.35	132.53	176.70
200	15.59	31.18	62.35	93.53	124.70
250	12.74	25.48	50.96	76.44	101.92

Tabla 3. Tensiones equivalentes en función del espesor y de la relación potencia-velocidad de rotación.

A partir de los resultados obtenidos para cada una de las 8 variantes, los cuales fueron procesados estadísticamente, mediante la aplicación de los softwares Curve Expert 1.3 y Stat Graphics Plus 4.1, se obtuvo el siguiente modelo matemático para el calculo de las tensiones equivalentes.

$$\sigma_{equ} = C_1 \cdot Esp^{C_2} \cdot \frac{Pot}{n} \qquad (8)$$

$$Esp = e^{\frac{\ln\left(\frac{n \cdot \sigma_{equ}}{C_1 \cdot Pot}\right)}{C_2}} \qquad (9)$$

Donde los coeficientes C_1 y C_2 se muestran en la siguientes tabla:

Variante	C_1	C_2
1	462.28	-1.049
2	*636.33*	*-1.1303*
3	876.58	-1.212
4	1218.5	-1.295
5	1396.53	-1.332
6	2126.05	-1.435
7	2526.55	-1.479
8	3569.73	-1.564

ESTANDARIZACIÓN DE LOS COUPLINGS DE HIERRO FUNDIDO.

En varias ocasiones se ha tratado por especialista del la industria azucarera disminuir la variedad de couplings que se fabrican en el país. En estos intentos de reducir la variedad de coupling no se ha tenido en cuenta una de sus funciones principales, la de actuar como elemento fusible, y en la mayoría de los casos se encuentran sobredimensionados. Con la aplicación de las expresiones obtenidas, resulta evidente que para cada molino se obtendría un coupling diferente, pues en la práctica cada uno presenta una relación potencia-velocidad de rotación diferente. De esta forma no se daría cumplimiento al ansiado y lógico anhelo de la mayoría de los especialistas: reducir la variedad de couplings, lo cual repercute además en el número de plantillas necesarias para la fabricación de los mismos.

A partir de los resultados alcanzados en el presente trabajo se propone una nueva estandarización de los couplings de hierro fundido, en la cual se tuvieron en cuenta los factores fundamentales que influyen en el correcto funcionamiento de los acoplamientos cuadrados. La idea principal consistió en determinar un solo espesor que cubriera un rango de valores de la relación potencia-velocidad de rotación, dada la pendiente pequeña de la curva que relaciona estos dos parámetros, de manera tal que con un número prudente de espesores pudiera cubrirse toda la gama de la relación mencionada. Como resultado final quedaron 8 dimensiones interiores de los agujeros cuadrados, 20 diámetros exteriores y un total de 42 couplings diferentes, los cuales se exponen en la siguiente tabla.

	Diámetro exterior (mm)	Rango Pot/n (kW/r.p.m.)
Variante 1	505	10 ÷ 14
	530	14 ÷ 20
	575	20 ÷ 30
	620	30 ÷ 42
	695	42 ÷ 61
	815	61 ÷ 80
Variante 2	530	10 ÷ 14
	555	14 ÷ 20
	595	20 ÷ 30
	655	30 ÷ 45
	735	45 ÷ 68
	845	68 ÷ 80
Variante 3	555	10 ÷ 14
	575	14 ÷ 20
	620	20 ÷ 30
	670	30 ÷ 48
	755	48 ÷ 70
	860	70 ÷ 80
Variante 4	595	10 ÷ 15
	620	15 ÷ 23
	670	23 ÷ 35
	735	35 ÷ 56
	815	56 ÷ 80

	Diámetro exterior (mm)	Rango Pot/n (kW/r.p.m.)
Variante 5	620	10 ÷ 15
	640	15 ÷ 23
	695	23 ÷ 37
	755	37 ÷ 58
	845	58 ÷ 80
Variante 6	640	10 ÷15
	670	15 ÷ 25
	720	25 ÷ 42
	785	42 ÷ 67
	885	67 ÷ 80
Variante 7	670	10 ÷ 16
	720	16 ÷ 27
	755	27 ÷ 45
	830	45 ÷ 73
	925	73 ÷ 80
Variante 8	695	10 ÷ 17
	735	17 ÷ 30
	785	30 ÷ 50
	860	50 ÷ 80

Tabla 4. Valores de los diámetros exteriores

de los couplings en función del número de la variante y la relación de potencia/velocidad.

Para la selección de un coupling según la nueva estandarización el especialista deberá seguir los siguientes pasos:

1. Verificar la altura del escalón cuadrado del guijo para determinar a cuál de las 8 variantes existentes corresponde el mismo (ver tabla 1), y de esta forma conocer la variante de coupling a utilizar, cuyas dimensiones del agujero cuadrado y longitud se obtienen también de la tabla 1 (*las ultimas dos columnas*).
2. Determinar la potencia nominal del molino y la velocidad de rotación de la maza superior, y con estos dos valores hallar la relación Pot/n.
3. Buscar con el valor de la relación Pot/n en la tabla 4 de la variante correspondiente en qué rango se encuentra, y con este rango se obtiene el diámetro exterior.

2.8 Comparación con el método tradicional.

Los especialistas de la firma SKODA han desarrollado una metodología de cálculo para estos couplings, basada en los métodos tradicionales. En este caso cabe señalar que existe un procedimiento lógico con un buen nivel ingenieril, pero los cálculos siguen siendo conservadores e imprecisos, debido a aproximaciones realizadas en la geometría del coupling y en el esquema de cargas. Por tal razón este método no garantizan la obtención del diámetro exterior del coupling con la suficiente precisión, de manera que pueda ser utilizado como elemento fusible. Para superar esta deficiencia es que se usaron las técnicas avanzadas de análisis y simulación, empleando en este caso el software COSMOS/M Versión 2.6, el cual permite realizar el cálculo de resistencia mediante la modelación por el Método de los Elementos Finitos.

A continuación se relacionan las expresiones y el esquema de carga usado por la firma SKODA para el cálculo de este tipo de acoplamiento.

$$w_t = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{A^4 - B^4}{A} \tag{10}$$

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{W_t} \tag{11}$$

$$\sigma_f = \frac{\left(M_t / x \right) \cdot \mu \cdot \frac{E}{2}}{\frac{A^4 - B^4}{6 * A}} \tag{12}$$

$$\sigma_t = \frac{M_t / x}{2 * Área} \tag{13}$$

$$\sigma_{equ} = \sqrt{\left(\sigma_t + \sigma_f\right)^2 + 4 \cdot \tau_{\max}^2} \leq [\sigma] \tag{14}$$

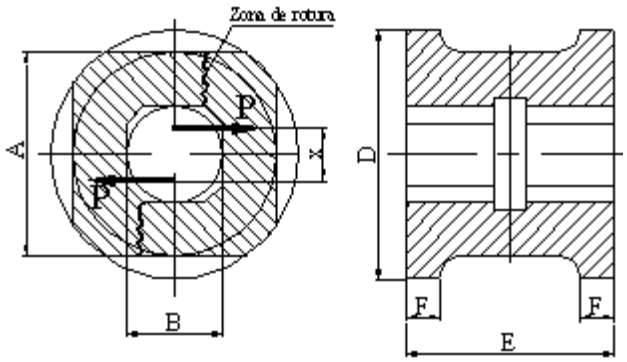


Figura 6. Esquema de carga usado por la firma SKODA.

Para establecer una comparación entre el método tradicional y el propuesto, se tomará como referencia un acoplamiento real cuyos parámetros geométricos y de resistencia son:

- Longitud del acoplamiento : 385 mm
- Altura del agujero cuadrado : 310.4 mm
- Diámetro exterior : 505 mm
- Tensión de rotura : 210 MPa

El mismo se encuentra funcionando en un molino cuya relación potencia – velocidad es de 14 KW/rpm. Al aplicar las ecuaciones de la 10 a la 14 obtuvo una tensión equivalente, en el acoplamiento, de 212.5 MPa ligeramente superior a la tensión de rotura del material con que esta fabricado el acoplamiento. Al utilizar el método propuesto (MEF) el valor obtenido de tensión equivalente es de 165 MPa, inferior a la tensión de rotura del material.

3. CONCLUSIONES.

1. Se desarrollaron las expresiones para el cálculo de las fuerzas que actúan en el coupling a partir del diagrama del cuerpo libre del mismo, lo cual resultó necesario para obtener el esquema de cargas y las condiciones de contorno del modelo de cálculo utilizado durante el análisis por el Método de los Elementos Finitos (MEF).
2. Se realizó el análisis de los couplings de hierro fundido por el Método de los Elementos Finitos, a partir de un modelo de cálculo donde se consideraron los principales factores que influyen en su resistencia. Este análisis permitió obtener las expresiones para calcular el espesor y diámetro exterior, de manera que los mismos cumplan con su función de elemento fusible.
3. Mediante los resultados alcanzados con el empleo del software COSMOS/M, y el posterior análisis estadístico, se obtuvieron las expresiones y nomogramas que permiten calcular el espesor de los couplings de hierro fundido, garantizando que éstos actúen como elemento fusible, lo cual no ha sido expuesto con anterioridad por otros autores.
4. Los métodos de cálculo reportados en la literatura no permiten obtener el diámetro exterior de los couplings con la suficiente precisión, de manera que puedan ser utilizados como elemento fusible, debido a aproximaciones realizadas en la geometría del coupling y en el esquema de cargas. Esto hizo necesario la aplicación de técnicas modernas de análisis y simulación para poder determinar este parámetro con la precisión requerida.
5. Como aplicación de los resultados obtenidos en la presente investigación se propone una nueva estandarización de los couplings que se utilizan actualmente en Cuba. Quedando finalmente un total de 42 couplings, con 8 dimensiones interiores de los agujeros cuadrados y 20 diámetros exteriores.

4. BIBLIOGRAFÍAS.

1. **COSMOS/M. Basic FEA System User Guide**. Structural Research & Analysis Corporation.
2. Hugot, E. **Handbook of Sugar Engineering**. Elsevier Science Publishers. Amsterdam. 1986.
3. MINAZ. **Manual de Operaciones de la Planta Moledora**. X Encuentro de Jefes de Maquinarias. La Habana. 1996
4. Muñoz, G. y Lewinski, I. J. **Análisis del comportamiento mecánico de un molino de caña**. Revista International Sugar Journal. Vol. 98. No. 1172. Agosto. 1996.
5. Okamura H, Tanaka H, y Terao H. **Square box couplings in cane mill drives, Part I y Part II**. International Sugar Journal, Nov. 1972.
6. Pérez Eguzquiza, F. **Nuevas Tendencias en la molida de caña en Cuba y en el mundo**. X Encuentro de Jefes de Maquinarias. La Habana. 1996
7. SKODA, **Calculo de resistencia de los diferentes componentes de un molino cañero**. Republica Checa. 1974.

EVALUACIÓN DEL CRISTALIZADOR RÁPIDO CONTINUO DEL CAI "JOSÉ MARÍA PÉREZ".

EVALUATION OF THE CONTINUOUS FAST CRYSTALLIZER OF CAI"JOSÉ MARIA PEREZ".

MSc. Ing. Loyda Díaz Chaviano*

*** Centro de Análisis de Procesos. Universidad Central Martha Abreu de Las Villas, Villa Clara, Cuba.**
*** Email: loyda@uclv.edu.cu.**

Resumen:

La medición y control del agotamiento en la fabricación de azúcar crudo es un tema muy actual en la producción de azúcar en Cuba , desde hace más de dos décadas las pérdidas de sacarosa en la miel final han tenido una tendencia ascendente, fundamentalmente en lo que respecta a su pureza . En el presente trabajo se realiza la evaluación del agotamiento en la cristalización continua por enfriamiento del CAI "José Mª Pérez" logrando medir el agotamiento como masa de sacarosa cristalizada y la velocidad de agotamiento en esta operación obteniéndose alrededor de 4000 Kg. de Sacarosa recuperada en ambos cristalizadores por templa y una velocidad de agotamiento en el orden de los 0.29 Kg/s.

Se incluye además la evaluación energética de la primera etapa de la cristalización enfriada por aire y agua para conocer los consumos de utilidades frías corroborándose que el flujo de aire coincide con datos reportados por chapa del ventilador y la masa de agua utilizada está en el rango de operación del equipo y es de 4 l/s.

Palabras claves: Cristalización, agotamiento, caída de pureza, rendimiento en cristales.

Abstract:

The measurement and control of the exhaustion in the crude sugar manufacture have been a very present subject in the sugar production in Cuba, for more than two decades the losses of saccharose in the final honey have had an ascending tendency, fundamentally with regard to its purity. In the present work is made the evaluation of the exhaustion in the continuous crystallization by cooling of the CAI"José Mª Perez" managing to measure the exhaustion as mass of crystallized saccharose and the speed of exhaustion in this operation obtaining itself around 4000 kg of Saccharose recovered in both crystallizers by distemper and a speed of exhaustion in the order of the 0,29 Kg/s. The power evaluation is included in addition to the first stage of the crystallization cooled by air and water to know the consumptions utilities you cold corroborating itself that the air flow agrees with data reported by plate of the ventilator and the used mass of water is in the rank of operation of the 4 equipment and is of l/s.

Key words: Crystallization, exhaustion, fall of purity, crystal yield.

Desarrollo:

Este trabajo consistió en realizar un análisis minucioso a las masas de agotamiento (MCC), desde el momento en que sale del recibidor hacia el cristalizador rápido continuo, después de dar punto en el tacho durante cierto tiempo, hasta la descarga del mismo en el mezclador para dar paso a la purga en las centrífugas. Para ello se tuvo en cuenta tres puntos de muestreo.

El primer punto de muestreo es a la salida del recibidor, entrada del primer cristalizador, aquí se mide la temperatura de operación de la masa cocida. Se toma una muestra de la masa y se envía al laboratorio para hacerle análisis de brix y pol, además a esta masa se le extrae el licor madre mediante filtración al vacío enviándose también al laboratorio donde se le analizan los mismos parámetros de la masa.

El punto # 2 es el paso de la masa del primer cristalizador al segundo de ellos, a esta masa se le extrajo el licor madre por el método ya mencionado y se le analizó a cada muestra el brix y la pol, y se midió la temperatura de operación de la misma.

El punto # 3 es la salida del segundo cristalizador al mezclador, en este punto como en los demás se tomaron muestras de masa cocida y se le realizó análisis de brix y pol a cada una de ellas. En este punto se midió temperatura de operación de la masa.

Para la evaluación del agotamiento en el sistema de cristalización por enfriamiento del CAI "José Mª Pérez" se prosiguió según la metodología planteada por Carrazana (Carrazana Ruiz, L.)(1998), que sigue los siguientes pasos:

1. Definir puntos de muestreo .
2. Obtención de los datos experimentales .
3. Procedimiento de calculo:

a-) Determinación de la masa de masa a la entrada del primer cristalizador y masa de miel de lubricación (mM1 y mml).

$mM1 = VT * dM(BM)$ $\qquad$ $mml = Vml * dml(Bml)$

b-) Determinación del rendimiento en cristales (RCr).

$RCr = [(ZM - ZL) / (100 - ZL)] * Bm$

c-) Determinación de masa de cristales (mCR).

$mCr = RCr * mM/100$

d-) Determinación de la masa de licor (mL).

$mL = mM - mCR$

e-) Determinación de la masa de agua evaporada (mAev).

$mAev = [(BLsal - BLent) / BLsal] * mL$

f-) Determinación de la masa de sacarosa a la entrada del segundo cristalizador (mM2).

$mM2 = mM1 + mml - mAe1.$

g-) Determinación de la masa de sacarosa recuperada (Ycr).

$Ycr = mCrsal - mCrent$

h-) Determinación de la masa recuperada en el sistema (Ycrsist).

$Ycrsistema = Ycr1er\ cris - Ycr2docris$

i-) Determinación de la velocidad de agotamiento (vAg).

$vAg = Ycr / tcr$

j-) Determinación del porciento de agotamiento (% agot).

$\%agot = Ycr / Ycrsist$

k-) Determinacion de la caída de pureza (ΔZ).

$\Delta Z = ZLentrada – Zlsalida$

Ejemplo de calculo #1. Balance de masa:

DATOS

Masa cocida

BM1= 94.39 BM2= 94.20 BM3 = 95.02 ΠM1= 1500

ZM1= 62.30 ZM2= 62.30 ZM3 = 62.30

Licor Madre

BL1 = 91.13 BL2= 91.90 BL3= 92.13

ZL1 = 42.19 ZL2= 41.33 ZL3= 38.27

Miel de lubricación

Bml = 75 Vml= 2.83 dml = 1.378 Zml= 35.5

Aire TG8m = 27 TG9m = 39.55

Se toma como base una templa y tiempo de cristalización 4 horas

Tcr = 4 Π = 1500 ft^3 VT = Π M1 / 35.33 ft^3/m^3 = 42.480 m^3

Punto # 1:

DS(B)= 0.97695· e ˆ 0.00459B ·1000 · kg/m^3 mm1= 3901 kg.

Dm1 = ds(BM1) mM1= VT·dM1=6.4

Rcr1= [(ZM1- ZL1)/(100-ZL1)]·BM1 = 32 mCr1= mM1·RCr1/100 = 2.1

ML1= mM1- mCr1 = 4.2 mAev1ercris= [(BL2-BL1)/BL2]·mL1 = 360

Punto # 2:

mM2= mM1+mm1+ MAev1ercris = 6.8

Rcr2= [(ZM2- ZL2)/(100-ZL2)]·BM2 = 33 mCr2= mM2·RCr2/100 = 2.2

ML2= mM2- mCr2 = 4.5 mAev2edocris= [(BL3-BL1)/BL2]·mL2 = 113

Punto # 3:

mM3= mM2 – mAev2docris = 6.8

Rcr3= [(ZM3- ZL3)/(100-ZL3)]·BM3 = 36 mCr3= mM3·RCr3/100 = 2.5

ML3= mM3- mCr3 = 4.2

Cálculo de la masa de sacarosa cristalizada expresada en kg.

Ycr1ercris= mCr2-mCr1=1.9 Ycr2docris= mCr3-mCr2=2.2

YcrTot= mCr3-mCr1= 4.1

Cálculo de la velocidad de agotamiento expresada en kg/seg.

vAg1ercris= Ycr1ercris/tcrhr = 0.137 kg/seg.

vag2docris= Ycr2docris/4hr = 0.154 kg/seg.

VAgTot= YcrTot/4hr = 0.291 kg/seg.

Cálculo del porciento de agotamiento :

%Agot1ercris=100·Ycr1ercris/YcrTot = 46

%Agot2docris=100·Ycr2docris/YcrTot = 53

Cálculo de la caída de pureza:

ΔZ1ercris= ZL1-ZL2 = 0.8 ΔZ2= ZL2-ZL3 = 3.0

ΔZTot= ZL1-ZL3 = 3.9

Ejemplo de calculo #2 . Balance de Energía:

Estos cálculos se realizan con el objetivo de obtener la masa de agua que se necesita para el enfriamiento en el primer cristalizador. Este equipo trabaja a presión atmosférica y se midió para esto las temperaturas de entrada y salida de la masa , el agua y el aire.

En este ejemplo de calculo se expresan:

masa: kg / segundo entalpía: j / kg temperatura: oC cpA: j / kg oC

DATOS

MM1=4.445 mM2= 4.76 HM1= 165500 (Centro-azúcar)(1985)

HM2=78190

Bm1=75 (Hugot)
MAev1ercris=0.025 mm1=0.271 Ycr1ercris= 0.0001367
Hm1= 182300 TA4m= 28.95 TA7m=48.5 cpA=4180
ΔHcr= 62700 Esta etapa de cristalización es un proceso exotérmico. (International Sugar Journal, 1985).

Para este balance de energía se necesita de los Kg. de aire utilizados para el enfriamiento en el primer cristalizador para ello se hicieron mediciones de temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo a la entrada y la salida del mismo utilizándose la carta psicrométrica para aire-vapor de agua, 1 atm std abs. , en unidades SI, puesto que este cristalizador trabaja a presión atmosférica.
Se realizaron 5 mediciones de cada temperatura a la entrada y a la salida del primer cristalizador, para cada corrida de estas se obtuvo kg vapor de agua / kg aire seco, la entalpía del aire y el volumen húmedo a cada uno de estos valores se les hallo la media y se prosiguió a determinar.
Ygem = 0.0152 kg vapor agua / kg aire [Valor medio de humedad absoluta a la entrada]
YGsm = 0.0646 kg vapor agua /kg aire [Valor medio de humedad absoluta a la salida]
ΔY=YGsm-Ygem = 0.049 kg v a / kg a s [Diferencia de humedad absoluta]

Entrada	Salida
mG8seco =mAev1ercri / 0.049= 0.5	mG9seco =mAev1ercri / 0.049 = 0.5
mG8hum =mG8seco(1+YGem)	mG8hum = 0.5
mG9hum =mG9seco(1+YGsm)	mG9hum = 0.5

Para comprobar el flujo de aire que entra y sale del cristalizador hay que entrar a la carta psicrométrica y leer según las cinco corridas de condiciones de entrada y salida del aire, el volumen húmedo expresado en m^3/ kgas. y obtener las medias de estos. Luego se multiplican los m^3 / seg por 35.5 y se obtiene el resultado en pie ^{3}
vh: volumen húmedo (m^3 / kgas).
Si se multiplican los kg de aire por 35.5 este resultado dará en pie^3/kg.

vh8m = 0.88 m^3 / Kg	vh9m = 0.952 m^3 / Kg
mG8humm= mG8hum(kg/sec)·vh8rr	mG9humm= mG9hum(kg/sec)·vh9rr
mG8humm = 0.4	mG9humm = 0.5

Las masas de aire húmedo siguientes están expresadas en pie^3 / segundos.
mG8hump= mG8humm35.5mG9hump= mG9humm35.5
mG8hump= 16· mG9hump = 18
mG8seco= 0.5mG9seco = 0.5
mHMe= mM1·HM1
mGHGseco= mG8secoHGe8m
Estos calores están expresados en j / s.
Qe= (mHMe + mG8secoHGe8m + mm1HM1) Qge= Ycr1ercris ΔHcr
Qs= mM2HM2 + (mG8seco)·HGs9m
MA = [(Qe+Qge)·0.96 - Qs]/ [cpA·(TA7m- TA4m)] = 4.3 (expresada en kg / seg).
MA = 4.0 (expresada en litros/seg).
Esta masa de agua expresada en kg/seg. se convierte en litros/segundo y da como resultado 4.0 l/seg., esto se corresponde con datos suministrados por especialistas del CAI.

Conclusiones:

Después de los análisis experimentales realizados, el procesamiento de los datos obtenidos en el CAI. y los cálculos de balances de materiales y energía correspondientes se arribó a las siguientes conclusiones:

1. El rendimiento en cristales en cada punto de muestreo analizado es bueno y va aumentando a medida que ocurre el proceso de agotamiento. Se recupera más sacarosa en el primer cristalizador (con enfriamiento por aire – agua), recuperándose en el sistema total 4300 kg de sacarosa por templa.

El coeficiente de variación de la masa recuperada demuestra que hay poca estabilidad de la misma en el proceso.

2. A medida que aumentan los kilogramos de sacarosa recuperada aumenta la velocidad de agotamiento en el sistema como en el orden de los 0.295 kg/s. Su coeficiente de variación demuestra que hay estabilidad de la velocidad en el proceso.

3. La caída de pureza del licor está en el rango establecido entre 2 – 5 unidades. Tomando como referencia el valor medio de ellas en cada punto, se determina que hay mayor caída en el primer cristalizador.

4. La masa de agua necesaria para el enfriamiento aire–agua, expresada en kg/s, sobre la base de 4h de operación está en el orden de 4.498 litros/seg. valor que coincide con el establecido para esta etapa. Además se obtuvo el flujo de aire que se utiliza para esta etapa, corroborándose que está en el rango establecido por chapa del ventilador.

Bibliografía:

1. Carrazana, L.: "Metodología para la evaluación de la cristalización por enfriamiento y de las centrífugas continuas en la industria azucarera cuban." Centro-azúcar, Cuba, 1, pg (14-23), 1998.
2. Carrazana, L.; Abreu, S.:"Determinación de la influencia de la sobresaturación sobre la velocidad de dilución de los cristales de azúcar". Centro-Azúcar, Cuba, 3, 1990.
3. Carrazana, L.;.: "Agotamiento en tachos y cristalizadores". Centro-azúcar, Cuba, 3, pg 9, 1998.
4. Carrazana, L.R.:"Determinación de la influencia de la sobresaturación sobre la velocidad de cristalización de azúcar". Centro-Azúcar, 3, pg (12-13), 1990.
5. Gallardo, J.; Alemán, R.; Valdés, N.:"Cristalización por agotamiento. Un estudio bibliográfico". Centro-Azúcar, Cuba,2, pg (65-76), 1980.
6. Gozá, O.: "Determinación de las entalpías para masas cocidas", International Sugar Journal, volumen # 1, 1985.
7. Guillet, E.: "Cristalización de azúcar de agotamiento". Ed. Universitaria, La Habana, Cuba, 1962.
8. Haus, J.; Navarro, E.:"Sexto seminario nacional para Jefes de Fabricación Purificación y Agotamiento". CNCA, Cuba, 1989.
9. Hernández, R.; Gutiérrez, G.; Muro, N.:"Estudio comparativo del agotamiento de mieles en tachos y cristalizadores con condiciones adversas de materia prima II". Centro-Azúcar, 1, 1998.
10. Internatinal Sugar Journal, Abril, 1998.
11. Moritsugo, T.: "International Sugar Journal", 6,1996.

Leyenda :

M: Masa. A: Agua. G: Aire.
L: Licor Madre. C: Cristales.
P: Pol (%). B: Brix (% sólidos). Z: Pureza (%).
R: Rendimiento en cristales (%).
mM: masa (kg) V : Volumen de la masa cocida (m3).
Π : Volumen de la masa cocida (pie3).
tcr: Tiempo de residencia o de cristalización (h).
TGm: Temp. Media del aire. TAm: Temperatura media del agua (oC).
dS: Densidad (kg / m3). cpA: Calor específico del agua (j /kg oC).
H: Entalpía (j / kg).
vAgcr: Velocidad de agotamiento en el cristalizador (kg / seg.).
Ycr: Masa de sacarosa cristalizada (kg sacarosa).
mAev: Masa de agua evaporada (kg).
%Agot: Porciento de agotamiento.

Z: Caída de pureza .

Tabla I: Masa de agua evaporada en el primer y segundo cristalizador y masa de sacarosa recuperada en los puntos 1,2,3:

# corrida	*MAev1 (kg)*	*MAev2 (kg)*	*Ycr1 (kg)*	*Ycr2 (kg)*	*YcrTot (Kg)*	*VAg1 (kg/s)*	*Vag2 (kg/s)*	*VAgTot (kg/s)*
1	360.2	11.9	1969	2201	3927	0.1199	0.1528	0.2727
2	575.8	51.91	2579	1478	4057	0.1791	0.1026	0.2818
3	573.6	73.63	4533	756.1	5289	0.3148	0.0525	0.3673
4	600.3	97.88	280.5	1830	4635	0.1948	0.1271	0.3219
5	286.2	120.0	2488	537.4	3025	0.1728	0.0373	0.2101
6	407.5	183.0	3737	186.1	3923	0.2595	0.0129	0.2724
7	562.1	130.7	2855	1774	4628	0.1982	0.1232	0.3214
8	418.2	335.2	1839	928.9	2768	0.1277	0.0645	0.1922
9	663.8	126.4	4305	1627	5933	0.2990	0.1130	0.4120
10	631.5	108.2	4104	368.0	4472	0.2850	0.0255	0.3106
11	529.5	71.82	4739	250.6	4990	0.3291	0.0174	0.3465
12	489.6	235.7	3981	593.6	4574	0.2764	0.0412	0.3177
13	574.4	144.9	2428	2039	4467	0.1686	0.1416	0.3102
14	293.2	88.34	3555	1048	4603	0.2469	0.0727	0.3196
15	447.5	170.9	2379	984.1	3363	0.1656	0.0683	0.2335
X media	494.23	136.69	3204	1107	4300	0.2220	0.2990	0.2950
S	115.84	70.07	954.74	649.9	806.38	0.0660	0.0560	0.0560
Cv	23.439	51.262	29.803	58.695	18.709	18.729	18.709	18.700

Tabla II: Porciento de Agotamiento y caída de pureza en el licor:

# corrida	*% Agota 1*	*% Agota 2*	*ΔZ1 (%)*	*ΔZ2 (%)*	*ΔZ Tot (%)*
1	0.4396	0.5604	0.86	3.06	3.92
2	0.6358	0.3642	2.52	2.26	4.78
3	0.8570	0.1430	5.12	1.06	6.18
4	0.6052	0.3948	2.50	2.60	5.10
5	0.8224	0.1776	2.19	0.82	3.01
6	0.9526	0.0474	3.78	0.19	3.97
7	0.6168	0.3832	2.42	2.59	5.01
8	0.6644	0.3356	1.08	1.40	2.48
9	0.7257	0.2743	5.26	2.71	7.97
10	0.9177	0.0822	4.81	0.47	5.28
11	0.9498	0.0502	4.96	0.28	5.24
12	0.8702	0.1298	3.95	0.91	4.86
13	0.5435	0.4565	1.68	2.98	4.66
14	0.7724	0.2276	3.37	1.64	5.01
15	0.7073	0.2927	2.06	1.42	3.48
X media	0.739	0.261	3.104	1.626	4.73
S	0.150	0.150	1.428	0.971	1.273

Cv	20.361	57.557	45.992	59.693	57.56

EL TRATAMIENTO MAGNÉTICO EN LA PURIFICACIÓN DE LICORES

Carlos M. Acea Fiallo

Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría"
Facultad de Ingeniería Química
acea@quimica.cujae.edu.cu

Resumen:

La industria azucarera, al igual que otras, recibe las exigencias actuales del mercado en lo referido a calidad. Por tal motivo, en los últimos tiempos se han venido desarrollando y perfeccionando diferentes tecnologías, las que en mayor o en menor medida logran remover significativas cantidades de las impurezas que influyen en la calidad del producto final, siempre superiores a lo que se logra por la vía tradicional.
Todas estas innovaciones tienen un inconveniente económico, requieren de la instalación de equipamientos nuevos, lo que implica inversiones de altos costos.
En este trabajo se propone el empleo de la técnica del tratamiento magnético, como tecnología complementaria, en el proceso de purificación de licores en las refinerías de azúcar de caña.
Esta propuesta se fundamenta en la reducción del color que se aprecia en los licores crudos posterior a la acción del campo magnético sobre el flujo de estos, donde es posible que la remoción sea hasta de un 40% aproximadamente para un adecuado ajuste del régimen de tratamiento.

Palabras claves: Tratamiento Magnético. Purificación de licores. Remoción de color.

MAGNETIC TREATMENT IN LIQUOR PURIFICATION

Abstract:

The sugar, the same as other industry, receives the current demands of the market in that referred to quality. For such a reason, in the last times have come developing and perfecting different technologies, those that in bigger or in smaller measure they are able to always remove significant quantities of the impurities that influence in the quality of the sugar, superiors to what is achieved by the traditional way.
All these innovations have an economic inconvenience, they require of the installation of new equipment, what implies investments of high costs.
This paper intends the employment of the technique of the magnetic treatment, as a complementary technology, in the process of purification of liquors in the refineries of sugar cane.
This proposal is based in the reduction of the color that is appreciated in the raw liquors after the action of the magnetic field on the flow of these, where it is possible that the removal of color achieves 40% approximately for an appropriate adjustment of the treatment régime.

Keywords: Magnetic Treatment. Liquor purification. Removal of color.

INTRODUCCIÓN

Resulta indispensable para la industria azucarera la elevación de la calidad de su primer producto, el azúcar. Obviamente, las mayores exigencias estarán dirigidas hacia el azúcar refino, industria para la cual la remoción de color constituye el objetivo fundamental, siendo el color el factor de control que mayor atención requiere como plantea Burke (1999).

La refinería de azúcar es una industria dedicada, esencialmente, a la purificación de la sacarosa, la que está organizada de forma tal que predominan las operaciones que en mayor o en menor medida, garantizan la separación de las impurezas que atentan contra la calidad. Sin embargo, todos los procesos establecidos son altos consumidores de energía y agua, lo que implica un elevado costo de producción.

El reto que enfrenta esta industria tiene características bien definidas, la reducción de los costos y la elevación de la calidad del azúcar refino. Para resolver esta situación, en el mundo de la producción de azúcar blanco, en los últimos años han sido introducidos varios cambios, los que constituyen un número de nuevos procesos que incluyen innovaciones en los pasos tecnológicos. Entre los de mayor potencial se destacan la filtración a través de membranas, el intercambio iónico, la ultrafiltración y la separación cromatográfica según resume Godshall (1999), siempre precedidos por pretratamientos tales como la centrifugación de los licores.

Otros esfuerzos han sido dirigidos a la elevación de la calidad del azúcar crudo, que es la materia prima de esta industria, y a la comprensión de la naturaleza de las impurezas presentes en ella. La primera ha permitido la eliminación de la operación de afinación, lo cual no está exento de inconvenientes a partir de lo expresado por Godshall (1987) y Chou (1981).

Parece que lo más adecuado es la última opción planteada, pues se posibilita un enfrentamiento de alta selectividad.

Todas las innovaciones antes mencionadas son tecnologías que requieren de inversiones costosas para poder ser introducidas en la industria.

En este trabajo se presentan los resultados de experimentos realizados en una refinería que no realiza la operación de afinación y mantiene la tecnología de fosflotación con aditivos químicos.

En esta industria se empleó el campo magnético como pre-tratamiento, lo que permite para condiciones adecuadas de aplicación de esta tecnología una remoción que alcanza hasta el 40% aproximadamente del color presente en el licor crudo.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Para la experimentación, se instaló un electromagnetizador exterior sobre la línea de licor crudo, alimentado por corriente rectificada y filtrada, para facilitar la regulación del valor de inducción magnética en un intervalo comprendido entre 0.05 y 0.2 T. Mientras el flujo de licor permaneció en 20 m^3/h.

Se tomaron muestras de licor crudo antes y posterior al magnetizador. En todas las muestras se efectuó la medición de color siguiendo el método ICUMSA.

Cada uno de los valores que se muestran en la tabla corresponde al valor medio de la medición de color en cinco muestras sometidas a las mismas condiciones de tratamiento.

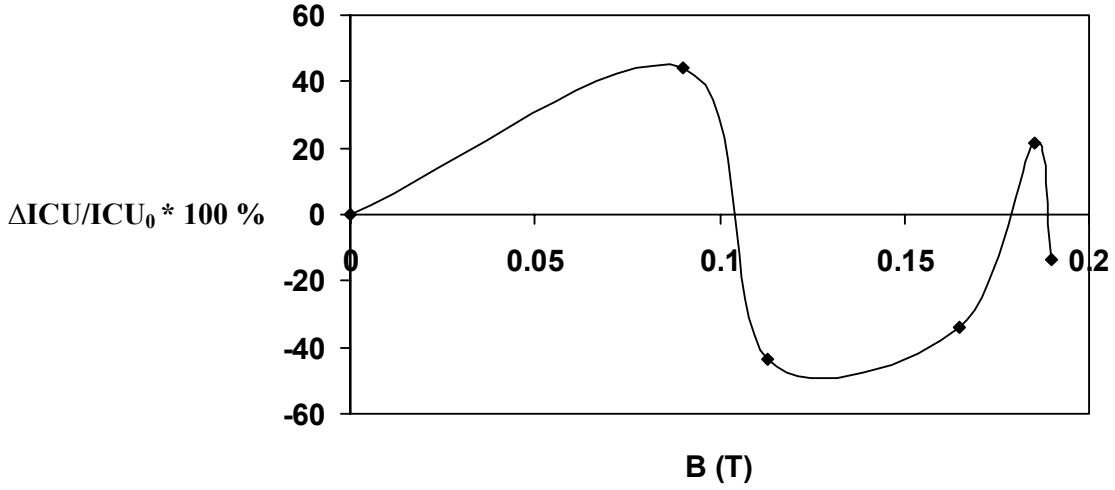
Tabla I. Variación del color por la acción del campo magnético

B (T)	ICU	$\Delta ICU/ICU_0 \cdot 100$
0	1162.86	0
0.09	1673.37	43.9
0.113	643.27	-43.68
0.165	765.34	-34.18
0.185	1413.8	21.58
0.19	1007.37	-13.34

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los datos mostrados demuestran que por la acción del campo magnético sobre los licores crudos es posible influir en el color de los mismos, tanto en el sentido de favorecer la decoloración de estos como en el contrario, presentando en todos los casos variaciones significativas.
Este resultado, en el cual se observa como el color de los licores varía en diferentes magnitudes, según el valor de la inducción magnética, tiene un comportamiento poliextremal, aspecto característico de este tipo de tratamiento físico, lo cual corrobora la alta selectividad del tratamiento magnético.

Fig. 1. Por ciento de remoción de color por la acción del campo magnético



Un efecto como el que se aprecia (fig. 1) debe estar relacionado con un cambio energético en el sistema disperso, lo que se manifiesta a través de una variación de la estabilidad del sistema coloidal, que en unos casos provoca la coagulación debido a la desestabilización de los coloides y en otros la peptización gracias a la estabilización de estos, tal como lo reportó Klassen (1978).
Del análisis, se puede inferir que resulta indispensable la realización de un ajuste del régimen de tratamiento magnético para lograr los objetivos relacionados con la decoloración.
Hablando de refinerías de azúcar, donde el objetivo fundamental es la purificación de la sacarosa, el empleo de esta tecnología podría tener gran aceptación si se analiza no sólo las ventajas tecnológicas, pues también resulta estimulante el aspecto económico.
Supongamos una refinería cualquiera en la que se realice la operación de afinación, con lo cual se garantiza una remoción de color entre 50 y 65% en correspondencia con los estudios de Díaz (1986), Posada (1987) y Chou (2000), la aplicación del tratamiento magnético sobre el licor crudo pudiera producir que el color remante se encuentre entre 14 y 20 % . En el caso que la operación de afinación se haya omitido, en dependencia del color inicial, este se puede reducir prácticamente al mismo nivel de la operación omitida, lo que junto al bajo color debe facilitar la etapa de purificación, independientemente de la tecnología que se emplee.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el resultado y el análisis realizado, de este trabajo se puede concluir:

1. El tratamiento magnético influye en la estabilidad del sistema disperso (licor crudo).
2. Para lograr que el tratamiento magnético favorezca la decoloración de los licores es necesario el ajuste del régimen de tratamiento.

3. El tratamiento magnético tiene grandes posibilidades como tecnología complementaria en las refinerías de azúcar.

RECOMENDACIONES

Profundizar en las causas de los cambios químico – físicos que se producen en el licor, que provocan el efecto observado.

REFERENCIAS

- Burke, TR Jr. (1999), SPRI, pp. 16-18
- Godshall, M. A. (1999), SPRI, pp. 20-39
- Godshall M. A. (1987), Procceding Sugar Industry Technologists 46, pp.193-211
- Chou C. C. (1981), Procceding 1980 Technical Session Cane Sugar Refining Research, pp. 1-25
- Klassen, V. I. (!978), Magnetización del agua. Técnica, Kiev.
- Díaz, E. P. (1986), Tecnología Azucarera II. 1ra Parte. ISPJAE. Ciudad de la Habana.
- Posada, E. D. (1987) Tecnología de la producción azucarera. ISPJAE. Ciudad de la Habana.
- Chou, C. C. (2000) Handbook of Sugar Refining (Chou, C. C. ed.). John Wiley & Sons Inc., USA.

EL USO DE LOS POLIMEROS EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

THE USE OF POLYMERS IN THE INDUSTRIAL MAINTENANCE

Ing. Francisco Diez Torres.
Lic. Andrés Gómez Estévez

ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar)
Email: fdiez@icidca.edu.cu
agomez@icidca.edu.cu

RESUMEN
El presente trabajo resume de forma escueta las técnicas de recuperación de piezas más utilizadas en el mantenimiento industrial, exponiéndose de manera más amplia el trabajo de recuperación con polímeros, tecnología que cobra cada día mayor importancia gracias a sus ventajas.

ABSTRACT
The present paper summarize the most used techniques of spare parts recovering in the industrial maintenance. It is exposed in a wide manner the recovering work with polymers, that win more importance every day due to it`s advantages.

INTRODUCCION
El desarrollo de la industria moderna, caracterizada por el uso de complejas tecnologías, altos niveles de producción, altos niveles de automatización y por tanto la utilización de equipos complejos y sofisticados, ha requerido del desarrollo de técnicas y sistemas de mantenimiento que permitan disminuir las paradas por roturas en plena producción y los gastos ocasionados por el mantenimiento que antiguamente invertía grandes sumas debido fundamentalmente al desarme de equipos y al intercambio de piezas rotas o desgastadas por otras nuevas. ***Grupo Científico Técnico de Recuperación de Piezas* (1993).**
Tanto el desarrollo industrial como el de nuevas técnicas de mantenimiento han traído como consecuencia el desarrollo y empleo de nuevos materiales de extrema calidad y resistencia, diseñados para las nuevas condiciones de trabajo que se le imponen, tanto para la fabricación de piezas y partes de equipos y máquinas, como para las novedosas técnicas de recuperación de piezas utilizadas en el mantenimiento correctivo. ***K. Fiedrich* (1993, 1995), *Gómez y colab*. (1993), *Diez y Colab*. (2000, 2001)**
Entre los materiales cuya utilización se ha expandido en los últimos años, se encuentran los polímeros, que han traído múltiples ventajas entre las que se destacan, que han permitido una disminución de peso considerable en piezas y máquinas y el desarrollo de técnicas de mantenimiento y recuperación muy económicas. ***Colectivo de Autores* (1992 al 2003), *Catálogos Comerciales.***
En el presente trabajo se describen los materiales poliméricos más utilizados, así como los tipos de mantenimientos en que son utilizados.

TECNICAS DE MANTENIMIENTO Y RECUPERACION DE PIEZAS
Son múltiples las técnicas de mantenimiento y recuperación que han sido desarrolladas con el afán de aumentar el tiempo de vida útil de las piezas y partes de máquinas y equipos. Entre las más destacadas podemos nombrar las siguientes: ***Grupo Científico Técnico de Recuperación de Piezas* (1993).**

- **Soldadura eléctrica**
- **Recargue duro por soldadura eléctrica**
- **Proyección térmica o rociado térmico**
- **Recubrimientos galvánicos**

- **Deformación plástica**
- **Fundición**
- **Polímeros**

De éstos los más utilizados en la actualidad son los métodos de soldadura, recargue duro por soldadura, proyección o rociado térmico y extendiéndose cada vez con mayor fuerza, los polímeros, debido fundamentalmente a la facilidad de su aplicación en la que no se requiere de mano de obra calificada y a la actual gama de materiales compuestos desarrollados para múltiples casos. En menor medida son utilizados en la actualidad los métodos galvánicos, la deformación plástica y la fundición.

La soldadura eléctrica y el recargue duro por soldadura eléctrica, son utilizados para recuperar partes perdidas de piezas por desgaste o por impactos y proveer a la superficie recuperada de las características necesarias para que resista las condiciones a las que es sometida, combinando una con la otra.

El recargue duro se utiliza para brindar sobre todo resistencia al desgaste mecánico (abrasión de alto o bajo esfuerzo, erosión, rozamiento, etc.), con aleaciones metálicas desarrolladas para éste método con la que pueden obtenerse carburos metálicos en el metal depositado dispuestos en diferente forma dentro de la matriz metálica con diferentes morfologías y concentraciones, lo que brinda una alta resistencia. Se obtienen espesores grandes y tiene como principales desventajas, primero, que al trabajar con altas temperaturas (temperaturas de fusión de los metales) no puede ser utilizado en casos donde las deformaciones o pérdidas de alguna dimensión, no sean permitidas, aplicándose en piezas muy robustas o esbeltas, donde las deformaciones puedan ser eliminadas y además de requerir de mano de obra calificada, consumo de energía eléctrica y en ocasiones necesitar de operaciones posteriores como tratamientos térmicos y maquinado que en el caso de los metales de aportación para desgaste se complica debido a la dureza de éstos. ***Instituto Eutectic + Castolin* (1985)**

La proyección o rociado térmico, consiste en la proyección contra la superficie a recuperar de aleaciones metálicas de bajo punto de fusión (eutécticas) por flama oxiacetilénica de alta presión con antorchas o pistolas especiales diseñadas para éste tipo de operación. Han sido desarrollados dos métodos, el método en frío y el método en caliente, que se diferencian por las temperaturas de trabajo. El método en caliente se utiliza al igual que la soldadura eléctrica y el recargue duro por soldadura en casos de piezas robustas o esbeltas debido a que después de proyectado el metal sobre la superficie y adherido a ésta, se funde a base de calor de flama en una segunda operación inmediata a la primera (las temperaturas son menores que las alcanzadas en la soldadura eléctrica). El método en frío, se utiliza en piezas de menor esbeltez o robustez, debido a que las temperaturas son mucho menores utilizándose aleaciones de muy bajo punto de fusión desarrolladas para éste método, pero necesita de una preparación superficial por maquinado para asegurar la adherencia de la capa de metal blando depositada sobre la superficie por proyección. ***Instituto Eutectic + Castolin* (1985)**

Ambos métodos se utilizan para brindar a las piezas las dimensiones perdidas y para proveerlas de recubrimientos resistentes al desgaste y la corrosión. Los recubrimientos obtenidos por éstos métodos pueden ser metálicos, metálico-cerámicos, cerámicos o poliméricos. Los espesores obtenidos son menores que en el caso de la soldadura eléctrica.

Como ventajas sobre el método anterior se pueden mencionar la gran gama de recubrimientos posibles de obtener, y temperaturas de trabajo mucho menores sobre todo en el caso del método en frío. Como desventajas sobresalen, la necesidad de mano de obra calificada, mayores costos de materiales y de equipos y accesorios, así como el consumo de oxígeno y acetileno.

Los recubrimientos galvánicos, se utilizan como recubrimiento final pues al ser los espesores obtenidos del orden de los micrones (milésimas de milímetros), no pueden ser utilizados en la recuperación de partes perdidas en las piezas. Los recubrimientos pueden ser resistentes a la corrosión y al desgaste mecánico (principalmente por fricción).

Se destacan, el niquelado, el cromado (como recubrimiento posterior al niquelado o como cromado duro), el zincado, el cadmiado y otros. ***Grupo Científico Técnico de Recuperación de Piezas* (1993).**

MANTENIMIENTO CON POLIMEROS

Sus antecedentes datan de la década de los años 50 cuando comenzó a expandirse el uso de los polímeros en la construcción de piezas, aunque realmente en casos de pobre solicitación o requerimientos desde el punto de vista de resistencia, como algunos sistemas de engranajes, carcazas y cuerpos de equipos electrodomésticos, etc., con la consiguiente disminución del peso de éstos y de los costos de producción.
Es también durante ésta década que se comienzan las investigaciones y pequeñas producciones de los primeros compuestos poliméricos diseñados para el mantenimiento y la recuperación de piezas por parte de empresas que hoy día son fuertes productores de éstos tipos de materiales, como por ejemplo ´´***Belzona Molecular***´´ y otros.
Los polímeros son mas ampliamente utilizados (inclusive en la actualidad), en la construcción de piezas de poca responsabilidad y de pobre solicitación mecánica, en las que los favorece su poco peso y bajos costos de producción, así como en recubrimientos protectores contra la corrosión, la intemperie y recubrimientos y rellenos encapsulantes o aislantes de la corriente eléctrica.
No obstante, en las últimas décadas se han desarrollado un sinnúmero de nuevos materiales poliméricos que han sido utilizados satisfactoriamente en la construcción de disímiles piezas y partes de máquinas, así como se ha propagado el uso de compuestos poliméricos de alta resistencia. Los polímeros y las composiciones poliméricas se utilizan en la actualidad tanto en la construcción de piezas nuevas como para el mantenimiento, fundamentalmente el correctivo, aunque se han desarrollado resinas para evaluación de fallas y secciones de las piezas con posibilidades de fallar, así como para el estudio de los mecanismos de fracturas, sin que la pieza llegue a la rotura. Estas últimas se utilizan en el mantenimiento predictivo como un método de ensayo no destructivo o durante el mantenimiento correctivo y la investigación.
Tanto en la construcción de piezas como en la recuperación, las matrices poliméricas son usadas fundamentalmente como base de materiales compuestos, mezclándose con diferentes tipos de rellenos y aditivos que son los que contribuyen a que dichas matrices obtengan las propiedades necesarias. Los rellenos pueden ser fibras o polvos. Los aditivos son por lo general compuestos líquidos o no, que pasan a formar parte de la matriz, como pueden ser plastificantes, retardadores o aceleradores de curado, espesantes, dispersantes, gelificantes y otros.
Las fibras pueden ser naturales o sintéticas. Las más utilizadas para las composiciones de mantenimiento son las sintéticas, entre las que se destacan las de vidrio, carbón, grafito, ´´kevlar´´, etc. Los polvos pueden ser metálicos, cerámicos, minerales y sintéticos, utilizándose en diferentes granulometrías, siendo los más usados los polvos metálicos de aluminio, bronce y hierro (fundiciones de hierro), así como aleaciones de éstos, cerámicos como carburos y óxidos metálicos, minerales como el hierro mineral, el basalto y otros y sintéticos como por ejemplo polímeros en polvo o partículas pequeñas, entre los que es muy utilizado el PTFE (debido fundamentalmente a sus propiedades antifriccionantes). También se utilizan polvos de grafito y de bisulfuro de molibdeno para disminuir el coeficiente de fricción de las mezclas. ***Grupo Científico Técnico de Recuperación de Piezas*** **(1993),** ***Fiedrich*** **(1993, 1995)**
Las matrices usadas pueden ser de uno o dos componentes (matriz y endurecedor). El sistema de endurecimiento puede ser por uso de endurecedores (como en las de dos componentes), por evaporación de solventes, anaeróbicos y otros ***Diez, Díaz*** **(Octubre, 2001)**. Las más utilizadas son las composiciones a base de matrices epóxicas, furánicas, furano-epoxídicas (desarrolladas en el ICIDCA a partir de resinas furánicas obtenidas como derivado de la caña de azúcar), fenólicas, poliéster, alquídicas y gomas sintéticas y naturales.
Las posibilidades de la tecnología de mantenimiento con polímeros, son:

- Como pegamento adhesivo.
- Para la recuperación de partes perdidas.
- La reconstrucción de piezas.
- La eliminación de defectos superficiales de fundición (como poros y grietas).
- Sellaje contra fugas de líquidos, gases y contra el polvo y el ruido.
- Protección anticorrosiva.
- Protección antidesgaste

Los tipos de productos desarrollados más utilizados, son:

- ***Soldaduras metálicas:*** Conocidas también como soldaduras metálicas en frío. Se encuentran fundamentalmente las de bronce, aluminio y hierro con o sin la adición de fibras, que se usan para incrementar la tenacidad del compuesto. Son utilizadas para la recuperación de partes perdidas (con el uso de telas de fibras y otros aditamentos como insertos metálicos, etc.), así como la eliminación de defectos superficiales en las piezas fundidas. ***Gómez y colab***. **(1993).**
- ***Recubrimientos impregnantes y acondicionadores:*** Son desarrollados y usados para acondicionar la superficie ya preparada mecánicamente para recibir el recubrimiento posterior, incrementando la adherencia de éste considerablemente.
- ***Recubrimientos anticorrosivos:*** Se utilizan para brindar protección anticorrosiva a la superficie de las piezas.
- ***Recubrimientos antiabrasivos:*** Composiciones que por lo general son basadas en polvos cerámicos, utilizadas para piezas sometidas a desgaste abrasivo y erosivo fundamentalmente.
- ***Recubrimientos antifriccionantes:*** Desarrollados para incrementar la resistencia al desgaste por fricción y disminuir el coeficiente de fricción de la superficie a reparar. En su composición son usados todo una serie de rellenos y aditivos que aseguran la resistencia a la fricción. Entre los rellenos se pueden encontrar, polvos metálicos, encargados fundamentalmente de incrementar el coeficiente de conductividad térmica de las composiciones, dado la pobre conductividad que presentan los polímeros, además de otras funciones que cumplen teniendo en cuenta la composición química y estructura metalográfica de éstos. Otros rellenos son las fibras, de vidrio, carbón o grafito, usadas para incrementar la resistencia al desgaste por fricción, es decir, disminuir el coeficiente específico de desgaste, el que es reducido cuando éstas (fundamentalmente las de carbón en el caso de fricción) se encuentran en magnitudes por encima del 10% en volumen. Láminas de grafito, polvo de grafito, bisulfuro de molibdeno y partículas de PTFE, son utilizados indistintamente o en combinaciones, como lubricantes sólidos. ***Fiedrich*** **(1993, 1995)**
- ***Sellantes:*** Son utilizados para sellar principalmente, gases y líquidos, aunque también son utilizados para sellar contra el polvo y eliminar ruidos y vibraciones. Existen sellantes de muchos tipos, pero los más utilizados actualmente son los de curado anaeróbico, fundamentalmente, siliconas. ***Diez, Díaz*** **(Octubre, 2001)**.
- ***Adhesivos:*** Utilizados para la adhesión de metales, plásticos, cerámicas, polímeros de ingeniería, todo tipo de substratos porosos y piezas con tratamiento superficial. Pueden ser de muchos tipos, epóxicos, fenólicos, poliésteres, etc., pero en la actualidad son más usados los anaeróbicos (para todo tipo de substratos porosos y piezas con tratamiento superficial) y los cianoacrilatos y acrílicos modificados, para adhesión instantánea. Dentro de los adhesivos, se pueden mencionar también los utilizados como fijadores de roscas, rodamientos, engranajes y rotores en superficies lisas. ***Diez, Díaz*** **(Octubre, 2001)**.
- ***Adhesivos y recubrimientos flexibles o elastoméricos:*** Se utilizan para la reparación de piezas de gomas, juntas elásticas y juntas de dilatación, entre otras.

  Existen otros productos como los antiengripantes y desengripantes que son lubricantes que poseen en su formulación compuestos poliméricos inertes con grafito, bisulfuro de molibdeno y partículas metálicas. ***Diez, Díaz*** **(Octubre, 2001)**, ***Catálogos de empresas productoras.***

Son múltiples los ejemplos de recuperación y mantenimiento con polímeros, pero los más comúnmente realizados en la práctica del mantenimiento industrial, son: ***Trabajos de aplicación,*** **(1992, 1993, 1994 y 1995),** ***Catálogos de empresas productoras.***

Con soldaduras metálicas

- Tuberías con fugas
- Ejes desgastados o dañados
- Alojamiento de cojinetes holgados
- Fisuras en carcazas y bloques
- Bridas
- Piezas con poros y grietas

- Fugas en depósitos

*

**

Reparación de techo y cuerpo de tanques metálicos de almacenamiento de petroderivados
•* Techo del tanque antes de reparar
• Techo reparado**

- Pistones deteriorados
- Rodillos desgastados
- Roscas dañadas
- Chaveteros holgados

Con composiciones cerámicas y antiabrasivas

- Rodetes y carcazas de bombas

*

**
***

Reparación del cono impelente de la bomba de vacío Nash
•* Impelente con la superficie limpia lista para la aplicación
• Impelente recuperado**
•* Impelente y cuerpo de bomba recuperados, listo para el montaje**
Este equipamiento es de un Central Azucarero

- Placas de tubos
- Condensadores (caja y tapas)
- Pistones
- Ejes y hélices
- Válvulas
- Timones
- Alabes de turbinas
- Intercambiadores de calor
- Piezas sometidas a erosión-corrosión

Con recubrimientos antifriccionantes

- Ejes sometidos a fricción, como en el caso de ejes de bombas de trasiego de líquidos con prensa estopas
- Piezas tipo bujes

*

**

Recuperación del cojinete o chumacera del eje de una masa de molino de un Central Azucarero

- *** Antes de la recuperación**
- **** Después de recuperada**

- Otras piezas que rozan

Con adhesivos y recubrimientos flexibles y elastoméricos

- Cintas transportadoras
- Rodetes de goma
- Juntas elásticas
- Neumáticos de maquinaria
- Impulsores elásticos
- Tubos flexibles
- Rampas y tolvas
- Válvulas
- Mangueras
- Juntas de dilatación

A todas éstas aplicaciones se les podrán adicionar aquellas que surjan dado la necesidad, la habilidad e iniciativa de los técnicos y operarios de mantenimiento y la disponibilidad de nuevos materiales desarrollados por los investigadores y técnicos de las empresas productoras.

Las principales ventajas del uso de los polímeros en el mantenimiento son la facilidad de las aplicaciones, para las que no hace falta mano de obra calificada y por lo general tampoco se necesitan equipos sofisticados, la rapidez de las reparaciones y los costos, menores que en los otros sistemas de reparación descritos. Durante la aplicación de los compuestos poliméricos de reparación sólo deben seguirse cuidadosamente una serie de pasos que aseguraran el éxito del trabajo realizado. Ëstos pasos son:

- Preparación de la superficie a reparar
- Preparación del producto a aplicar
- Curado y terminación

Como principales desventajas se pueden mencionar el límite superior de temperatura de trabajo que por lo general oscila entre 150-200ºc y sus bajos coeficientes de conductividad térmica (para casos de piezas que trabajan a fricción, pues en el caso de las juntas de sellaje ésta propiedad es beneficiosa). Excepto algunos casos de materiales diseñados especialmente para aplicaciones que deben resistir rangos muy específicos de temperatura, se pueden fijar los límites de temperaturas de trabajo entre los -30ºc y los 200ºc. Es importante tener en cuenta que por lo general cuando se fijan los límites inferiores y superiores de temperatura estos sólo pueden ser aplicados a los materiales en ciclos cortos de tiempo, es decir, en picos y que por lo general los rangos de temperaturas de trabajo continuado son menores y generalmente oscilan entre los -20ºc y los 150ºc.

CONCLUSIONES

Del análisis de todas las técnicas de recuperación se puede arribar a las siguiente conclusión:

1. De todas las técnicas de recuperación desarrolladas, la recuperación con polímeros cobra cada día mas importancia debido a ventajas como:
   - Rapidez y sencillez de aplicación.
   - No se necesita en la mayoría, de los casos, de equipamiento sofisticado para las aplicaciones.

- No se necesita de mano de obra calificada para las recuperaciones. Sólo en el análisis de las tecnologías y materiales a utilizar.
- Mayor economía en la recuperación con polímero debido fundamentalmente a las ventajas anteriores.

2. Como principal desventaja se puede mencionar los bajos límites de temperatura máxima de trabajo de los polímeros lo que limita el uso de ésta técnica para aplicaciones donde se trabaje por debajo de 200ºc y para el caso de piezas que trabajan a fricción, debido al calor generado por el rozamiento de los cuerpos. Aunque se trabaja actualmente por desarrollar materiales polímericos con mayor límite de temperatura, es en los materiales resistentes a la fricción en los que más se ha avanzado debido a las grandes pérdidas que ocasiona éste fenómeno y el desgaste que el produce.

BIBLIOGRAFIA

1. Catálogos empresas productoras: **Loctite, Lotum, Unitor, Mecatec (Instituto Eutectic+Castolin) y Fural.**
2. Diez, F y Díaz, Daniel**: Materiales para juntas no metálicas.** Revista Ingeniería Química, Nº 381, Julio/Agosto 2001, Editorial Alción, s.a., España.
3. Diez, F y Díaz, Daniel**: Materiales para sellantes.** Revista Ingeniería Química, Nº 383, Octubre 2001, Editorial Alción, s.a., España.
4. Grupo Científico Técnico de Recuperación de Piezas, CIME: **Manual de Recuperación de Piezas**, Edit. Científico Técnica, Cuba, 1993.
5. Gómez, A. y Colabs. : **Cementos metálicos furánicos.** III Seminario Sobre Azúcar y Derivados de la Caña, Cuba, 1993.
6. Instituto Eutectic + Castolin: **Seminario de mantenimiento de ingenios azucareros,** Perú, 1985.
7. K. Fiedrich, Z. Lu and A. M. Häger: **Overview on polymer composites for friction and wear application.** Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 19, 1993, 1-11, Elsiver publications.
8. K. Fiedrich, Z. Lu and A. M. Häger: **Recent advances in polymer composites tribology.** Wear, 190, 1995, 139-144, Elseiver publications**.**
9. **Trabajos de aplicación de composiciones poliméricas furánicas**. VII, VIII, IX y X Forum de Ciencia y Técnica, Cuba, 1992, 1993, 1994 y 1995.

A PRODUÇÃO DE AÇÚCARES DIFERENCIADOS NAS USINAS BRASILEIRAS

Vívian Karina Bianchini[1]
Maria Rita Pontes Assumpção[2]

[1]Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção – Rod. Washington Luís, km 235. CEP 13565-905 São Carlos – SP Tel: (16)2608236
E-mail: *vivian@dep.ufscar.br*
[2]Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção – Rod. Washington Luís, km 235. CEP 13565-905 São Carlos – SP Tel: (16)2608236
E-mail: *dmrp@power.ufscar.br*

Resumo: *Este artigo apresenta algumas mudanças produtivas que ocorreram no setor sucroalcooleiro devido à necessidade de diferenciação do açúcar (líquido e invertido), pós-desregulamentação produtiva e abertura da economia na década de noventa. O enfoque é dado para as mudanças tecnológicas ocorridas nas usinas e nos seus clientes industriais, pois ambos tiveram que se adequar ao processo de produção dos açúcares diferenciados, tanto para a fabricação quanto para a aquisição dos mesmos.*
Palavras Chave: *cadeia produtiva, diferenciação, açúcar líquido e invertido.*

Abstract: *This paper presents the productive changes that happened in the sugar supply chain caused by need of sugar differentiation (liquid and inverted), after deregulation and opening the Brazilian economy in the nineties. The focus is given for the technological changes happened at the plants and in their industrial customers, because both had to adapt their production process of the differentiated sugars, so much for the production (plants) as for the acquisition of the same ones(customers).*
Key-Words: *productive chain, differentiation, liquid sugar and inverted sugar.*

1 Introdução

As empresas do setor agroindustrial brasileiro vêm se deparando com uma nova realidade do mercado, no qual as exigências por menores custos, diferenciação de produtos, confiabilidade e redução dos prazos de entrega, melhoria no controle de qualidade e da flexibilidade para a diversificação produtiva, têm propiciado a implementação de mudanças provenientes da necessidade da inovação tecnológica e organizacional (Alves, 1997). Essas mudanças estão promovendo toda uma reestruturação na rede de suprimentos industrial, evidenciando a crescente integração das empresas pertencentes à mesma cadeia produtiva.

A relação entre o setor industrial sucroalcooleiro (composto pelas usinas açucareiras de primeiro processamento) e seus clientes da indústria de alimentos processados, é um exemplo concreto das atuais transformações que visam a criação de vantagens competitivas e o aumento da capacitação produtiva e logística das empresas. A princípio, essas empresas eram relativamente independentes umas das outras, não possuíam diversidade de produtos e estavam restritas à regulamentação de preços, porém com a abertura da economia e a desregulamentação produtiva, as mesmas empreendem iniciativas para constituição de um sistema mais integrado, com nova dinâmica de relacionamento com seus clientes industriais.

O objetivo desse artigo é apresentar as mudanças produtivas que ocorrem no setor sucroalcooleiro devido à necessidade de diferenciação do açúcar (líquido e líquido invertido), proporcionada por uma estratégia de inovação tecnológica. O enfoque é dado para as mudanças ocorridas nas usinas com a produção dos açúcares diferenciados.

2 Método de Pesquisa

Optou-se por realizar uma pesquisa exploratória, com o uso do método qualitativo de estudo de caso, que se refere à observação de fenômenos em seu *habitat,* analisando o processo de funcionamento do objeto de análise, para exploração de seus aspectos e identificação de relações entre eles (Bryman, 1990).

Os resultados foram obtidos por meio de visitas, entrevistas e aplicação de questionários semi-estruturados em usinas, situadas no interior de São Paulo.

2 A Cadeia de Suprimento do Açúcar

A tendência à integração das empresas, como tem ocorrido com as indústrias do setor sucroalcooleiro e as indústrias de alimentos responde à necessidade das usinas fortalecerem seu posicionamento junto ao mercado industrial. Este movimento responde ao previsto no conceito de cadeia de valor de Porter (1999) em que o fluxo tecnológico na conformação dos produtos deve buscar eficiência e produtividade em seus processos produtivos e logísticos. O conceito de cadeia de suprimento, conjunto de empresas através do qual as matérias primas são convertidas em produtos acabados e o valor é adicionado aos olhos dos clientes prevê também o fluxo eficiente e economicamente eficaz de matérias primas entre as empresas (Ballou, 2001). Daí o conceito de rede industrial onde as empresas são organizadas com metas de fortalecimento de seu posicionamento competitivo.

A Figura 1 mostra o sistema de fornecimento do açúcar aos mercados externo e doméstico. A cadeia de suprimento inicia-se anterior à usina, desde o plantio da cana-de-açúcar até a sua colheita que serve de insumo para a produção do açúcar que segue nos canais logísticos.

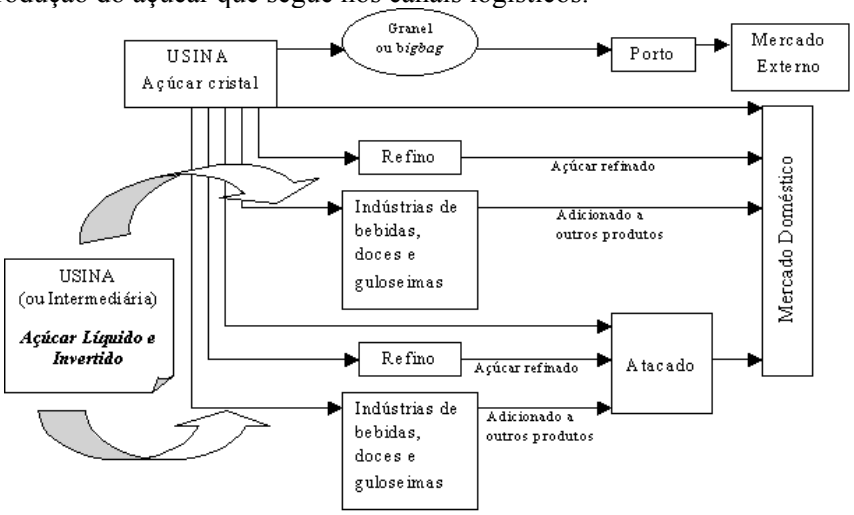


Figura 1: Canais logísticos para a movimentação de açúcar a partir da usina.
Adaptado de Alves, M.R. 1997, p 148.

Com a crise do setor sucroalcooleiro da década de noventa, algumas usinas estabeleceram alianças com transnacionais para diferenciar seus produtos. Outras usinas realizam investimentos próprios e passam a suprir o mercado industrial com os açúcares diferenciados (líquido e líquido invertido). As primeiras contribuíram para a entrada de empresas intermediárias (transnacionais) ocasionando a internacionalização de segmentos componentes da cadeia produtiva do açúcar (Assumpção, 2001).

3 A Diversificação Produtiva nas Usinas:

Segundo Penrose (1959), uma firma diversifica suas atividades sempre que, sem abandonar completamente suas antigas linhas de produtos, ela parte para a fabricação de outros, suficientemente diversos daqueles que já fabrica, e cuja produção implique em diferenças significativas nos programas de produção e distribuição da firma. A diversificação compreende, desta maneira, incrementos na variedade

de produtos finais fabricados e no número de áreas básicas de produção nas quais a firma opera, fortalecendo muitas vezes a integração vertical a montante e a jusante.

As usinas açucareiras investem em etapas produtivas complementares aquelas existentes para diferenciação do açúcar em: líquido e invertido. Suas estratégias de diversificação visam o aumento de seus ganhos e a manutenção de seu crescimento de longo prazo. Dentre estas estratégias cita-se (Mello & Brigante, 2001):

- Diversificação produtiva através da diferenciação do açúcar, iniciando a produção do açúcar líquido e do açúcar líquido invertido, proporcionando uma maior agregação de valor ao produto da usina;
- Melhoria da qualidade da cana esmagada, revertendo na melhoria do açúcar;
- Busca de novos mercados, principalmente de consumidores diretos, com a produção de açúcares dietéticos e *light*. Produção de açúcar orgânico. Produção do álcool neutro, destinado aos produtos farmacêuticos;
- Aproveitamento dos subprodutos de seu processo produtivo, como por exemplo, o bagaço que é utilizado como combustível nas caldeiras que alimentam o processo e que, na época de pico de colheita, as usinas transformam o calor gerado em energia elétrica, utilizando o necessário no processo e vendendo o excedente às concessionárias de energia para a co-geração de energia elétrica. Aproveitamento da torta de filtro, da vinhaça e do melaço, também subprodutos.

Alves (1998) já enunciara várias iniciativas adotadas pelas usinas para inovação tecnológica e organizacional, conforme o Quadro 1.

Quadro 1: Iniciativas observadas nas usinas paulistas (*)

Iniciativas Observadas	**Inovação (**)**
Racionalização dos processos de corte, carregamento e transporte, com mecanização da colheita da cana de açúcar: i) controle digital no uso de equipamentos (código de barras, rádio freqüência), (NIRS-*NearIinfrared System*); ii) mudança de turno em trânsito, transbordo e bate-volta usina e/ou campo; eliminação de depósito de cana com alimentação direta às moendas.	O e T
Troca de canaviais entre usinas para redução da distância de carregamento da cana e obtenção de área contínua para mecanização do corte.	O
Fusões entre usinas com a entrada do setor financeiro para bancar as transações.	O
Terceirização dos serviços das frentes de corte e de armazenagem, manuseio e movimentação interna do açúcar ensacado.	O
Adoção de agricultura de precisão com a contratação de prestadoras de serviço para as operações agrícolas.	O e T
Planejamento da safra com uso de software de otimização, baseado em conhecimento e com interface para sistemas de sensoriamento remoto e uso de imagens via satélite (Sistema de Informação Geo-Referenciada – SIG).	O e T
Adoção de sistemas de supervisão digital e centralizado com destaque para eletrônica digital, com uso de equipamentos e sensores para controle automatizado da produção industrial.	O e T
Co-geração de energia e distribuição.	T
Diversificação para atividades associadas a operações portuárias (exportação) e para distribuição ao varejo, com fortalecimento da logística externa (distribuição de produtos).	O
Transferência de açúcar a granel ou em carga unitizada em volumes maiores (*big-bag*), com uso de técnica de ultracentrifugação para dessalinização do açúcar.	O e T
Adoção de equipamentos para eficiência no consumo de energia e melhoria na qualidade do açúcar e da produtividade industrial.	T
Redes internas para fluxo de informações (intranet) com adoção de sistemas ERP (*Enterprise Resources Planning*) para integração de processos de gestão e uso de EDI (*Electronic Data Interchange*) com o objetivo de troca de documentos com parceiros de negócio.	O e T
Associação de usinas em torno de entidade empresarial para transações de compra de insumos, comércio e distribuição de seus produtos, buscando economias de escala e de escopo. Com isso, aumenta-se o poder de barganha das associadas frente a seus parceiros comerciais.	O
Criação de departamentos comerciais para gerência de vendas internas e para o mercado externo.	O
Diferenciação do açúcar com diversificação produtiva industrial (líquido e invertido) e agrícola (orgânico).	**O e T**

4 Classificação dos açúcares

Os tipos de açúcar abordados neste artigo são: açúcar sólido (cristal e granulado), açúcar líquido e açúcar invertido. Suas características são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Classificação de tipos de açúcares para o mercado industrial.

Tipos		Características	Utilização
Cristal		• Açúcar em forma cristalina, produzido diretamente em usina, sem refino.	Destinado ao uso geral da indústria alimentícia: • Bebidas • Massas • Biscoitos • Confeitos
Refinado	Granulado	• Ausência de corantes • Pureza elevada • Ausência de empedramento assegurando fluidez • Baixo teor de umidade • Cristais bem definidos e granulometria homogênea (fina, média ou grossa) • Brancura excepcional	• Produtos farmacêuticos • Confeitos onde aparecem os cristais • Xarope de alta transparência • Mistura seca na qual o aspecto visual, escoamento e solubilidade rápida são importantes.
	Amorfo	• Baixa cor • Dissolução rápida • Granulometria fina • Brancura excepcional	• Consumo doméstico • Misturas sólidas de dissolução instantânea • Bolos e confeitos • Caldas transparentes e incolores
	Glaçúcar	• Granulometria muito fina (açúcar de confeiteiro)	• Preparo de glacês, suspiros, bolos, chantilly, etc
Açúcar Líquido		• Solução aquosa de açúcar • Alta transparência • Alta limpidez	• Produtos farmacêuticos • Aplicado onde a ausência de cor é essencial, como bebidas claras, balas e doces • Bebidas carbonatadas
Açúcar Invertido		• Solução aquosa contendo glicose, frutose e sacarose • Poder anticristalizante • Poder umectante • Sabor característico • Resistência à contaminação microbiológica	• Frutas em calda • Sorvetes • Balas e caramelos • Licores • Geléias • Biscoitos • Bebidas carbonatadas

Adaptado de www.copersucar.com.br (pesquisa realizada em março de 2002).

O açúcar sólido é composto orgânico cuja denominação química é sacarose. Ele pode ser produzido na forma cristal ou refinado.

O açúcar líquido é um adoçante natural de sacarose apresentado na forma líquida em uma solução inodora, límpida e cristalina, obtido pela dissolução de açúcar sólido em água com posterior purificação e descoloração, o que garante a esse produto alta transparência e limpidez. Em geral, possui concentração de 66,7 a 67,3% de sólidos de açúcar solúveis em água (Brix). Trata-se de um produto com o mesmo perfil de sabor e poder adoçante do açúcar sólido comum sendo, por esses motivos, altamente requisitado pelas indústrias produtoras de bebidas carbonatadas.

O açúcar líquido invertido é um adoçante natural constituído pela mistura de glicose, frutose e sacarose. Pode ser produzido a partir de inversão ácida, inversão enzimática e inversão catiônica (resinas). Apresenta-se na forma líquida em uma solução límpida e ligeiramente amarelada, com odor e sabor característicos e com alto poder adoçante. Em geral, possui concentração de 76 a 78 % de açúcar sólido diluído (Brix).

O açúcar líquido invertido é muito utilizado na indústria alimentícia pois reúne a elevada solubilidade da frutose à difícil cristalização da glicose, aumentando seu poder edulcorante e diminuindo os riscos de cristalização dos alimentos.

Possui a denominação "invertido" porque inverte a rotação da luz polarizada em um equipamento denominado polarímetro. Medindo-se o ângulo de desvio da luz polarizada durante o processo de obtenção do açúcar invertido, observa-se que ocorre a variação de um valor positivo no início da hidrólise (reação com água catalisada por aquecimento e por um ácido, enzima ou resina) para um valor negativo após a reação, justificando a denominação do processo de inversão.

Os açúcares líquido e invertido podem ser produzidos com diferentes especificações e diferentes porcentagens de sacarose, mudando assim o percentual de glicose e frutose, dependendo das exigências dos clientes.

Além dos investimentos nos processos de fabricação dos novos produtos, as usinas tiveram que investir em sistemas logísticos, pois passaram a fornecer o açúcar líquido para as indústrias alimentícias *Just in Time.* O transporte do açúcar líquido passou a ser feito a granel, em caminhões tanques, e em quantidades menores, também é fornecido em tambores de 200 kg para os clientes que não possuem instalações de armazenagem do açúcar líquido. A Tabela 1 apresenta as formas de acondicionamento dos produtos para fornecimento ao mercado industrial.

Tabela 1: Embalagens de Fornecimento do Açúcar.

Embalagens Usuais para Indústria								
		Cristal		Refinado			Diferenciado	
Tipo	Capacidade	Especial	Normal	Granulado	Amorfo	Glaçúcar	Líquido	Invertido
Saco de Polipropileno	50 kg	---	X	---	---	---	---	---
Saco de Polipropileno com Revestimento de Polietileno	50 kg	X	---	---	---	---	---	---
Big Bags	Até 1200 kg	X	X	X	X	X	---	---
Saco de Papel Kraft Multifoliado	30 kg	---	---	X	X	---	---	---
Granel	--	X	X	X	X	X	X	X
Tambores com Revestimento Polietileno	200 kg	---	---	---	---	---	---	X

Fonte: www.copersucar.com.br (pesquisa realizada em março de 2002)

5 O Processo de Produção do Açúcar Líquido:

O açúcar líquido é obtido essencialmente pela diluição do açúcar cristal em água através de uma série de tratamentos específicos (clarificação, filtração, recristalização, esterilização) que visam a produção de uma solução aquosa de açúcar, de alta transparência e limpidez.

O processo de produção do açúcar líquido consiste basicamente por seis etapas. Na primeira delas, ocorre a dissolução do açúcar cristal sólido em água. A solução formada passa por um processo de clarificação e em seguida, a calda resultante é filtrada. Após a filtração, ocorre o resfriamento e a esterilização. Por último, a calda, já sob a forma de produto final (açúcar líquido), é armazenada em tanques de aço por um período de até quarenta e oito horas.

Dentre as etapas mencionadas, a clarificação e a filtração da calda podem ser realizadas por três processos distintos. A Figura 2 apresenta um fluxograma das etapas do processo de produção do açúcar líquido com três possíveis alternativas de clarificação e filtração.

Na alternativa 1, a clarificação da calda é realizada por fosfatação, ou seja, adiciona-se ácido fosfórico (H_3PO_4) para atuar como agente clarificante. A calda clarificada ainda passa por um processo de flotação. A filtração é realizada por filtros de areia e de carvão. Esse procedimento, embora mais tradicional, tem sido abandonado pelas usinas devido ao alto custo dos insumos utilizados na etapa de clarificação da calda. A alternativa 2, a seguir apresentada, tem sido preferida em relação à alternativa 1.

Na alternativa 2, a clarificação é feita pela passagem da calda em colunas de resinas de troca iônica e a filtração, em filtros de pré-capa.

Na alternativa 3, a purificação e a eliminação das impurezas é obtida através de procedimentos de recristalização da sacarose (cozimento e centrifugação) e a filtração é feita por filtros de pré-capa. Esse processo produtivo apresenta também a possibilidade de um fluxo alternativo para os períodos de entressafra.

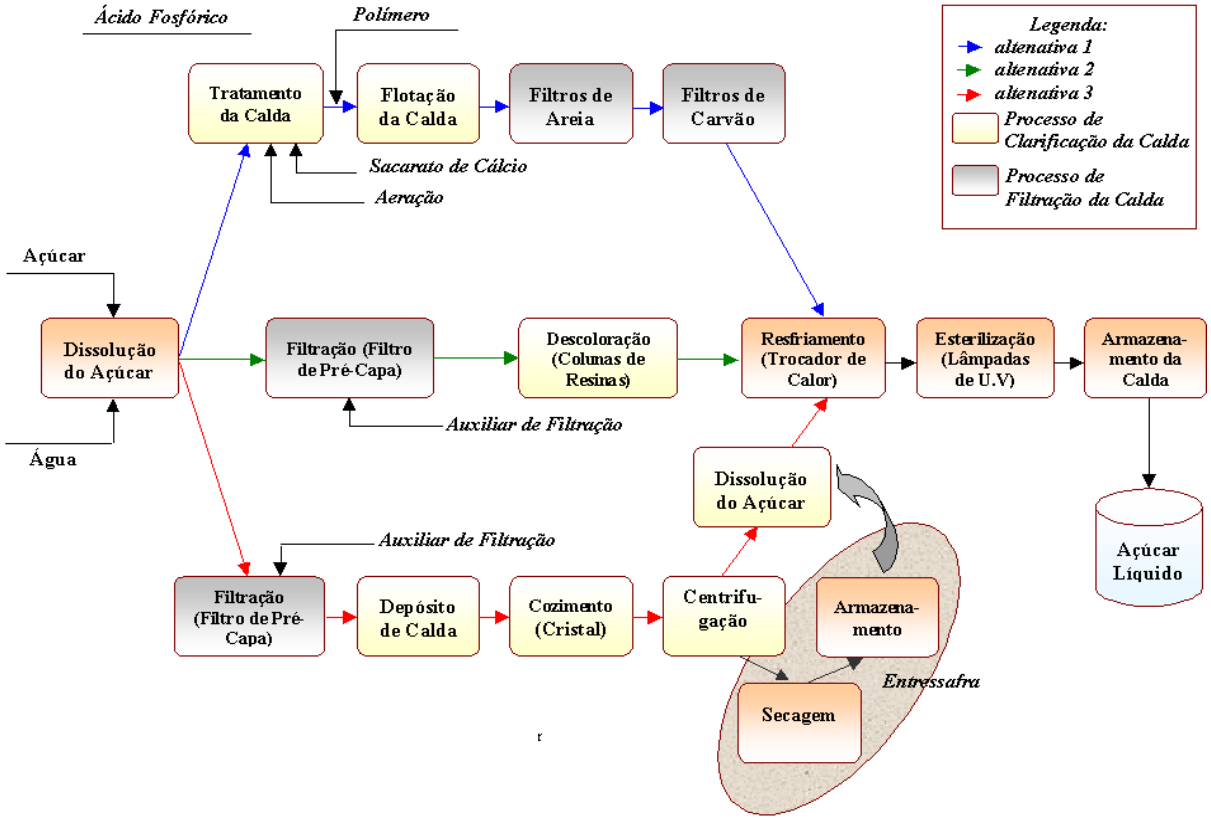


Figura 2: Etapas da Produção de Açúcar Líquido
Adaptado de CCT-Copersucar(1999) "Açúcar Líquido e Açúcar Líquido Invertido"

6 O Processo de Produção do Açúcar Líquido Invertido

O açúcar líquido invertido pode ser obtido pela inversão ácida, inversão enzimática e inversão catiônica (resinas). Esse produto permite a armazenagem por um período mais prolongado (100 dias ou mais), se mantidas as condições necessárias, e permite a obtenção de concentrações mais elevadas (75°Brix).

Qualquer uma das alternativas apresentadas para a produção de açúcar líquido pode ser adaptada para a produção em paralelo do açúcar invertido.

6.1 Inversão ácida

Pode ser executada antes ou depois da descoloração da calda. O tempo de inversão depende de fatores como o ácido utilizado, a temperatura de processo, a concentração desejada, etc.

Esse tipo de inversão é o mais utilizado devido aos seguintes fatores:

- Baixo custo dos ácidos necessários à inversão, geralmente utiliza-se ácido clorídrico;
- Baixo tempo de processo para inversão;
- Não apresenta dificuldades operacionais;
- Baixo investimento para adaptação de uma das alternativas de produção de açúcar líquido;
- Processo sem contaminações (sólidos em suspensão);
- Fácil controle da porcentagem de inversão desejada.

A inversão é realizada em tanques de agitação que possuem um sistema de aquecimento. Apresenta a desvantagem de adição de ácido que precisa ser neutralizado com o uso de soda cáustica no processo.

6.2 Inversão enzimática

Este processo promove a hidrólise da sacarose com o auxílio da enzima invertase, encontrada nas leveduras. O produto final dessa reação não possui alta qualidade, pois apresenta sólidos em suspensão, exigindo etapas posteriores de filtração.

A única vantagem da escolha desse processo em escala industrial é a não corrosão dos equipamentos e tubulações. Cabe realizar um estudo de custo/benefício. Na prática esse procedimento quase nunca é adotado.

6.3 Inversão com resinas catiônicas

Trata-se de um procedimento comum, no qual os sais presentes na calda do açúcar reagem com as resinas de uma coluna de leito misto, gerando uma acidez que provoca a inversão parcial do açúcar. A inversão é complementada pela passagem da calda em outra coluna de resina catiônica que contribui para a descoloração do produto.

7 Impactos das Mudanças Produtivas nas Usinas e nas Indústrias de Alimentos

O açúcar sólido para a composição com o xarope para a produção de bebidas carbonatadas sofria um preparo para atingir certas especificações técnicas quanto a granularidade, acidez e outros requisitos. Estas questões passaram a ser resolvidas com a transferência para as usinas de uma etapa do processo de fabricação da indústria de bebidas e de alimentos, com o fornecimento dos açúcares diferenciados.

As usinas tiveram que investir nos processos de fabricação deste produto e, por conseqüência, passaram a necessitar de veículos com carrocerias tanques para seu transporte. Um problema nesta nova configuração é a custo de distribuição, já que a água corresponde a 35% do volume transportado. Os fabricantes de açúcar líquido tendem a instalar fábricas próximas a seus maiores clientes. A compra do açúcar líquido significa para o cliente industrial, terceirizar parte da produção, representando ganhos com economias de espaço, diminuição de desperdícios e do consumo de energia. As indústrias de bebidas não necessitam mais da área para armazenagem do açúcar, nem para os processos de inversão do açúcar sólido para o líquido. O açúcar líquido é bombeado diretamente dos caminhões para os tanques da engarrafadora / distribuidora de refrigerantes (resultando também em economia com sacaria). Outra fonte de economia é o término das fontes de perdas de matéria prima - presentes na armazenagem e no manuseio do açúcar sólido e, de energia, consumida nos processos de aquecimento e resfriamento para obtenção do açúcar líquido na temperatura adequada para sua mistura com o xarope, base do refrigerante. Para realização deste contrato de fornecimento houve especificação de padrões para o produto e dos procedimentos para envio. Dada a recente iniciativa, o relacionamento necessitou de um processo de aprendizagem mútuo, em que ajustes são buscados para melhoria no desempenho dos processos.

O açúcar invertido é insumo, principalmente da indústria de balas, biscoitos, doces, conservas enlatadas, bebidas isotônicas e leites saborizados. Tem poder adoçante 80% a 75% maior que a sacarose, presentes nos açúcares líquido ou sólido. Também dispensa aquecimento e dissolução do xarope, bem

como filtragem e descarte de resíduos. A vantagem que têm sobre o açúcar líquido é a maior concentração – traduzida em menor quantidade de água e menor volume físico para transporte, diminuindo os custos logísticos e propiciando, também, um tempo maior de vida útil; cerca de seis meses permanecendo estocado, contra os quinze dias do açúcar líquido.

Ao optar pela compra do açúcar líquido / invertido, a empresa dispensa a etapa do processo de liquefação / inversão do açúcar. A recepção do produto passa a ser por dutos que conduzem o açúcar líquido / invertido dos caminhões tanques para os tanques da empresa. Para isso faz-se necessária adequação nas instalações com construção de tanques especiais para armazenagem do produto. A terceirização destas etapas produtivas evita a produção de dejetos industriais provenientes dos processos de filtragem e descoloração da calda, proporcionando maior flexibilidade no planejamento da produção.

A diferenciação de produtos tem sido uma exigência das grandes empresas produtoras de refrigerantes, doces e balas, as quais transferem para as usinas a responsabilidade pela produção dos açúcares diferenciados. Essa iniciativa faz com que as usinas agreguem valor ao açúcar *commoditie*, produzindo os açúcares líquido (solução aquosa utilizada em bebidas carbonatadas) e invertido (solução de glicose, frutose e sacarose com grande poder anticristalizante utilizada em doces, biscoitos e balas).

A usina Santa Elisa, localizada no interior de São Paulo, realizou investimentos próprios e, em 2001, passou a suprir algumas empresas de doces e balas com o açúcar invertido. Neste caso, a venda do açúcar diferenciado passou a ser realizada diretamente pela usina, sem a intervenção da empresa comercial Crystalsev, que é a responsável pela comercialização dos produtos *commodities* dessa usina e de outras seis associadas. Com isso, a usina estabeleceu uma organização própria de venda de produtos diferenciados, com representatividade específica para cada tipo de produto.

Com esta estratégia, a usina passa a realizar seus próprios contratos, buscando estabelecer salvaguardas contratuais mais convenientes, dada a alta especificidade dos ativos envolvidos nesses relacionamentos.

Em outra iniciativa de diferenciação de produto, agora do melaço em pó, a usina optou por verticalizar a atividade produtiva, por meio da aquisição de uma fábrica de melaço em pó e transferência da mesma para perto da usina (alta especificidade locacional influenciando o projeto da rede). A usina também investiu no conhecimento já existente do pessoal de vendas da fábrica que foi incorporada, realizando a contração do responsável pelas vendas e também adquirindo a carteira de clientes da antiga fábrica de melaço em pó.

A responsabilidade por assegurar a qualidade dos produtos diferenciados e o atendimento das especificações ficou a cargo da usina.

A logística de distribuição teve que passar por adaptações pois os produtos diferenciados são transportados em caminhões tanques (a granel) ou em tambores de 200 Kg, para os clientes que ainda não possuem instalações de armazenagem do açúcar.

O açúcar líquido produzido por outras usinas ainda não tem uma cadeia de suprimento estruturada e as vendas são ocasionais, sem desenvolvimento de contratos de longo prazo com seus clientes.

8 Considerações Finais

As mudanças observadas na relação industrial entre fornecedores do açúcar e seus clientes industriais, com base no fornecimento de açúcares com maior valor agregado, demandam cooperação técnica em projetos que visam à diminuição de custos, atendimento às especificações de clientes e diferenciação de produtos. Estas mudanças buscam maior eficiência nos processos operacionais (produtivos e logísticos) por imprimir maior agilidade nas atividades de armazenagem, transportes e na entrega para atendimento à demanda dos clientes. Com a oferta desses dois novos produtos ao mercado industrial transfere-se uma etapa do processo de fabricação da indústria de bebidas, doces e guloseimas para a usina. Os produtos que agregaram valor ao açúcar sólido da empresa representaram aumentos de lucratividade e novos relacionamentos com clientes da indústria de alimentos, embora esses açúcares ainda não tenham uma cadeia de suprimento estruturada.

9 Referências:

- ALVES, M.R.P. Logística Agroindustrial. In: ***Gestão Agroindustrial.*** BATALHA, M.O., São Paulo: Editora Atlas. 1997. p 139-212.
- ALVES, M. R. P. A. (1998). *Mudança tecnológica no setor sucroalcooleiro. In: Anais... XX Simpósio de gestão da Inovação Tecnológica*. **Anais** em CD-ROM. 17 a 20 de novembro de 1998, São Paulo, SP, Brasil.
- ASSUMPÇÃO A., M. R. P. *A Liga do Açúcar: Integração da Cadeia Produtiva do Açúcar à Rede de Suprimento da Indústria de Alimentos.* São Paulo. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2001**. Tese** (Doutorado).
- ASSUMPÇÃO A., M. R. P. *The Sugar League: Restructuring of the Sugar Supply Channel for the Processed Food Network*. IN: DIERDONCK, Roland V. & VEREECKE, Ann (eds.). **Operations Management-Crossing Borders and Boundaries:The Changing Role of Operations**.Ghent, Belgium: Academia Press Scientific Booksellers(2000)p 8-24.
- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial.** Porto alegre: Bookman, 2001.
- BIANCHINI,Vívian K. *Caracterização das Mudanças no Processo Produtivo e no Fornecimento de Açúcar das Indústrias do Setor Sucroalcooleiro para as Indústrias de Alimentos.* **Trabalho de Graduação**. Engenharia de Produção Química. UFSCar. 2002.
- CTC COPERSUCAR. *Açúcar Líquido e Açúcar Líquido Invertido.* Seção de Tecnologia de Processos - Açúcar. **Relatório Interno** (1999).
- MELLO, F.O.T, BRIGANTE, C; *A Estratégia de Diversificação Produtiva numa Usina Sucroalcooleira.* 2001. São Carlos. PGENPRO/ DEP/UFSCar (cd-room).
- PENROSE, Edith. ***Theory of the growth of the firm***. Basil Black Well Oxford - England, 1959. Cap
- PORTER, Michael E. (1990). ***Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior.*** Rio de Janeiro: Campus. 511 p.
- RODRIGUES, M.V.N., RODRIGUES, R.A.F., SERRA, G.E. et al. *Produção de Xarope de Açúcar invertido obtido por hidrólise heterogênea, através de Planejamento Experimental.* **Ciência e Tecnologia Alimentar**, Abril 2000, vol.20 nº 1.

(*) Fonte: ASSUMPÇÃO, M. R. P. (1999). A liga do açúcar: integração da cadeia produtiva do açúcar à rede de suprimentos à indústria de alimentos. São Paulo. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. Documento apresentado para Qualificação para obtenção de título de doutor.
(**) Mudanças Organizacionais (O) e/ou Tecnológicas (T)

MEDIO AMBIENTE

INDICE
MEDIO AMBIENTE

116 Una vía químico-física para la disminución del impacto ambiental en la producción de 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano

205 Analisis de alternativas para el tratamiento de los residuales líquidos del centro de bioactivos químicos

112 Sistema de procedimientos en la consideración de la incertidumbre en el desarrollo de tecnologías limpias que emplean la biomasa de caña de azúcar como materia prima

146 Análisis del sistema de tratamiento de residuales de una planta de pulpa y papel

143 Impacto medioambiental de la producción de papeles estucados para impresión en la UIP-Cuba-9

150 Caracterización de los residuales generados en la producción de papel a partir de fibras recicladas.

065 Asesoría rápida de producción mas limpia en la empresa azucarera “Ciro Redondo”

077 Producción mas limpia en la Destilería “Heriberto Duquesne”

076 Producción más limpia en la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne”

074 Tratamiento combinado de las vinazas de destilerías y residuales azucareros en reactores UASB

069 Decoloración de efluentes de destilería mediante el tratamiento con una cepa cubana de hongo de podredumbre blanca

015 Transesterificación enzimática. Hacia el desarrollo de producciones más limpias.

172 La comparación y evaluación de datos experimentales y los diferentes modelos de predicción del NOX en calderas de bagazo

055 Aplicación de un modelo de optimización para maximizar el reuso de agua en la industria

166 Indice de reuso del agua en ingenios azucareros

196 Nuevo enfoque de la gestión ambiental en las fuentes contaminantes de la bahía de la Habana

103 Análisis de alternativas para el tratamiento de los residuales líquidos del Centro de Bioactivos Químicos

UNA VÍA QUÍMICO-FÍSICA PARA LA DISMINUCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA PRODUCCIÓN DE 2-BROMO-5-(2-BROMO-2-NITROVINIL)-FURANO

Teófilo Exíquio Gaitán Placeres [(1)], Nilo Castañedo Cancio[(1)], Blanca Hernández Martínez[(2)], Gisela Peralta Meseguer[(2)] y Zenaida Rodríguez Negrín[(1)].

(1) Centro de Bioactivos Químicos, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
(2) Facultad de Química Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
Dirección postal: Toscano no. 828 entre Capitán Velasco y Blanca Pérez.
E-mail; egaytan@cbq.uclv.edu.cu

Resumen

Ha sido empleado un tratamiento químico-físico para la desactivación de los residuales procedentes del proceso de producción de 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano, que conduce a la disminución del impacto ambiental de los contaminantes empleados o generados durante el proceso de síntesis.
El compuesto biológicamente activo, 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano (G-1), cuya producción se realiza solamente en Cuba, a partir de los desechos de la caña de azúcar, es empleado en la preparación de un esterilizante químico para la industria biotecnológica y como medicamento en la esfera animal, estando en fase de estudio su aplicación en la esfera humana.
Dicho procedimiento emplea un tratamiento alcalino que incluye operaciones de floculación-coagulación- sedimentación basadas en las propiedades del sistema. Los efluentes para el vertimiento cumplen con los índices establecidos en las normas cubanas, según el control analítico realizado.
La vía químico física empleada considera para su validación diferentes categorías de impacto de acuerdo al ECO INDICADOR- 95 y esto garantiza una producción mas limpia del principio activo mencionado.

Palabras claves
Tratamiento de residuales, impacto ambiental, residuales químicos.

Summary

We are employed a chemical-physical treatment for the deactivation of the waste water coming from the production process of 2-bromine-5-(2-bromine-2-nitrovinil)-furan) that drives to the decrease of the environmental impact of the pollutants employees or generated during the synthesis process.
The biologically active compound, 2-bromine-5-(2-bromine-2-nitrovinil)-furan whose production is only carried out in Cuba, starting from the waste of the cane of sugar, is employed in the preparation of a chemical sterilizer for the biotechnological industry , in medication on the animal sphere and else being in study phase its application in the human sphere.
This procedure uses an alkaline treatment that includes operations of flocculation-clotting - sedimentation based on the properties of the system. The resulting treated liquor fulfills the indexes of the Cuban norms, according to the carried out analytic control.

In order to validate the method proposed we make into account the ECOINDICATOR-95 methodology that established different categories of environmental impacts. The improvement of the methods gives a good approach to clean production categories in pharmaceutical manufacture.

Key words:
Waste Water management, Environmental impact, Chemical wastes

Introducción:

El 2-(2-nitrovinil)-furano (G-0) es un compuesto bioactivo obtenido a partir del furfural mediante la reacción de este último con nitrometano en presencia de isobutilamina, empleando como solvente etanol; este compuesto constituye el precursor fundamental del 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano (G-1), de acuerdo a los resultados reportados por Castañedo y colaboradores (1995).
En el proceso de obtención del G-1 se realiza la bromación y la deshidrobromación del G-O y se emplea piridina para lograr condiciones de reacción adecuadas, así como disulfuro de carbono como solvente, generándose una fuerte corriente gaseosa que contiene una alta proporción de bromuro de hidrógeno, cantidades mas pequeñas de bromo, disulfuro de carbono, trazas de piridina, y otros productos secundarios de la síntesis.
La carga contaminante producida en ambas etapas de síntesis se incorpora a las corrientes residuales de la Planta de Producción, para cuya disposición final resulta necesario un proceso previo de desactivación, en correspondencia con el reporte de Gaytán (2001).
Actualmente este proceso de producción se realiza solamente en la región central de Cuba y no hay antecedentes acerca de la descontaminación de sus residuales.
La complejidad de dichas corrientes exige el empleo de un procedimiento químico-físico basado en la transformación de las sustancia presentes en especies iónicas solubles en agua, lo que se logra mediante un tratamiento básico, según los trabajos de Gaytán (2001) y colaboradores. La coagulación de las especies formadas y posterior sedimentación permiten la separación de las mismas para obtener finalmente un líquido claro.

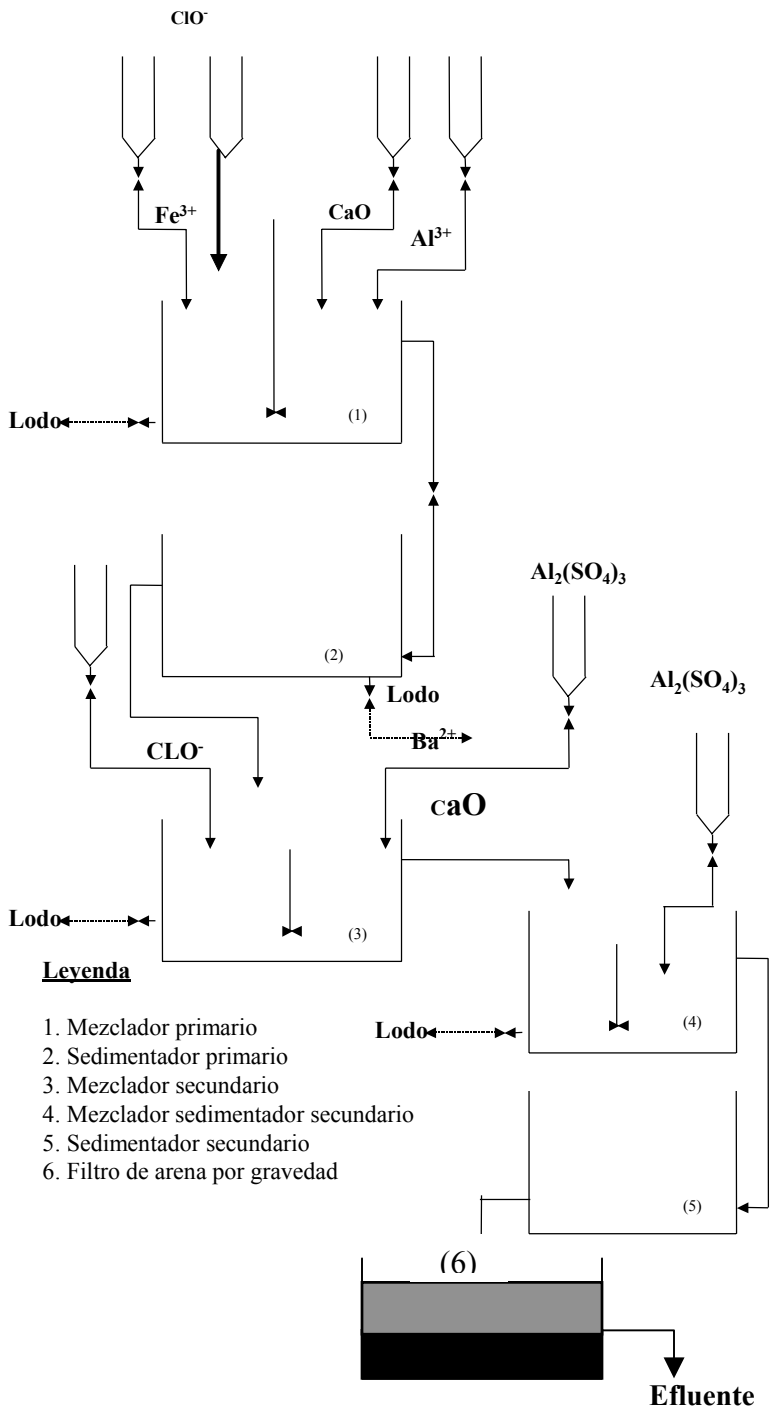
Materiales y Métodos

Para realizar el tratamiento químico físico a los residuales líquidos obtenidos al mezclar las diferentes corrientes frescas se ejecutaron tres etapas:

- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario.
- Tratamiento terciario.

En el caso de residuales frescos se requiere de un pretratamiento.
Los reactivos principales utilizados fueron: suspensión de hidrato de calcio saturado de 3 ^{0}Be, hipoclorito de sodio acuoso, concentrado y al 10%, disolución de $Al_2(SO_4)_3.nH_2O$ al 1% m/v y al 10% m/v, hidróxido de sodio al 40 % y disolución de sulfato ferroso preparada a partir de chatarra de acero al carbono.
El procedimiento en tres fases fue realizado a escala de laboratorio y también en una instalación que simulaba el tratamiento de los residuales a una escala de 25 litros, por tipo de reactor, se ilustra en la figura1.

Figura 1: Diagrama de flujo del miniescalado



El procedimiento general consiste en tomar 100 volúmenes del residual de cisterna, añadir las cantidades de hierro y aluminio, según el diseño, regular el pH hasta el valor requerido con suspensión de óxido de calcioe hipoclorito de sodio, agitando el tiempo de contacto t. A esta fase se la llama tratamiento primario y se realiza en el mezclador (1) y en el sedimentador

primario (2) de la figura 1. El líquido claro que emerge de (2) es sometido al tratamiento secundario en el mezclador (3) de la instalación.
La estabilización (tratamiento terciario) comienza en el mezclador-sedimentador secundario (4), donde tiene lugar la adición de alúmina para la regulación del pH. En el sedimentador secundario (5) ocurre la sedimentación de los últimos vestigios de contaminantes y finaliza en el filtro de arena y grava (6).

Para ajustar las condiciones del proceso de coagulación-sedimentación se aplicó un diseño simplex secuencial con cuatro variables, en las que fueron evaluadas características paramétricas, obteniendo las curvas de sedimentación conocidas como prueba de jarras.

Dichos experimentos se realizan con un residual acuoso de la cisterna de almacenamiento de la Planta de Producción del Centro de Bioactivos Químicos y tienen como objetivo introducir hierro (III) a partir de torneaduras acero al carbono. y alúmina. Los factores y niveles de dicho diseño se muestran a continuación.

Tabla I: Factores y niveles del diseño simplex secuencial

Variable	pH	$V(Fe^{3+})$, cm^3	$V(Al^{3+})$, cm^3	t, min
Z_j	6.5	10.00	10.00	80.00
ΔZ_j	3.0	17.30	16.33	253.4

La matriz codificada del diseño se ofrece en la tabla II, siendo la función respuesta la altura de la interfase sólido- líquido, medida en diferentes momentos con el fin de estudiar la cinética de sedimentación.

Tabla II: Matriz codificada del simplex

No. de experimento	Variables			
	pH	$V(Fe^{3+})$, mL	$V(Al^{3+})$, mL	t, min
1	8.0	29.98	26.66	120.04
2	5.0	29.98	26.66	120.04
3	6.0	0.00	26.66	120.04
4	6.5	20.00	0.00	120.04
5	6.5	20.00	20.00	80.00

Con los datos del diseño anterior se establecieron los niveles de disolución de hierro, alúmina, hipoclorito de sodio y lechada de cal así como se ajustaron los estadios del procedimiento a tres: tratamiento primario, tratamiento secundario, estabilización y vertido después de la filtración

Los niveles y factores para el tratamiento primario y secundario de los residuales en la planta de producción (diseño 2^{7-4}) se relacionan en la tabla III.

Tabla III: Factores y niveles para los tratamientos primario y secundario

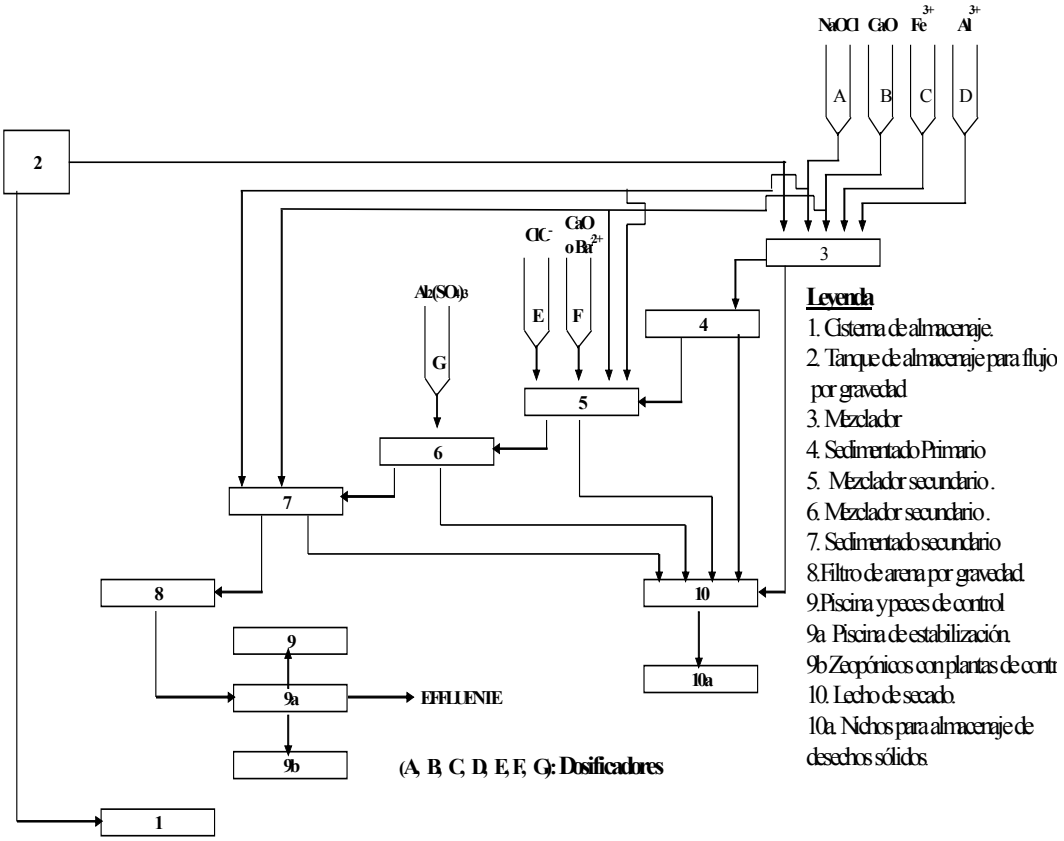
Tratamiento primario	Tratamiento secundario

Variables	$V(Fe^{3+}$ o $Fe^{2})$ mL	$V(Al^{3+})$ mL	pH	t min	$V(ClO^{-})$ mL	$V(Ba^{2+}$ o CaO), mL	$V(SO_4^{2})$ mL
Código	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
NS	4	4	8	30	10	10	12
NI	1	1	5	15	5	4	5

Las relaciones de contrastes de la matriz de diseño son:
$X_4 = X_1X_2X_3$; $X_5 = X_1X_2$; $X_6 = X_2X_3$; $X_7 = X_1X_3$
Para iniciar el proceso de generalización de esta tecnología se procedió a realizar la implementación de la misma en la Planta de Producción del Centro de Bioactivos Químicos aplicando 5 corridas experimentales en los módulos industriales diseñados originalmente. La conducción de los experimentos fue necesario hacerla en dicha instalación después de ajustar los sistemas de dosificación (figura 2).

Figura 2: Diagrama de flujo ensayado a nivel industrial

.



Las condiciones de operación de las 5 corridas experimentales realizadas se reflejan en la tabla siguiente:

Tabla IV: Condiciones de operación de la planta industrial

	C(X)	Velocidad de flujo(L/ min)

		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Tratamiento primario y secundario	Aguas residuales	14.4				
	Fe(III); Fe(II); 1.5%	0.3 $FeCL_3$				0.3 $FeSO_4$
	$AlCl_3$; 1.5%	0.30	0.30	no	no	no
	$Al_2(SO_4)_3$;3 y 5%	no	no	0.30	0.30	0.30
	NaOCl; 1:8	0.30	no	0.30	0.30	0.30
	CaO; pH	10.40	9.45	11.21	8.56	8.70
	$BaCl_2$(1%)	0.063	0.063	0.063	no	no
	$Al_2(SO_4)_3$. nH_2O	0.077	0.077	0.283	0.283	0.283
	CaO; 3^oBe	no	no	no	0.047	0.047
Filtración Estabilización	Filtración con filtro de arena					
	Reposo por 72 h o más hasta que C(Cl_2)< 1 ppm					

Nota:"no" significa que en ese tratamiento el reactivo especificado no se utiliza

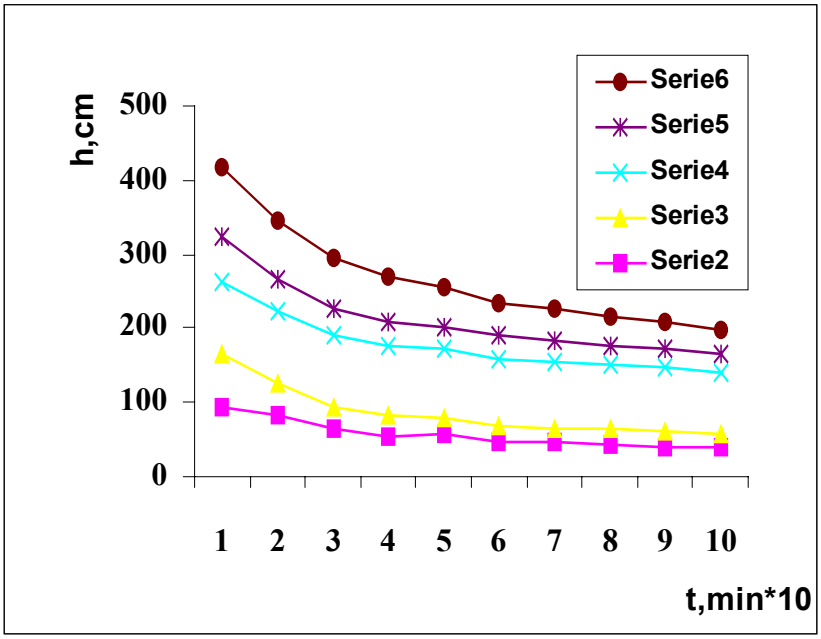
Resultados y Discusión

Los resultados del estudio cinético de la sedimentación correspondiente a las corridas experimentales del diseño simplex se muestran en la tabla V y figura 3.

Tabla V: Datos de la función respuesta de las pruebas de jarras

$t_{(min)}$	Experimentos					
	h, cm	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
15		95	71	98	61	92
30		81	45	96	45	79
45		63	32	95	37	69
60		55	27	94	33	60
75		56	24	92	31	53
90		47	22	91	29	46
105		45	21	90	28	41
120		43	20	88	27	38
135		41	19	86	26	36
150		40	19	80	26	34

Figura 3: Cinética de la sedimentación (prueba de jarras)



De la figura anterior queda demostrado que ocurre un proceso de sedimentación zonal bien definido.

En el tratamiento primario una de las funciones evaluadas fue la remoción de piridina que aparece en la tabla VI.

Tabla VI: Matriz de diseño y datos del tratamiento primario

Corrida	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	C(piridina) $mol.L^{-1}$	%R
1	-	-	-	-	+	+	+	0.4618	99.98
2	+	-	-	+	-	+	-	0.489	99.98
3	-	+	-	+	-	-	+	0.465	99.98
4	+	+	-	-	+	-	-	0.503	99.98
5	-	-	+	+	+	-	-	0.426	99.98
6	+	-	+	-	-	-	+	0.426	99.98
7	-	+	+	-	-	+	+	0.296	99.99
8	+	+	+	+	+	+	-	0.481	99.98

Como puede apreciarse se logra una casi total remoción de piridina con este procedimiento.

$$\% R\ piridina = 99.98 - 2.15.10^{-14} * C\ (Fe^{3+}) + 0.01 * C\ (Al^{3+}) + 0.015 * pH - 2.5.10^{-14} * t - 2.15.10^{-14} * ClO^{-} + 0.01 * CaO$$

En el caso del tratamiento secundario se hizo énfasis en evaluar la remoción y concentración final de bromuros, por ser el contaminante que queda en mayor proporción después del tratamiento primario. La tabla VII ilustra el comportamiento de este procedimiento frente a tal contaminante.

Tabla VII: matriz de diseño y datos del tratamiento secundario

Exp.	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	$C(Br^-)$ mol.L^{-1}
1	-	-	-	-	+	+	+	96.035 ± 4.23
2	+	-	-	+	-	+	-	84.315 ± 4.05
3	-	+	-	+	-	-	+	141.045 ±. 87
4	+	+	-	-	+	-	-	139.320 ± 0.00
5	-	-	+	+	+	-	-	162.460 ± 5.20
6	+	-	+	-	-	-	+	101.290 ± 0.00
7	-	+	+	-	-	+	+	197.370 ± 5.75
8	+	+	+	+	+	+	-	155.170 ± 5.09

Los valores finales de las concentraciones de bromuro son bajos comparados con los establecidos en las normas, no siendo factible disminuir tales concentraciones a niveles inferiores.

La ecuación de regresión se muestra a continuación

$$C(Br)^- = 134.6-14.6*pH + 23.6*C(ClO^-) +19.4* t +1.12C(CaO) + 11.24C(Al^{3+})$$

Los resultados analíticos de los tratamientos realizados se recogen en la tabla VIII

Tabla VIII: Algunas características químico- físicas de los estadios de tratamiento

Operación		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Residual de entrada C(X), ppm	pH	7,84±1.19	7.56±0.62	8.44±0.79	7.6±0.67	5.75±0.57
	Λ, mS/cm	59±0.046	1.33±0.1	1.05 ± 0.2	1.08±0.11	1.45±0.1
	DQO	93.76±1.83	42.26±1.9	7273±104	1406±21.8	1096±31.7
	$(Cl^-)_T$	460.2±12	67.4±1.3	442±27.2	863±10.1	157 ±4.6
	S.T.	9.57± 0.8	471±11.13	2105±44.9	1062±22.2	1402±83
	pi	≤ 56.9	≤ 56.9	≤ 56.9	≤ 56.9	≤ 56.9
	CS_2	≤492	≤492	≤492	≤492	≤492
	Furfural	≤450	≤450	≤450	≤450	≤450
	NM	≤ 500	≤ 500	≤ 500	≤ 500	≤ 500
Salida del tratamiento primario C(X), ppm	pH	10.4	9.45	11.21	8.56	8.7
	DQO	450±9.4	390±8.2	2919±75.2	1171±26.7	510±11.5
	%R DQO	55.80	57.20	59.86	16.71	53.46
	$(Cl^-)_T$	9321±18.8	943±27.4	779±27.4	725±15	446±11.4
Salida del tratamiento secundario C(X), ppm	pH	8.6±0.4	7.0±2.25	6.1±2.42	7.5±0.66	8.5±0.56
	DQO	0.0	0	142	756	573
	%R DQO	100	100	80.4	46.23	47.71
	$(Cl^-)_T$	1906	2541	10655	1164	912
Salida del filtro C(X), ppm	pH	6.7	7.0	7.3	8.5	7.0
	DQO	0.0	0.0	1186	819	368
	Λ, mS/cm	6.8	8.0	7.1	4.9	6.4
	Pi	5.14	5.13	2.53	2.25	2.17
Vertido a la laguna de oxidación C(X), ppm	pH	6.7	8.0	7.3	8.5	7.5
	DQO	0.0	0.0	199	137	61
	Pi	0.85	0.86	0.42	0.25	0.17
	St	625	824	972	714	790
	Stv	385	420	322	93	117
	St_F	240	404	272	604	669
	$(Cl^-)_T$	316	383	490	187	188
	Λ, mS/cm	<8	<8	<8	<8	<8

De la tabla anterior se nota que en los tratamientos donde no se añade la sal de bario la concentración de halogenuros en las aguas de vertimiento es baja, así como también los sólidos totales. A su vez los valores de DQO finales son inferiores en aquellos tratamientos en los que inicialmente este parámetro se encontraba más bajo.

La remoción de los contaminantes en el tratamiento 5, donde se utilizó sulfato de hierro (II), se comportó de manera similar a los tratamientos restantes en los cuales se empleó cloruro de hierro (III). La aplicación de este reactivo motiva que la concentración de halogenuros en el residual de salida sea lógicamente menor, lo que resulta beneficioso.

Las únicas corridas experimentales donde la DQO, a la salida del filtro, se encuentra por encima del valor de la norma cubana de vertimiento corresponden a los tratamientos 3 y 4.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente considerados se seleccionó el tratamiento número 5 para aplicarlo como procedimiento de descontaminación de la corriente residual líquida de la cisterna

A continuación se resumen los parámetros principales que caracterizan el régimen de operación tecnológica del tratamiento de los residuales mencionados, así como el resultado del control analítico, tablas IX y X.

Tabla IX: Régimen de operación de la tecnología de descontaminación de residuales en la planta de tratamiento del CBQ.

Variables	$Al_2(SO_4)_3.xH_2O$	NaClO	$Fe(SO_4)$	CaO	Residual acuoso	
					Volumen m^3	Caudal (Q), $L.s^{-1}$
m(X), kg	5.5	25.0	0.9	10.0	9	0.24

Tabla X: Resumen analítico del escalado Industrial

año	Corrida	V_T, m^3	Composición del efluente							
			pH	Λ mS/cm	C(X), ppm					
					Piridina	DQO	X^-	St	Stv	Stf
1997	1	9	7,3	4,0	2,70	400,0	300,0	400,0	200,0	200,0
	2	8	7,00	3,3	2,10	300,3	400,0	600,0	200,0	400,0
	3	9	7,1	4,8	2,50	160,0	530,0	800,0	400,0	400,0
	4	9	7,0	5,0	3,75	160,0	290,0	600,0	300,0	200,0
	5	9	6,9	4,2	2,85	239,5	320,5	500,0	310,0	190,0
1998	6	25	7,3	2,4	2,19	400,0	393,3	900,0	470,0	430,0
	7	30	7,0	4,0	2,80	395,0	280,0	700,0	400,0	300,0
1999	8	60	7,0	2,2	3,30	325,0	420,0	800,0	200,0	600,0
2000	9	7	6,9	2,5	2,10	174,0	147,0	500,0	300,0	200,0
	10	10	7,3	1,3	3,2	356,4	94,9	400,0	250,0	150,0
2001	11	20	7,8	1,43	2,3	284,06	200,3	500,0	300,0	200,0
	12	40	7,9	2,10	3,0	527,2	250,8	432,0	250,0	180,0
2002	13	20	7,2	1,10	2,7	400,3	245,0	450,0	200,0	250,0
	14	15	7,3	2,0	3,50	263,3	300,6	600,0	400,0	200,0
2003	15	20	7,5	2,65	3,3	400,5	43,6	1100	600,0	300,0
	16	20	7,1	2,10	3,0	395,5	221,6	530,0	200,0	330,0
	17	20	6,8	1,9	2,8	250,3	41,7	500,0	180,0	320,0
MEDIA	-	-	7,19	2,28	2.75	283,8	157,49	559,71	269,52	248,90

Nota: En la tabla St = sólidos totales; Stv = sólidos totales volátiles y Stf = sólidos totales fijos.

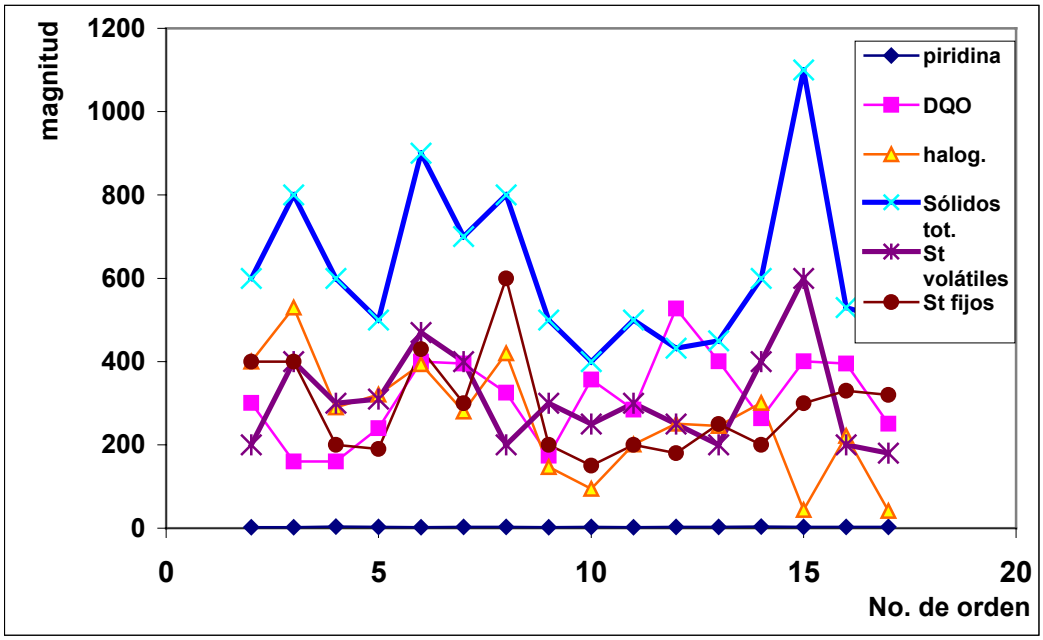
De las ocho variables o parámetros que fueron controlados en los efluentes de vertimiento, recogidos en la tabla anterior todos se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma cubana NC-27:1999. En el caso de la piridina los valores están por debajo de 5 ppm. La conductividad está, en todos los casos, en un rango satisfactorio. El valor del pH se encuentra entre 6.8 y 9.0 unidades, lo que se corresponde con los parámetros

internacionales aceptados para el vertimiento. Los valores de DQO, exceptuando tres casos, nunca alcanzan el valor límite establecido según la referida norma. El contenido de halógenos totales expresado como cloruro se encuentra estandarizado ligeramente por encima del valor aceptable para el vertimiento a los ríos, por lo cual el parámetro es adecuado si se tiene en cuenta que la planta vierte a una laguna de oxidación . En cuanto a los sólidos totales volátiles y fijos los tratamientos químico físicos generalmente aportan sólidos inorgánicos; en este caso la combinación de tratamientos realizada posibilita la formación de sales solubles entre las que se encuentran las de aluminio y calcio. Así mismo la baja conductividad del efluente indica que este no presenta una carga salina excesiva. En cuanto a otros posibles contaminantes orgánicos no se detectan componentes tales como disulfuro de carbono, nitrómetano, furfural, G-O, G-1 ni otros compuestos. Lo anterior puede ser inferido de los datos químicos analíticos expuestos anteriormente sobre la eficiencia de este tipo de tratamiento.

La figura 4, representa el comportamiento y la eficiencia del tratamiento a lo largo de 7 años de aplicación en las instalaciones del Centro de Bioactivos Químicos, en 17 corridas experimentales, tomadas al azar de los registros de vertimiento, las mismas muestran una buena estabilidad del proceso con sólo pequeñas desviaciones en el parámetro sólidos totales (St).

.

Figura 4: Comportamiento gráfico del tratamiento en 17 corridas experimentales de 7 años.



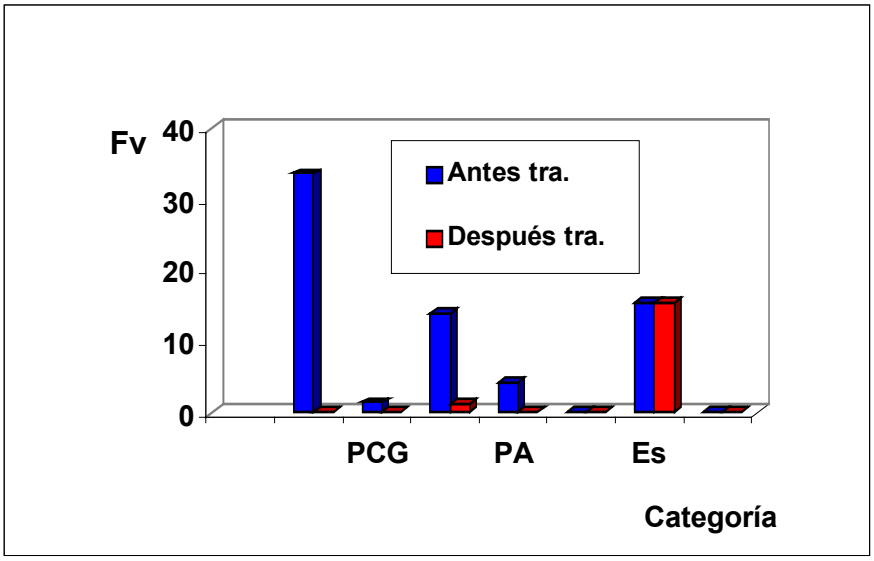
Por otra parte fue evaluado el impacto ambiental de los contaminantes generados en el proceso de producción de G-1, considerando el Eco-Indicador 95, antes y después del tratamiento. En la tabla XI y figura 5 se presentan los resultados obtenidos al evaluar las categorías de impacto consideradas.

Tabla XI: Comparación del impacto antes y después del tratamiento

Categoría	Factor de valorización (Fv)	
	Antes del tratamiento	Después del tratamiento
PFO	33.73	0.0000245
PEu	71977	485
PCG	1.369	0.00272
PPS	140.55	13.3
PA	4.26	0.0
PDCO	0.038	0.0
Sólidos	1541	1541
PTMT	0.0	0.035

Figura 5:

Representación gráfica del impacto ambiental de contaminantes



De los valores obtenidos es evidente la disminución experimentada por efecto del tratamiento propuesto en las siguientes categorías de impacto: PFO, PCG, PPS, PA y PEu,

Conclusiones

1. Ha sido desarrollado un procedimiento químico-físico, basado en operaciones de coagulación, floculación y sedimentación para el tratamiento de las corrientes residuales líquidas procedentes del proceso de producción de 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano.

2. El procedimiento desarrollado para la desactivación de los residuales mencionados garantiza el cumplimiento de los parámetros de vertimiento establecidos en las normas cubanas, para los contaminantes estudiados.

3. El tratamiento realizado a los residuales procedentes del proceso de producción de 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano causa una disminución apreciable del impacto ambiental de los contaminantes tratados de acuerdo al Eco- Indicador 95.

Bibliografía

1. Castañedo, N. y otros (1995) ,Obtención y acciones como microcida del 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano , concedida en Cuba No.2246, Japón No.3043003 y No.2875969, Canadá No.2 147 594, Europa No.95500056.7.
2. Gaytán E. y otros (2001), Tratamiento de residuales del LPBQ. Conferencia Internacional Medio Ambiente Siglo XXI, UCLV, Villa Clara , Cuba
3. Morrison R. T. y Boyd R. N. (1983). Química Orgánica,(4 ta edición". Fondo Educativo Interamericano, México), pp. 1275-1276.

ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUALES LIQUIDOS DEL CENTRO DE BIOACTIVOS QUIMICOS

ANALISYS OF ALTERNATIVES FOR THE TREATMENT OF THE RESIDUAL LIQUIDS FROM THE CHEMISTRY BIOACTIVES CENTER

Autores: MsC. Silvio Freddy Pérez Perera, Dr.Elena Rosa Domínguez, Dr.Josefina Jover de la Prida, Osvaldo Fernández Ariz, Mirtha Mollinedo Pérez

Universidad Central de Las Villas, Facultad de Química-Farmacia, Centro de Bioactivos Químicos
E-mail: jjover@qf.uclv.edu.cu.

Resumen

El presente trabajo aborda la problemática de la contaminación ambiental para residuales líquidos en la Industria Química Farmacéutica. Para la solución de la misma se comienza con una caracterización de todas las corrientes por talleres que se generan en la producción de Principios Activos, así como la unión de las mismas conformando el residual mezclado o afluente que será procesado, posteriormente se proponen Alternativas de Tratamientos utilizando diferentes agentes coagulantes y el mismo auxiliar y los resultados son analizados con el fin de proponer Tratamientos Físicos - Químicos y Biológicos donde la etapa de coagulación floculación sedimentación sea eficiente, y donde los microorganismos sean capaces de adaptarse, reproducirse y biodegradar la materia orgánica presente en el residual. En la propuesta de Alternativas de Tratamientos de las aguas residuales farmacéuticas se determina la eficiencia del agente coagulante, así como su dosis adecuada y rangos de pH.

Desde el punto de vista técnico económico se selecciona la mejor alternativa de acuerdo a los resultados obtenidos y se propone en el sistema de tratamiento instalado remodelaciones o creación de nuevos sistemas auxiliares con el objetivo de hacer más factible las operaciones y obtener efluente con mejor calidad, preservando el medio ambiente.

Palabras claves: Alternativas de tratamientos, tecnología, contaminación ambiental

Summary

The present work approaches the problematic one of the environmental contamination for residual liquids in the Pharmaceutical Chemical Industry. For the solution of the same one he begins himself with a characterization of all the currents by factories that are generated in the production of Active Principles, as well as the mixed residual union of the same ones conforming or the affluent one that will be processed, later set out. Alternatives of Treatments using different coagulating agents and the same aid and the results are analyzed with the purpose of proposing Physical Treatments - Chemical and Biological where the coagulation stage flocculation sedimentation is efficient, and where the microorganisms are able to adapt, to reproduce and to biodegradar the organic matter present in the residual one.

In the proposal of Alternatives of Treatments of pharmaceutical residual waters one determines the efficiency of the coagulating agent, as well as its suitable doses and ranks of pH. From economic the technical point of view the best alternative according to the obtained results is selected and it sets out in the system of installed treatment remodelings or creation of new auxiliary systems with the objective to conduct the operations more feasible and to obtain efluente with better quality, preserving the medio.ambiente.
Key words: Alternatives of treatments, technology, environmental contamination.

Introduccion

Desde edades tempranas el desarrollo de la humanidad el hombre ha depositado sobre el medio natural los residuos de su actividad vital y productiva. En la actualidad con la rápida aceleración del desarrollo científico técnico se depositan cantidades cada vez mayores de estos residuos sobre el medio natural, corriéndose el riesgo de sobrepasar la capacidad autodepuradora de la naturaleza y con ello el rompimiento hombre - naturaleza considerándose que el deterioro acelerado y creciente del mundo es hoy en día posiblemente el peligro a largo plazo más grave que enfrenta toda la especie humana en su conjunto, demostrando que los hombres deben aprender a servirse del medio y no combatirlo necesitando trabajar fuertes y unidos para asegurar el bienestar de la humanidad y el disfrute de los derechos básicos incluyendo el derecho a la vida según lo expresó Fidel en el Mensaje a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, concluyendo que una importante especie biológica está en riesgo de desaparecer por la rápida y progresiva liquidación de sus condiciones naturales de vida " El Hombre " .

La Industria Química Farmacéutica y la Biotecnología comienza a tomar auge en nuestro país en la década de los 80 donde se comienza a construir centros de investigación y nuevas plantas de producción para la obtención de nuevos medicamentos, vacunas, creación de nuevas entidades moleculares entre otras, dentro de las que se encuentra el Centro de Bioactivos Químicos, el cual es objeto de estudio para realizar dicho trabajo. El mismo se dedica a la producción investigación comercialización donde se producen Bioactivos de amplios espectros, fungicida - bactericida y en estos momentos se encuentra en las áreas productivas el taller para la formulación del Vitrofural utilizado como esterilizante químico en Vitroplantas. Por la necesidad de medicamentos existente en nuestro país se hace necesario en el Laboratorio de Producción de dicho centro, profundizar en el perfeccionamiento de los procesos tecnológicos y elevar la calidad de producción debido a la importancia que revisten los Principios Activos en la sustitución de importaciones y el ahorro de divisas. Algunos de estos productos han sido utilizados para la elaboración de medicamentos aplicados en la medicina veterinaria, medicina humana y sanidad vegetal.

El objetivo fundamental de este trabajo es proponer Alternativas de Tratamiento o variantes que pueden ser implantados en el Centro de Bioactivos Químicos para reducir o eliminar la contaminación ambiental, haciendo un uso racional de los recursos disponibles y obteniendo resultados que permitan obtener un efluente de alta calidad para posteriormente ser vertido a alcantarillado.

Materiales y métodos

Primeramente se realiza una caracterización físico químico por cada taller de los residuales del CBQ, para ello es necesario tener en cuenta los contaminantes específicos de dichas producciones, los volúmenes y el grado de contaminación que este aporta para la selección de una tecnología adecuada en función de las necesidades del proceso productivo, además se debe realizar un análisis de otros parámetros generales que sean necesarios y brinden la información exacta a la hora de tomar decisiones como es el muestreo, teniendo en cuenta como se realiza y la homogeneidad de dicho residual, el rango de pH de acuerdo al agente coagulante utilizado, para que se logre una efectividad en la etapa de coagulación floculación sedimentación.

Para comenzar a efectuar dicha caracterización, se comienza por conocer con profundidad todas las corrientes residuales que tributan al efluente total por talleres, así como la composición de las mismas en cuanto a los contaminantes químicos fundamentales o indicadores propios de este estudio.
Se realiza a escala de cada taller una determinación de cuantas síntesis se realizan en un día de trabajo, comprobándose que sólo se trabajaría en el Taller de Materia Prima una vez a la semana con todos los equipos llenos, en los Talleres de Síntesis Orgánica para obtención de Principios Activos se trabaja con un reactor por taller de capacidad 6 litros cada uno y estarían en función de estos los Talleres de Purificación, Control de Procesos, Control Analítico de Residuales, así como el Taller de Vitrofural que no fueron objeto de estudio para la caracterización, pues solo aportan aguas de lavado, se realiza un estudio del consumo de agua de lavado por taller y de esta forma se estima el volumen total de los residuales líquidos del CBQ. Se realizan tres corridas por taller y el promedio de estas es utilizado para el estudio de caracterización de cada taller de producción. El Furfural y Nitrometano se cuantifica por Cromatogafía Gaseosa y el G-0, G-1 y la Piridina por HPLC. Los demás análisis se hacen por las técnicas convencionales que existen.
Para caracterizar el residual mezclado se realiza como se describe a continuación: para formar la muestra de residual mezclado se realizaron tres corridas experimentales por taller de producción cuantificando los principales contaminantes y la dilución real, después se unieron todos los residuales de los diferentes talleres llevados a un volumen total de 1L por taller para formar dicha muestra homogénea, fue evaluada analíticamente por Cromatografía Gaseosa y HPLC. El promedio de las tres corridas con el residual mezclado y su evaluación es quien define su composición y volumen, que es realmente el residual almacenado en cisterna de la Planta de Tratamiento del CBQ. El residual mezclado por su composición es un residual altamente contaminante de carga orgánica alta y la concentración de las diferentes sustancias que intervienen en los procesos productivos es diversa dada por las corrientes residuales que se mezclan.

Alternativas de tratamiento para los residuales líquidos del CBQ.

Agentes coagulantes utilizados:

0. Sulfato Férrico al 3 %.
1. Sulfato Ferroso al 2,5 %.
2. Sulfato de Alúmina al 4 %.
3. Cloruro Férrico al 1,5 %.

Como auxiliar de la coagulación se utilizó el óxido de calcio al 3 B^{o}e.

Análisis de Alternativas

En el análisis de alternativas se utiliza un diseño de experimentos: Diseño factorial 2^2.

Variables/Alternativas		0	1	2	3
1. Agente coagulante	nivel máx.	40	50	50	87,5
	nivel mín.	30	40	40	78
2. Auxiliar de la coagulación	nivel máx.	15	12	12	15
	nivel mín.	10	8	10	8

Resultados y discusión

Caracterización por Talleres de los Residuales Líquidos del CBQ:

Taller de Recuperación de Materia Prima.

<u>Características Físico-Químicas:</u>

Color: amarillo - carmelita Conductividad= 823 S

Olor: irritante - penetrante
pH= 2,18
SF= 1899,33 mg/L
Turbidez= 957,9 NTU
Color= 5333,33 U
Furfural= 9137,43 mg/L
NM= 281,76 mg/L
G-1= 11,28 mg/L

ST= 5722,33 mg/L
SV= 3823,0 mg/L
H_tCL= 798,1 mg/lts
Detergente= 151,66 mg/L
DQO= 163283,66 mg/L
H_tBr= 1806,85 mg/L
G-O= 52,36 mg/L
Piridina= 716,78 mg/L

Taller de Síntesis de G-O

Características Físico-Químicas:

Color: Carmelita claro
pH= 7,6
DQO= 1671,9 mg/L
ST= 374,33 mg/L
SF= 184,00 mg/L
G-O: no se detecta
Furfural= 10,76 mg/L
Detergentes= 55,0 mg/L

Olor: irritante - poco penetrante
Ht CL= 61,4 mg/L
Turbidez= 123,51 NTU
SV= 190,33 mg/L
Color 944,66 U
Conductividad = 403 S
Nitrometano: no se detecta

Taller de Síntesis de G-1

Características Físico-Químicas:

Color: amarillo claro
pH= 6,35
DQO = 1413, 86 mg/L
HtBr= 167, 06 mg/L
SV= 265,66 mg/L
Turbidez= 59,73 NTU
G-1= 1,74 mg/L
Piridina= 24.21 mg/L

Olor: irritante
Conductividad = 400 S
H_tCL = 74, 06 mg/L
ST= 481, 33 mg/L
SF= 215,66 mg/L
Color= 100 U
Detergentes= 56 mg/L

Caracterización de los Residuales Mezclado del CBQ.

Características Físico-Químicas:

T ^oC = 23^oC
pH = 4,22

Conductividad = 663, 33 S

H_tCL= 254, 1 mg/L

H_tBr = 559, 93 mg/L

DQO= 32770, 66 mg/L

$(DBO)_5$= 110,7 mg/L

ST= 1613,33 mg/L

SV= 923,66 mg/L

SF= 689,66 mg/L

Color: carmelita - naranja

Olor: penetrante - irritante

Turbidez= 610,6 NTU

Detergentes= 61,66 mg/L

Piridina= 145,28 mg/L

G-O= 128,19 mg/L

G-1= 40, 33 mg/L

Furfural= 1736, 04 mg/L

Nitrometano= 207,50 mg/L

Color= 3400 U

V total = 5,62 m^3/L

Tabla I. Análisis de Alternativas

Ciclo/Parámetro	0	1	2	3
pH	7-7,95	7,7-8,75	7-8,1	6,5- 6,9
Conductividad.	1500-1650	1000-1450	1900-2000	1000-1110
Color	2500-3000	2000	2000	1750
DQO	7840-12413	6586-10868	12240-18200	19760-23500
Turbidez	194-272	149-165	202-223	153-191
Piridina	44-64	19-49	79-105	125-143
G-0	0,81-1,31	0,36-1,07	28-95	1,15-139
G-1	0-0,22	0-0,27	0-0,41	0-14,41
Furfural	629-1106	0-1034	1142-1484	944-1205
Nitrometano	0-179	0-57	0-44	22-53

Aunque se seleccionó como mejor alternativa la No. 1, (Tabla I) el efluente obtenido no cumple con los requisitos para ser vertido al alcantarillado, por lo que se propone realizar un tratamiento biológico adicional al tratamiento físico-químico.

Este tratamiento esta comprendido como una aireación prolongada por el tiempo de retención y la unión del micro organismo con el sustrato, además el factor de carga se encuentra en el rango establecido según este tipo de aireación, y se logra como parámetro fundamental remover la piridina como indicador de más lenta o difícil biodegradación. En las tablas II y III se muestran las características del lodo utilizado y del lodo adaptado.

De las cuatro alternativas de tratamiento propuesta se obtienen altos por ciento de remoción en la alternativa con Sulfato férrico y Sulfato ferroso en cuanto a Furfural, Nitrometano, G-O, G-1, Isobutilamina, Color, turbiedad, todas por encima del 80% no siendo así la DQO, la piridina y los sólidos siendo necesario utilizar un tratamiento biológico, adaptar la cepa y comprobar su reproducción a medida que iba disminuyendo la materia orgánica expresada como DQO, en los tres ciclos de operación como puede observarse en la Tabla IV se logra degradar la materia orgánica en un tiempo de 168 horas hasta un valor de 8.36 mg/l, en 216 horas hasta 7.82 mg/l y con 264 horas hasta 2.72mg/l, demostrando que los microorganismos degradan el compuesto de más lenta biodegradación en un determinado tiempo, hasta niveles permisibles según norma de vertimiento.

Tabla II. Características del lodo utilizado

PH (U)	Conduct. (S)	DQO (mg/L)	$(DBO)_5$ (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SSF (mg/L)	M.O /ml
8,2	560	413,8	110	3900	1450	1400	➢ $1x10^5$ Hongo $1x10^5$ bacterias

Tabla III. Características del lodo adaptado

PH (U)	Conduct. (S)	DQO (mg/L)	$(DBO)_5$ (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SSF (mg/L)	M.O/ml
7,4	400	1392,2	80	4000	3200	800	$1x10^6$ hongos y bacterias

Tabla IV. Resultados por ciclos de operación

Ciclo/Parámetro	1	2	3
pH	7,6	7,7	7,8
Conductividad	1250	1200	1100
DQO	688,8	695,6	675,8
DBO5	103,5	210,3	125
SST	3550,5	3250,05	4525
SSV	3380,3	2650,5	2922
SSF	670,2	599,5	1103
MO/mL Bacterias	$> 10^6$	$> 10^6$	$> 10^6$
MO/mL Hongos	$> 10^6$	$> 10^6$	$> 10^6$
Piridina	8,36	7,82	2,72

Conclusiones

1. El residual del Centro de Bioactivos Químicos es sumamente ácido tendiendo a ser el proceso de coagulación floculación lo mas eficiente posible a pH ligeramente alcalinos.
2. Se logra remover por procesos de coagulación floculación sedimentación los principales contaminantes que aporta al laboratorio a niveles relativamente bajos, según los diferentes Alternativas propuestas, incluyendo Furfural, Nitrometano, G-O, G-1 y Piridina entre otros.
3. De acuerdo a las Alternativas de Tratamiento propuesta se escoge como la más idónea la alternativa No.1 pues se logra obtener parámetros intermedios muy buenos, siendo necesario para realizar un vertimiento adecuado, utilizar un Tratamiento Biológico Aeróbico capaz de biodegradar la mayoría de los compuestos químicos presentes en ese residual.
4. Los microorganismos presentes en el lodo de la línea de retorno del Combinado Textil Desembarco del Granma son capaces de adaptarse y reproducirse en presencia de los residuales químicos farmacéuticos.

Referencias

1. Gelman, P. (1990), Introducción a la digestión de los residuos industriales tóxicos y peligrosos. *Afinidad* 52, 67-72.
2. Hernández, A. (1994), Depuración de Aguas Residuales (Paraninfo S.A. ed.) Madrid, pp.154-160.
3. Menéndez, C. (1982), Transferencia de oxígeno en sistemas biológicos. *Ingeniería Hidráulica* 2, 15-21.
4. Alabaster, J. (1991), Waste water Engineering. Treatment disposal and Reuse (Mac Graw H. ed.). Metcalf and Eddy Inc, New York, pp 45-56.

SISTEMA DE PROCEDIMIENTOS EN LA CONSIDERACION DE LA INCERTIDUMBRE EN EL DESARROLLO DE TECNOLOGIAS LIMPIAS QUE EMPLEAN LA BIOMASA DE LA CAÑA DE AZUCAR COMO MATERIA PRIMA.

PROCEDURE SYSTEMS IN THE CONSIDERATION OF THE UNCERTAINTY IN THE DEVELOPMENT OF CLEAN TECHNOLOGIES THAT USES THE SUGAR CANA BIOMASS AS A RAW MATTER.

Autores: Ing. Yenlys Cata Salgado[(1)], Dr. Sc. Erenio González Suárez [(2)] ,MSc. Meylin González Cortes[(3)], Dr. Jose Turrado Saucedo [(4).]

(1)Centro de Innovación Tecnológica. Universidad Central Marta Abreu de las Villas. erenio@rectorado.uclv.edu.cu
(2)Departamento de Ingeniería Química. Universidad Central Marta Abreu de las Villas. yenlys@qf.uclv.edu.cu
(3)Centro de Análisis de Procesos. Universidad Central Marta Abreu de las Villas. mgonzalez@qf.uclv.edu.cu
(4)Departamento de pulpa y celulosa de papel .Universidad de Guadalajara. México

Resumen:
En el trabajo se expone la experiencia de aplicación de un sistema de procedimientos que consideran las diferentes manifestaciones de la incertidumbre, en el desarrollo de un proceso tecnológico, que emplea la biomasa como materia prima, con el objetivo de lograr la introducción de una tecnología más limpia en una instalación de los derivados de la caña de azúcar.
Los procedimientos empleados están respaldados por una estrategia heurística para lograr un estudio multilateral del nuevo proceso estudiado. Se expone la experiencia en el diseño de un proceso tecnológico para la producción de papel onda.
Palabras claves: incertidumbre, biomasa, derivados, caña de azúcar.

Summary:
In the work the experience of application of procedure systems is exposed. This system considers the different manifestations of the uncertainty, in the development of a technological process that uses the biomass as raw matters, with the objective of achieve the introduction of a cleaner technology in a derived of the sugar cane installation.
The used procedures are supported by a heuristic strategy to achieve a multilateral study of the new studied process. The experience is exposed in the design of a technological process for the production of board paper.
Keywords: uncertainty, biomass, derived, sugar cane.

Introducción.

El desarrollo potencial de la industrial a partir de la caña de azúcar, se fundamenta en las posibilidades la biomasa como fuente de energía y de productos químicos, y será económicamente factible solo mediante

una sólida integración agroindustrial, pues en la evolución del uso de los subproductos nos encontramos ahora en el momento en que las producciones derivadas comienzan a integrarse estrechamente con las azucareras, de modo que pueden aprovecharse las ventajas de una y otra producción desde el punto de vista tecnológico, energético y de situaciones coyunturales del mercado azucarero donde los residuos agrícolas y efluentes industriales correctamente utilizados puedan pasar a jugar un papel importante en la competitividad de la industria de la caña de azúcar.

Cuando se desarrollan nuevos procesos industriales partiendo de procedimientos de laboratorio, se acrecientan las dudas en el diseño de la instalación industrial, toda vez que operaciones de manipulación de fluidos, calentamiento o separación- por citar ejemplos- se ejecutan en muchas ocasiones en el laboratorio por procedimientos impracticables industrialmente, por lo que deben proyectarse soluciones de ingeniería en el escalo industrial de estos procesos tecnológicos que necesariamente tendrán una gran incidencia en la factibilidad y viabilidad técnica, económica del proceso estudiado.

El desarrollo tecnológico de la industria química, está vinculado también a la incertidumbre y este proceso no esta exento de esto por lo que se propone la aplicación la metodología planteada por *González E. (2003)* donde se abordan las cuatros direcciones planteadas por *Rudd (1980)* las cuales son:

- Los cambios en la relación capacidad de producción instalada y demanda de productos.
- El entorno, tanto económico como ambiental.
- Los parámetros tecnológicos.
- La disponibilidad de los equipos.

En adición a estos aspectos debemos mencionar, considerando la experiencia de los últimos lustros, los estudios de incertidumbre financiera.

Materiales y métodos:

La vida útil de una instalación industrial necesariamente se extiende hacia el futuro, por lo tanto el diseño óptimo debe tratar de asegurar las mejores condiciones futuras, de manera que mientras más incierto e impreciso es el pronóstico, más incierto e impreciso es el diseño óptimo, sin embargo, lo característico es que acometamos solamente el paso inicial en una larga campaña de producción, que implicará la construcción de varios sistemas tecnológicos a través de los años por lo que el pronóstico es indispensable debido a que los errores en las respuestas del sistema tecnológico a las demandas futuras son penalizados costosamente, lo que refuerza la necesidad de determinar el mejor tamaño inicial en un sistema de procesos, así como las variables requeridas para su diseño y construcción, lo que se logra con un acertado sistema de pronostico que descanse en una adecuada gestión de conocimiento en concordancia con una conducta proactiva que permita aprovechar las oportunidades que el desarrollo científico técnico pueda brindar a la competitividad de las tecnologías que se instalan.

La consideración de estos diversos aspectos ha sido abordada en Cuba por diferentes autores, destacándose : los resultados en el análisis de ampliación y reconstrucción de fabricas de papel combinado por primera vez junto con el análisis técnico económico, los aspectos concernientes a la incertidumbre *Gallardo(1990*), la sistematización de los aspectos concernientes a los procedimientos para desarrollar instalaciones de la industria de procesos químicos partiendo de los estudios de laboratorio *Villanueva, (1990*), los aspectos concernientes en la consideración de la incertidumbre tecnológica en los diseños de los sistemas de control de equipos de la industria de procesos químicos *Peralta, (1993),* aspectos que fueron incluidos como propuestas metodológicas para la ejecución de los estudios de alternativas de desarrollo y perfeccionamiento de la industria azucarera mediante el incremento de la producción de alcohol en *González, (1995),* lo que anticipó la posterior demostración de la necesidad y posibilidades de incluir los estudios de optimización de la disponibilidad y los valores inversionista de los sistemas tecnológicos de la industria de procesos químicos mediante la consideración de la incertidumbre en la fiabilidad de los equipos en la etapa del diseño de las instalaciones de la industria química *Rosa,*

(1996), los aportes metodológicos para la consideración y tratamiento de la incertidumbre en los datos de diseño de equipos de la industria de procesos químicos *Pedraza, (1996).*

Los trabajos de modificación de tecnologías industriales existentes, adecuadamente aplicado en el estudio de la combustión y contaminación ambiental de los petróleos en Cuba utilizados en las Centrales termoeléctricas, considerando la incertidumbre en los parámetros tecnológicos en la aplicación de los métodos exergéticos en tan cardinal, entonces y ahora, problema de la economía nacional *López, (1996),* así como en considerar la incertidumbre en las formulaciones de las mezclas de materias primas y condiciones de operación tecnológica en la producción de cerámica técnica *Garcés, (1996),* así como considerando la incertidumbre en el escalado industrial de nuevas alternativas de procesos tecnológicos desarrollados en los laboratorios en especifico en decoloración de la cera dura de caña de azúcar por vía química de *León, (1999)* y en extracción de alcoholes de alto peso molecular a partir de la cachaza y sus derivados *Vera, (2000)* han permitido optimizar esquemas y alternativas de conducción de los procesos industriales abriendo nuevas alternativas en la obtención de productos de alto valor agregado.

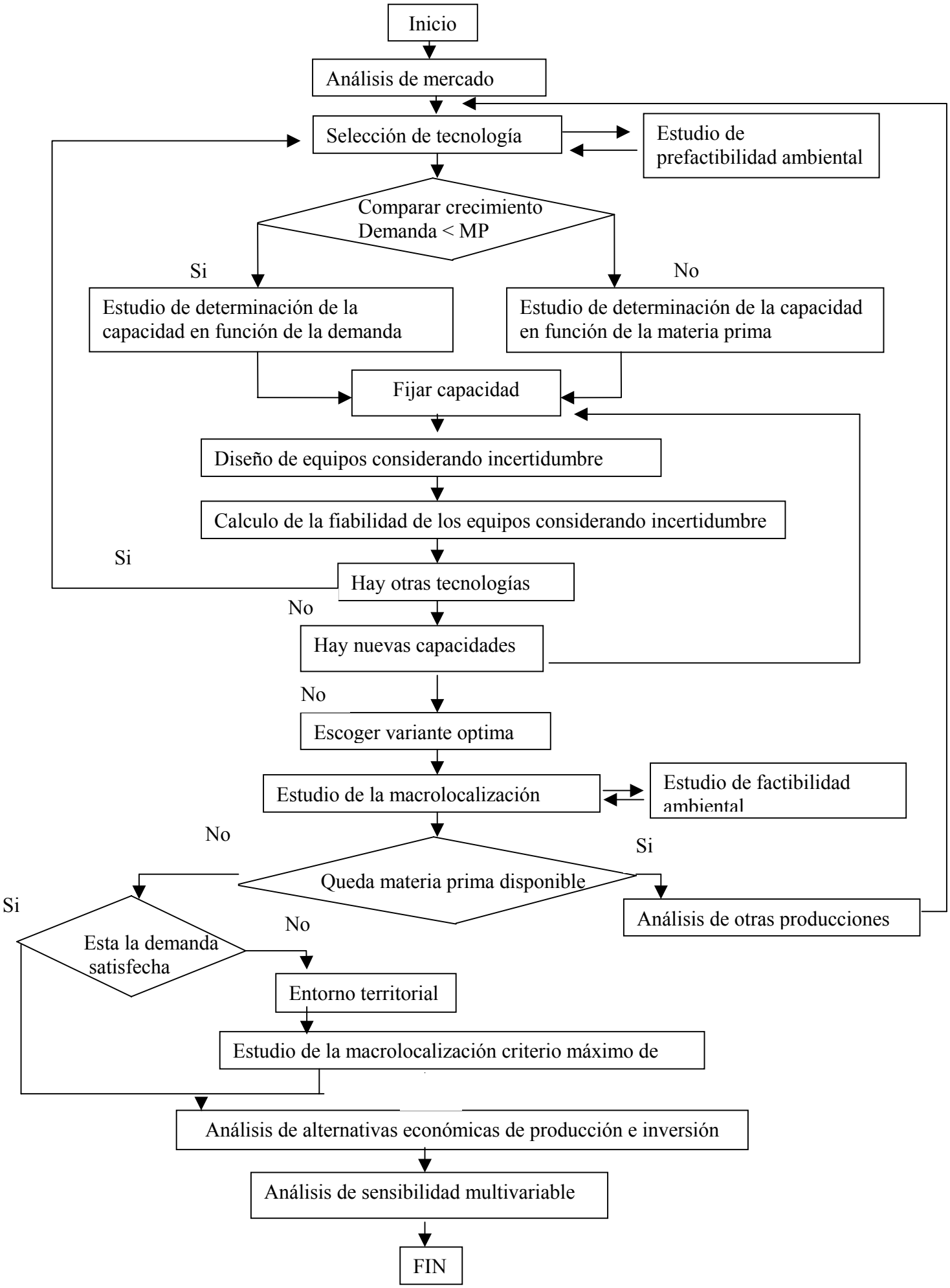
El aumento de capacidades industriales de producciones existentes, ha sido abordado tanto para la ampliación de capacidades considerando la incertidumbre en aspectos tecnológico utilizando modelos tecnológicos de etapas existentes y de otras previstas desde el laboratorio para la determinación matemática de capacidades óptimas de ampliación o creación de nuevas instalaciones *Santos, (1997),* una visión novedosa de la consideración de la incertidumbre a los cambios futuros ha sido dada al combinar los estudios de demanda de los productos, con los de disponibilidad de las materias primas, aspecto característico de los procesos industriales que emplean la biomasa como materia prima *Oquendo, (2002)* e incorporando a los estudios de capacidad el problema de la toma de decisiones de macrolocalización considerando también la incertidumbre financiera que es actualmente de vital importancia.
Los estudios de factibilidad en la producción de materias primas para la fabricación de consumibles de soldadura a partir de minerales cubanos donde la incertidumbre en las compasiones de los minerales fue contemplada y minimizada. *Carrillo,(2000).*

Resultados y discusión:

Se plantea una metodología general por *González, (2003)* que abarca todos los tipos de incertidumbres tratados hasta el momento en el país la misma es representada en el esquema de la figura I.
Esta metodología ha sido aplicada al proceso de producción de papel onda a partir del pulpeo con etanol, donde se tiene que considerar la incertidumbre en los cambios futuros, por lo que es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La demanda del mercado y sus cambios en el futuro.
- La incertidumbre en las disponibilidades y características de materias primas.
- Los costos de transportación de las materias primas y de productos terminados.
- Incertidumbre en los datos de diseño.
- Disponibilidades de tecnologías para este proceso.
- Incertidumbre en los niveles de las capacidades iniciales de acuerdo a las demandas del mercado, de su evolución y las incertidumbres de los parámetros financieros.
- Incertidumbre en la fiabilidad y disponibilidad de los equipos.
- Incertidumbre en el impacto ambiental.

Figura I: Metodología para disminuir la incertidumbre en el proceso de producción de papel onda a partir del pulpeo con etanol.


Inicio
Análisis de mercado
Selección de tecnología
Estudio de prefactibilidad ambiental
Comparar crecimiento Demanda < MP
Si
No
Estudio de determinación de la capacidad en función de la demanda
Estudio de determinación de la capacidad en función de la materia prima
Fijar capacidad
Diseño de equipos considerando incertidumbre
Calculo de la fiabilidad de los equipos considerando incertidumbre
Si
Hay otras tecnologías
No
Hay nuevas capacidades
No
Escoger variante optima
Estudio de la macrolocalización
Estudio de factibilidad ambiental
No
Si
Queda materia prima disponible
Si
Análisis de otras producciones
Esta la demanda satisfecha
No
Entorno territorial
Estudio de la macrolocalización criterio máximo de
Análisis de alternativas económicas de producción e inversión
Análisis de sensibilidad multivariable
FIN

Esta metodología ha sido organizada en un orden lógico considerando todos los tipos de incertidumbres tratadas en el país, de manera tal que permitiera aplicarla a cualquier proceso:

Análisis de mercado (incertidumbre con relación a los cambios futuros): aquí se hace el estudio de mercado donde se tiene en cuenta la demanda del mercado, los proveedores, distribuidores y sus cambios en el futuro.

Selección de tecnología (incertidumbre en los parámetros tecnológicos): se considera la incertidumbre en las disponibilidades existentes en el país de los conocimientos y la información para la asimilación y diseño de las tecnologías para el proceso en estudio.

Estudio de prefactibilidad ambiental (incertidumbre en el impacto ambiental): en este paso se considera la incertidumbre en el impacto ambiental que pueda tener el proceso en estudio teniendo en cuenta las alternativas tecnológicas y el entorno de manera tal que permita escoger la mejor tecnología medio ambientalmente sostenible.

Comparar el crecimiento entre la demanda y la materia prima (incertidumbre en la disponibilidad y características de materias primas) : se tiene en cuenta la incertidumbre en las disponibilidades y características de materias primas y la demanda del producto.

Estudio de la determinación de la capacidad en función de la demanda (incertidumbre en los cambios en la relación capacidad de producción instalada y demanda de productos): aquí se tiene en cuenta la incertidumbre en los niveles de las capacidades iniciales de acuerdo a la demanda del producto en este caso esta ultima es menor que las materias primas disponible.

Estudio la de determinación de la capacidad en función de las materias prima (incertidumbre en los cambios en la relación capacidad de producción instalada y demanda de productos): aquí se tiene en cuenta la incertidumbre en los niveles de las capacidades iniciales de acuerdo a las materias primas disponible en este caso esta ultima es menor que la demanda del producto.

Fijar la capacidad(incertidumbre en la capacidad de la planta): en este paso para fijar la capacidad de la planta se tiene en cuenta todos los aspectos mencionados anteriormente.

Diseño de equipos considerando incertidumbre(incertidumbre en los parámetros tecnológicos): se considera la incertidumbre en los datos de diseño de los equipos, donde se deben hacer experimentos para disminuir la incertidumbre en los datos, teniendo en cuenta si se desea diseñar un equipo o una planta completa, para más tarde realizar las simulaciones deseadas y establecer el perfil de incertidumbre de cada componente del proceso, y se hace un análisis económico para escoger la variante optima.

Calculo de la fiabilidad de los equipos(incertidumbre en la disponibilidad de los equipos): se considera la incertidumbre en la fiabilidad y en la disponibilidad de los equipos para la construcción del diagrama de fiabilidad, que permita obtener la función de fiabilidad de cada equipo y seleccionar el tiempo para realizar el mantenimiento, además permite obtener el numero de equipo en cada etapa y la fiabilidad del sistema, para obtener el máximo rendimiento económico de la inversión, se realiza una análisis económico para escoger la variante optima.

Hay otras tecnologías(incertidumbre en los parámetros tecnológicos): en este paso se analizan si existen nuevas tecnologías para el proceso y de existir pues se realizan los pasos anteriores

Hay nuevas capacidades(incertidumbre en los parámetros tecnológicos):: aquí se analizan la existencia de nuevas capacidades, de existir se pasa a los pasos de diseño de equipos y calculo de fiabilidad considerando incertidumbre.

Estudio de la macrolocalización (incertidumbre en el entorno, tanto económico como ambiental) : se considera la incertidumbre en los costos de transportación de las materias primas y de productos terminados, además del entorno donde se ubicará la planta.

Queda materia prima disponible (incertidumbre en el entorno, tanto económico como ambiental): se considera en este aspecto si que queda materia prima disponible, de ser cierto se analizan otras alternativas de producción y se realiza el mismo análisis a partir del estudio de mercado , de no quedar materia prima disponible se estudia si la demanda esta satisfecha en el entorno territorial

Análisis de alternativas económicas de producción e inversión (incertidumbre en el entorno, tanto económico como ambiental) *:* se realiza un estudio de las posibles alternativas económicas y de inversión que permita desarrollar una tecnología económicamente sustentable y medio ambientalmente sostenible.

Análisis de sensibilidad multivariable (incertidumbre en el entorno, tanto económico como ambiental): permite decidir finalmente a través de modelos matemáticos cual es la variante óptima y el impacto que el desconocimiento preciso de determinada información requerida para el diseño y análisis de alternativas puede generar.

Conclusiones:

1) El desarrollo de un nuevo proceso o la modificación y modernización de uno y existente, requiere que se considera multilateralmente todos los aspectos de la incertidumbre que se manifiestan de un modo u otro en cada caso específico.

2) La experiencia cubana, acumulada durante casi quince años de estudios considerando la incertidumbre en sus diversos aspectos, demuestran que es factible y necesario estas consideraciones en los procesos de desarrollo e inversionistas, puesto que los resultados alcanzados cuando se obvia la evaluación de la incertidumbre difieren de los resultados reales que se alcanzan en los procesos tecnológicos tanto desde el punto de vista técnico, como del ambiental y el económico.

3) La consideración de la incertidumbre en los procesos de diversificación de la industria de la caña de azúcar, deben incluir los diferentes aspectos que se manifiestan en estos procesos, en los cuales a la incertidumbre en la demanda del mercado, se unen la referente a la disponibilidad de las materias primas y los acelerados cambios que se producen en los dominios de los procesos biotecnológicos y de separación de nuevos productos, en lo que sin olvidar la incertidumbre existente en la disponibilidad de los equipos, acelerada por la reconversión y reconstrucción de viejas instalaciones y los escasos recursos financieros disponibles obligan , en todos los casos de estudios de diversificación a un enfoque multilateral de consideración de los problemas de incertidumbre.

4) Es factible estudiar la incertidumbre en los procesos de diversificación de la industria de la caña de azúcar a través de la aplicación del diagrama heurístico que se fundamenta en el presente trabajo.

Fuentes de información consultadas

1. Borges Núñez, A.: "Alternativas para la intensificación energética y tecnológica de la industria del vidrio". Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD),1996.

2. Carrillo, M. J. : "Factibilidad técnica y económica de las pequeñas producciones en el beneficio de feldespato para sustituir importaciones. Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD).2000.

3. Colectivo de autores. "Vías para el diseño de instalaciones de la industria química y farmacéutica." ***Premio del Libro Científico 2003.***

4. De León Benítez, J. L: "Decoloración de la cera dura de caña de azúcar por vía química utilizando hipoclorito de sodio". Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD), 1999

5. Gallardo, I.: "Análisis de alternativas para la ampliación y reconstrucción de fábricas en la industria del papel". Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD), 1990.

6. Garcés Cruz, L.: "Alternativas tecnológicas para la producción de Cerámica Técnica". Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD), 1996

7. González Suárez, E, V. González Rodríguez, L. Schuart. : "Monografía. Aspecto técnico económico de la proyección de plantas químicas.", Editorial UCLV, 1987.

8. González Rodríguez, V. E. González Suárez, N. Ley Chong : "Análisis de inversiones y proyecto en Ingeniería Química." Partes I, II, y III. , Editorial UCLV, 1988.

9. González, E. "Escalado y diseño de instalaciones de la industria química en condiciones de incertidumbre". III Taller Internacional de Escalado, Habana 95, La Habana 1995.

10. González, E.: "Alternativas de desarrollo y perfeccionamiento de la industria azucarera mediante el incremento de la producción de alcohol". Curso de Postgrado. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Buenos Aires. Argentina, 1995.

11. González, E., Schuart, L. "Consideraciones sobre la proyección científica del Análisis de Procesos en Cuba" Ponencia en el IV Congreso Mundial de Ingeniería Química, Karlsruke, 16 al 21 de Junio, 1991, Alemania.

12. López Bastida, E.: "Estudio de la combustión y contaminación ambiental de los petróleos en Cuba utilizados en centrales termoeléctricas". Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD), 1996.

13. Oquendo Ferrer, H. : "Consideración de la incertidumbre de la demanda y la disponibilidad de las materias primas en la determinación de las nuevas capacidades de producción de derivados de la caña de azúcar.

14. Pedraza Garciga J. "Estrategia para el diseño de una planta para la producción de ácido fosfórico en condiciones de incertidumbre" Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD), 1997.

15. Peralta Suárez, L. M. : "Modelación, Optimización y Control de Procesos de Lixiviación de minerales de Níquel en la Empresa "Cdte Pedro Soto Alba" de Moa. Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD).1993.

16. Rosa, E.: "Análisis de alternativas de Inversión en la industria química considerando la fiabilidad de los equipos "Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD), 1996.

17. Rudd, D.F.: C.C. Watson: “Strategy of Process Engineering”. E.R., La Habana, 1980, pp. 269/273.

18. Santos Cuba, N. : “Metodología de Análisis técnico económico de incremento de capacidad de producción de papeles industriales”. Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD), 1997.

19. Vera Cabezas, V.: “Extracción de alcoholes de alto peso molecular a partir de la cachaza y sus derivados”. Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas.2000.

20. Villanueva Ramos, G.: “Intensificación del proceso de obtención del Sulfato de Nicotina hasta escala industrial”. Tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas (PhD), 1991.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUALES DE UNA PLANTA DE PULPA Y PAPEL

ANALYSIS OF THE RESIDUAL TREATMENT SYSTEM OF A PULP AND PAPER PLANT

Leal, J.; Pérez, M.; Pérez, C.; Pérez, D.; Taquechel, Y.; Borges, D..

UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba-9, Aptdo. 8, C.P. 33500, Quivicán, La Habana, Cuba**.**
e-mail: direcc9@enet.cu

RESUMEN

Los efluentes en una industria de pulpa y papel provocan un impacto negativo al medio ambiente por el contenido de materias orgánicas contaminantes que puedan tener.

En la actualidad resulta de vital importancia el tratamiento de las descargas al medio receptor por tal motivo en este trabajo se realiza una evaluación de los vertimientos, un diagnóstico del equipamiento existente y los costos para la revitalización del sistema actual.

Se brinda además una propuesta de solución para incorporar al sistema los residuos de las máquina de papel.

Palabras Claves: Efluentes, equipamiento, tratamiento de residuales.

SUMMARY

The efluentes in the pulp and papern idustry causes a negative impact over the environment because of their content of pollutants organic matters that they can have.

At the present time it is of vital importance the treatment of the discharges to the receiving mean, that's whay in this work it is carried out an evaluation of the effluents, a diagnosis of the existent equipment and the costs for the revitalization of the current system.

You also offers a solution proposal to incorporate to the system the residuals of the paper machine.

Key Words: Effluents, equipment, residual treatment.

INTRODUCCION

En los procesos de pulpa y papel el agua que se utiliza se carga de elementos contaminantes, en particular de materias orgánicas e inorgánicas en suspensión y solución, así como de resinas ácidas, sulfuros orgánico, trazas de metales pesados y en algunos casos coloración de los efluentes, por la presencia de la lignina. Estas corrientes se conocen con el nombre de efluentes y provocan un impacto negativo al medio ambiente.

Por lo anterior expuesto resulta muy importante la reducción de las cargas contaminantes y los volúmenes de vertimiento.

En el presente trabajo nos proponemos alcanzar los siguientes OBJETIVOS:

- ✓ Diagnóstico del sistema de tratamiento de residuales instalado en Cuba-9.
- ✓ Evaluación y análisis de los efluentes a partir del proceso tecnológico actualmente utilizado.
- ✓ Determinar el costo de los arreglos tecnológicos para la rehabilitación del tratamiento instalado en la UIP Cuba-9.
- ✓ Propuesta de solución.

DESCRIPCIÓN DEL FLUJO TECNOLÓGICO

Por diseño el tratamiento de los efluentes en la UIP Cuba -9 está destinado para los residuos de pulpa quimimecánica de bagazo y es el que se describe a continuación:

El efluente de la planta que va al sedimentador proviene del filtrado del desmedulado en suspensión produciéndose la segunda etapa de separación de sólidos. Esta corriente se neutraliza en línea con ácido sulfúrico, para facilitar el proceso de floculación mediante la acción de sulfato de alúmina.

Por la parte inferior del sedimentador se evacua el lodo o fango mediante un sistema de transportadores de tornillos con extracción lateral enviándose a un filtro parabólico, cuyo objetivo será espesarlo; el filtrado es enviado a la zanja general y el meollo se transporta por medio de un transportador de tornillo para depositarlos en una carreta.

El líquido claro sobrenadante sale por reboso del sedimentador a los canales colectores para posteriormente descargar en un tubo donde se mezcla con los nutrientes (sulfato de amonio y fosfato diácido de amonio) que servirán para desarrollar los microorganismos encargados de biodegradar la materia orgánica.

Este líquido por gravedad sigue su trayectoria hacia las lagunas de oxidación aereadas (existen cuatro), estas se comunican por reboso, pasando el efluente sucesivamente por cada una de ellas con un tiempo de retención de 7 días y una remoción de alrededor del 90 %. Posteriormente el efluente pasa a una laguna de estabilización donde se logra llevar la carga orgánica a niveles admisibles por el medio receptor, lográndose una remoción de sólidos suspendidos de 95%. (Pérez M., Acosta I., 1995)

En las condiciones actuales este sistema no funciona desde ningún punto de vista por lo tanto los efluentes de la máquina de papel no reciben tratamiento y pasan al medio receptor directamente.

Podemos plantear que tal como se encuentra la planta de tratamiento es imposible cumplir el flujo tecnológico tal cual pues ninguna de las tres áreas: preparación de nutrientes, separación de sólidos, y tratamiento biológico se encuentran disponibles, debido al deterioro del equipamiento, así como la no existencia de bombas, tanques etc. Con nuestro análisis se pretende adecuarlo al tratamiento de los residuales de la producción de papel a partir de recortes reciclados

Tabla I. Diagnóstico de la planta.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
Bomba dosificadora de doble pistón	Flujo: 10-150l/h Carga: 10-15 m Material : acero inoxidable	No existe
1 tanque	Volumen: 1 m^3 material: acero inoxidable para almacén y suministro de nutrientes (N + P)	No existe
2 tanque	Volumen: 2.5 m^3 material: acero inoxidable un tanque de preparación de alumbre y otro para almacén y suministro del mismo	No existe
Dos agitadores verticales – portátiles	capacidad: 1.1 Kw. 1120 rpm	No existe
Una bomba dosificadora de simple pistón	flujo: 10-150 l/h carga: 10-15 m material: acero inoxidable para ácido sulfúrico concentrado	No existe
Tubería y válvulas de conexión		No existe
Sistema de automatización y control		No existe
Reparación total		
Reconstrucción de la canal de salida de sedimentador.		Ver tabla 1
Pintar con resina Epoxy en el interior del sedimentador	Cantidad:60 litros	
Construcción y montaje de las canaletas metálicas	Cantidad: 4 Material: chapa de 3 mm CT-3 Cantidad: 60 m^2	No existe
Compra de planchas lisas de asbesto cemento de 1830 x122x12 y montaje de las mismas	Cantidad: 150 planchas	No existe
Reconstrucción de montaje de la estructura soporte de las placas de asbesto cemento	Material: angular de 75 x 75x8 Cantidad: 2.2 t	Existe
Construcción y montaje de barandas.	Material: tubo de acero negro Ø 1¨ Cantidad: 2 t	No existe
Reconstrucción del sistema de extracción de lodos		Existe

Restablecer el cuarto de control		No existe
Parabólico	Mantenimiento general	Existe
Caja de alimentación	Mantenimiento general	Existe
Foso colector	Limpieza del foso y zanjas de alimentación	Existe
Bomba sumergible	Mantenimiento general	Existe
Lagunas	Chapeo y limpieza de toda el área de las lagunas. Reconstrucción de las columnas soporte de los areadores. Mantenimiento y restauración de los puentes de las lagunas. Compra y montaje de 300 tornillos M20x10 con tuerca para restablecer la tubería de alimentación a las lagunas	Existe
Areadores	Mantenimiento y chequeo de hermeticidad a los areadores. Es posible que sea necesario la compra de los rodamiento de bola 1314 SKF (Cant. 5) y el rodamiento axial de bolas de simple efecto 51314 SKF (Cant. 5)	Existe , son cinco
	Reconstruir el cuarto de control	

EVALUACION DE LOS EFLUENTES

Cuba 9 cuenta con un Sedimentador rectangular que se encuentra en mal estado pero podría ser la solución para el tratamiento de los residuales de la producción de papel a partir de recortes reciclados.

Tabla II. Características del Sedimentador.

Geometría	Bicónico
Largo	13 m
Ancho	6 m
Altura	6 m
Área total	78 m^2
Volumen	134.4 m^3

Para estimar si los efluentes generados en nuestra fábrica pueden ser tratados en el sedimentador se analizó el comportamiento de la descarga en las zanjas general de Pulpa y de Papel. También se analizó el registro 2, que es donde se unen las corrientes de Pulpa y Papel.

Tabla III. Comportamiento de las zanjas (condiciones críticas de trabajo).

Muestra	Flujo (l / min)	S.S (mg / l)
Zanja MP (1)	2820	1526
Zanja Pulpa (2)	3067	4578
Después de Punto de unión (3)	5887	6744

Para evaluar el Sedimentador se utilizó el criterio de la carga superficial. Este se basa en que idealmente un sedimentador continuo es capaz de retener todas aquellas partículas cuyas velocidades de sedimentación sean superiores o iguales a la carga superficial del mismo. Esta se obtiene al relacionar el flujo volumétrico de agua a tratar entre el área superficial del sedimentador.

Del estudio realizado en el foso colector se escogieron las condiciones críticas (Mayor Flujo, Menor Velocidad de Sedimentación) para chequear que la velocidad de sedimentación sea mayor que la carga superficial del Sedimentador.

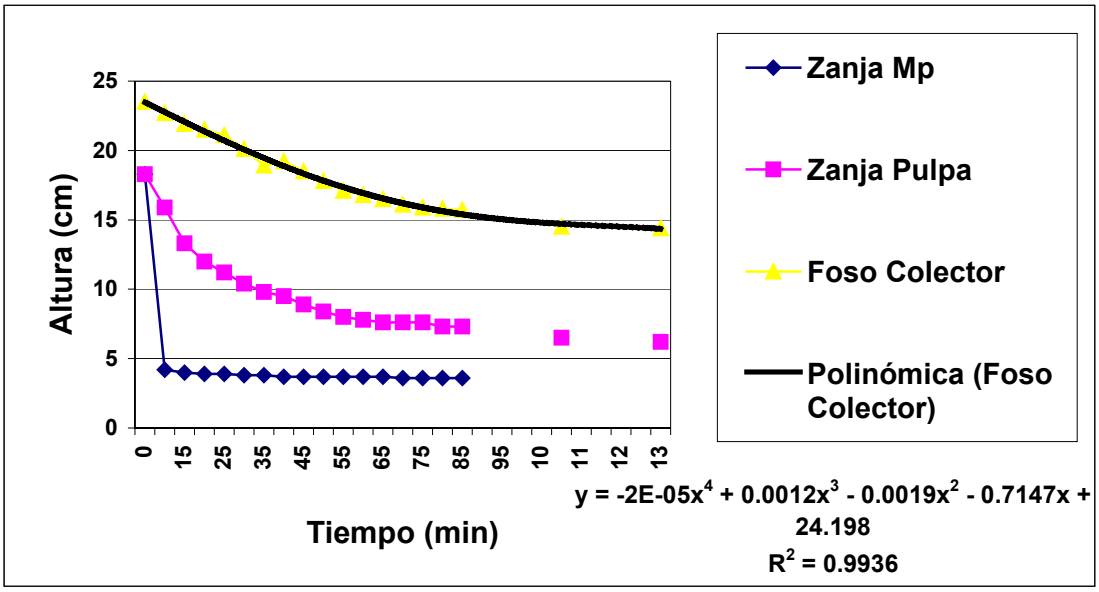


Fig 1. Curvas de sedimentación.

Evaluación del Sedimentador

Condiciones críticas de trabajo (pozo colector)

Flujo Máximo = 5887 l /min

Sólidos Suspendidos = 6744 mg/l

Velocidad de sedimentación = 0.0103 mm/s (calculada a partir de la curva de sedimentación)

Sedimentador

Área Superficial = 78 m^2

Q trabajo = 5887 l/min

Carga superficial (U = Q/A) = 0.00126 mm/s

Como la Velocidad de Sedimentación es mayor que la Carga Superficial podemos decir que el equipo trabajará satisfactoriamente teniendo un tiempo de retención de aproximadamente 23 minutos.

$$t = \frac{H * A}{Q}$$

COSTO DE LOS ARREGLOS TECNOLÓGICOS

Con el objetivo de restaurar la planta de tratamiento de residuales, basándonos en los resultados obtenidos del diagnóstico realizado en cada una de sus áreas, se determinaron los costos de manera general para una reinversión de la misma.

Tabla IV. Costos de inversión.

	USD	MN	TOTAL
Equipamiento	102 000	18 000	120 000
Construcción y montaje	68 340	9 200	77 540
Instalación	20 400	2 160	22 560
Instrumentación y control	13 260	2 000	15 260
Instalación de tuberías	6 120	1 080	7 200
Accesorios electrónicos	10 200	1 800	12 000
Mejoramiento del terreno	3 060	540	3 600
Facilidades de servicios	15 300	1 620	16 920
TOTAL	**170 340**	**27 200**	**197 540**

Tabla V. Presupuesto de la inversión

	DISTRIBUCIÓN POR AÑOS (miles de pesos)			
	TOTALES		**AÑO 1**	
	TOTAL	**USD**	**TOTAL**	**USD**
Inversiones fijas	**197.5**	**170.3**	**197.5**	**170.3**
Terrenos	0.0	0.0	0.0	0.0
Construcción y montaje	77.5	68.3	77.5	68.3
Equipos y maquinarias	120.0	102.0	120.0	102.0
Invers. Inducc. Directa	0.0	0.0	0.0	0.0
Fletes y seguros	0.0	0.0	0.0	0.0
Gastos previos a la explot.	**30.4**	**2.9**	**30.4**	**2.9**
Estudios e investigaciones	16.0	2.1	16.0	2.1
Proyectos	14.4	0.8	14.4	0.8
Asesoramiento técnico	0.0	0.0	0.0	0.0
Capacitación y adiestram.	0.0	0.0	0.0	0.0
Otros gastos (intereses)	0.0	0.0	0.0	0.0
Inversiones Inducc. Indir.	0.0	0.0	0.0	0.0
Capital de trabajo	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo de Inversión Total	**227.9**	**173.2**	**227.9**	**173.2**

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Los efluentes de la máquina de papel no eran tratados y pasaban directamente al emisario para continuar hasta el punto de vertimiento.

Actualmente que trabajamos con papel reciclado, se propone el siguiente esquema de tratamiento de efluentes: el registro número 1 de la fig.1 se convertiría en un segundo pozo colector, sellando su salida hacia el registro 2, haciendo las modificaciones necesarias donde se unirían los efluentes de la máquina de papel y de la planta de pulpa. De esta forma serían bombeados a la tubería de alimentación al sedimentador, recibiendo los tratamientos de neutralización y adición de aglutinantes y nutrientes necesarios. A partir de aquí funcionaría igual que antes, los lodos se alimentan al espesador y de aquí a la carreta; el filtrado iría al foso colector No 1 donde se unen los efluentes del patio de bagazo y son enviados por bombeo a las lagunas. El líquido sobrenadanate del sedimentador por gravedad alimenta las lagunas y de ellas al punto de vertimiento, a través del emisario colector

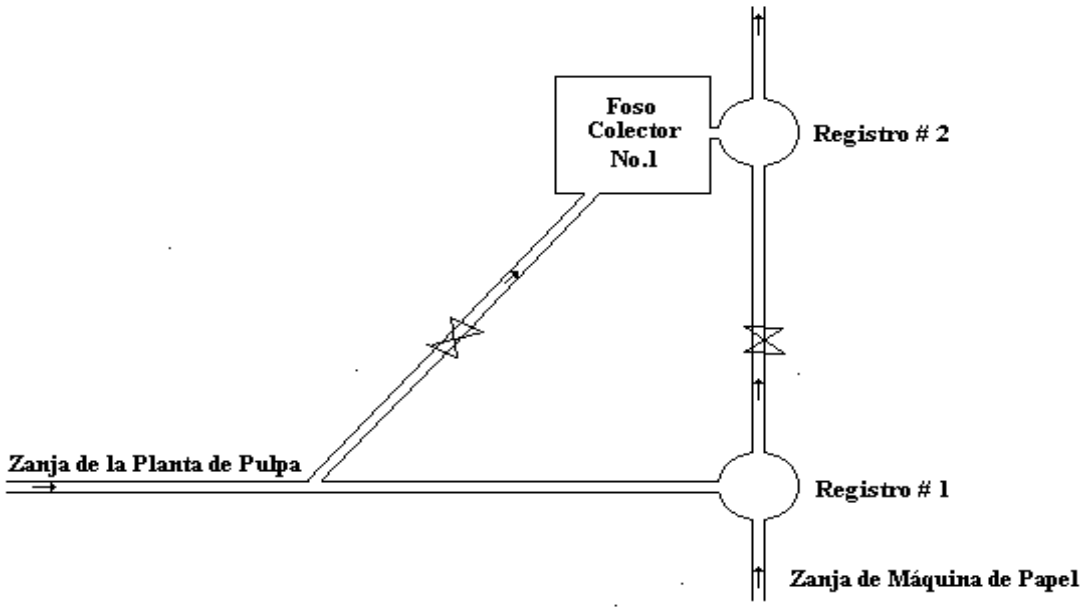


Fig 2. Sistema de zanjas para la evacuación de los efluentes de la fabrica.

CONCLUSIONES

1. En las condiciones actuales la planta no está disponible para tratar los vertidos por lo tanto es necesario restaurar la misma.

2. Para lograr el funcionamiento de la planta es imprescindible realizar una reinversión de alrededor de 227 900 pesos de ello 173 200 USD.

3. El sedimentador por sus características de diseño es capaz de tratar satisfactoriamente los residuales que provienen tanto de la planta de pulpa como de la máquina de papel para producciones con papel reciclado.

4. La propuesta final consistirá en unir las corrientes de la planta de pulpa y de la máquina de papel en el registro # 1 para ser bombeadas al sedimentador y a partir de ese punto continuar el proceso establecido por diseño.

BIBLIOGRAFÍA

- Pérez M., Acosta I., 1995 Soluciones al tratamiento de residuales en una máquina de papel.
- IHOBE Sociedad pública de gestión ambiental. Libro Blanco para la minimización de residuos y emisiones. Pasta y papel.
- Miner and Unwin, August, 1991. Reid Miner and Jay Unwin. "Progress in Reducing Water Use and Wastewater Loads in the U.S. Paper Industry," *TAPPI Journal,* , p. 127.

IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA PRODUCCION DE PAPELES ESTUCADOS PARA IMPRESIÓN EN LA UIP-CUBA-9

Dra. Aracelia Hernández, Lic. Osvaldo Alvarez, Ing. Elsa González, Ing. Elaine Capote
Unión de Investigación- Producción de la Celulosa del Bagazo, **Cuba-9**
Apdo. 8, Quivicán, Tel. 574744, FAX 53 67 53455, Email: investc9@enet.cu

1. Introducción.

La tecnología de estucado de papel y cartón para impresión ha experimentado un impresionante crecimiento sobre todo en los aspectos relacionados con la calidad y el aumento de la capacidad de las máquinas, con el objetivo de satisfacer las demandas cada día más exigentes y crecientes de los consumidores de estos tipos de productos.

En la ultima década se suma a este desarrollo dinámico, la preocupación de los impactos causados al medio ambiente de esta tecnología. A partir de este momento es que realmente se desarrolla una conciencia ecológica y surgen distintas técnicas de recuperación de residuos sólidos, demostrándose que estas medidas además de proteger el medio ambiente son generadoras ganancias.

Para realizar un análisis de la influencia contaminante de la tecnología de estucado de papeles para impresión no solo se debe tener en cuenta de una forma aislada el proceso de estucado del papel, se deben involucrar además otros procesos que se desarrollan en otras etapas de obtención del producto final, los cuales inciden de distintas formas en la calidad del producto y en su objetivo final , que radica en preparar al papel tanto óptica como superficialmente para su impresión.

En nuestro trabajo se tienen en cuenta dos procesos de vital importancia que influyen decisivamente en el impacto medioambiental de los papeles estucados para impresión y que son los procesos de impresión y de destintado del papel reciclado. Analizando este sistema compacto consideramos que los procesos de obtención de papel estucado para impresión se pueden clasificar como altamente contaminantes.

2. Aspectos Técnicos sobre el estucado.

- **Producción de papeles estucados**

- Composición de las mezclas de estucado.

El estucado de papel y cartón para impresión consiste en la aplicación de una mezcla altamente homogeneizada sobre la base de pigmentos inorgánicos (aunque actualmente se emplean en alguna medida los pigmentos poliméricos), ligantes o aglutinantes y otros componentes, que imparten al producto un acabado final de mayor calidad mejorando las propiedades ópticas y superficiales para su posterior proceso de impresión.

- Factores que afectan las propiedades del papel estucado.

- Propiedades del papel base.
- Composición de las mezclas de estucado.
- Interacción entre el papel base y la mezcla.
- Proceso de estucado.

La producción de papel estucado para impresión presenta varias etapas muy bien definidas que son generadoras de desechos contaminantes.

I ETAPA: Estucado del Papel.

Dentro de esta etapa se considera que la limpieza, la cual presenta una importancia vital para el éxito de la calidad de estos tipos de productos, es el factor fundamental de generación de contaminantes.

Es de conocimiento que las mezclas de estucado presentan entre sus componentes gran cantidad de sólidos los cuales entre el 70% ó el 90 % son pigmentos inorgánicos de muy lenta descomposición y elevados precios. De acuerdo a esta problemática los productores han desarrollado grandes esfuerzos para recuperar estos componentes de los residuos del proceso de limpieza.

Nuevos desarrollos.

. Recuperación de mezclas

Los productores han desarrollados tecnologías como la ultrafiltración la cual nos permite recuperar en un elevado porciento los sólidos de las mezclas residuales del proceso de limpieza y reintegrarlos en distintas cantidades a las mezclas frescas aportando grandes beneficios tanto económicos como de protección ambiental, ya que reduce el costo de los pigmentos y la cantidad de floculantes en las plantas de tratamientos favoreciendo a una disminución de la cantidad de sólidos que se adicionan al suelo.

. Aplicación de mezclas.

La tecnología de estucado se ha desarrollado teniendo en cuenta no solo aumentos de eficiencias sino también los problemas medioambientales.

Dentro de la tecnologías más actuales de máquinas de estucado se encuentran las del tipo de prensas de encolado con sistemas de medición (Mettering Size Press), las cuales brindan grandes ventajas y ha sido adquirida por la UIP Cuiba-9 para su instalación y puesta en explotación una HSM (High Speed Meter).

Ventajas de esta tecnología:

1. **Estucado dentro de la máquina de papel o en la línea (On machine).**
   - Buena maquinabilidad
   - Altas velocidades de aplicación (>1500 m/min).

2. **Resistencia de la Hoja.**
   - Bajos requerimientos de resistencia, posibilitando estucar papeles a partir de 100% de papel reciclado.

3. **Recubrimiento.**
   - Posibilidad de desarrollar un amplio espectro de recubrimientos que van desde papeles pigmentados hasta estucados con pesos medios.
   - Posibilidad de aplicar preestucados ligeros.

II ETAPA: IMPRESIÓN.

Este proceso constituye el ultimo paso para la comercialización de los papeles estucados, el mismo además de desarrollarse dinámicamente muestra gran avance en cuanto a la incidencia de sus productos con el medio ambiente.
Las tintas de impresión son la causa fundamental de interacción de este proceso con el medio ambiente.
Existen en el mercado dos tipos fundamentales de tintas de impresión.

1. Tintas Base – Solventes.
2. Tintas Base – Agua.

Las tintas del tipo 1 fueron las que primero se desarrollaron y en la actualidad con las presiones medioambientales han perdido terreno con respecto a las del tipo 2 ya que estas ultimas presentas varias ventajas.

Ventajas de las Tintas Base – Agua.

- Por su composición no presentan componentes orgánicos volátiles peligrosos que puedan ser emitidos a la atmósfera.
- Por su carácter hidrofílico presenta una mayor facilidad de separar las partículas de tintas de las fibras en el proceso de destintado favoreciendo la posibilidad de reciclar gran variedad de papeles impresos.

III ETAPA: Reciclado.

El papel estucado con impresión post – consumidor, en la actualidad es cada vez superior debido a las demandas crecientes de este tipo de producto, por lo que los productores han tenido que desarrollar alternativas de recuperación para favorecer la protección del medio ambiente sustituyendo parcial o completamente a las fibras vírgenes.

Por lo general, el papel estucado trae en su composición látex, pigmentos, fibras y resinas, entre otros componentes, que pasan a las aguas blancas en forma de materia disuelta y coloidal, y son los principales compuestos químicos, responsables de la formación de los depósitos adherentes conocidos como "white pitch" debido a su color. La naturaleza y cantidad de los depósitos formados dependen de:

- la composición de la salsa de estuco.
- la proporción de papel estucado presente en la materia prima.
- el tipo de aditivo utilizado en el proceso papelero.
- la dosis de aditivo empleada.
- las características físico-químicas del agua: pH, conductividad y dureza.

El papel estucado puede generar problemas de "*white pitch*", tanto si se encuentra formando parte del papel recuperado en fábricas de papel reciclado, como cuando se introduce en el proceso de fabricación con los recortes (o *broke*) en las máquinas de papel con estucadoras en línea "*on machine*" existentes en las fábricas que producen papeles estucados. Por este motivo, no es sólo un problema de la industria del papel reciclado, sino que afecta también a plantas que producen papeles estucados a partir de fibra virgen.

Ahora bien dentro de la etapa de recuperación de fibras (Reciclado), estos papeles para su posterior uso deben pasar un proceso de destintado el cual genera gran cantidad de residuos tóxicos por lo que consideramos de gran interés su analisis.

Proceso de Destintado.

Este proceso dentro del ciclo de obtención de papeles estucados para impresión es el que produce más desechos, dentro de los cuales, podemos encontrar pigmentos inorgánicos, tintas de disimiles composiciones, adhesivos y muchos mas compuestos químicos que condicionan elevadas DBO y DQO. Para que se tenga una idea el lodo generado aquí puede formar entre un 25 % y un 40% del rendimiento con respecto al producto final.

De acuerdo a lo anterior se han tomado medidas para la disposición de estos desechos, dentro de las más aceptadas está la incineración ya que se puede aprovechar la energía a partir de la combustión y utilizarla para otros usos dentro de la industria.

Nuevos desarrollos.

Las tendencias de la tecnologías de destintado están encaminadas además de la obtención de elevadas eficiencias a la disminución de las cargas de contaminantes, lo cual se están desarrollando combinaciones de destintado por lavado y flotación así como la utilización de procesos biológicos (Enzimas), sustituyendo algunos productos químicos de elevada agresividad para el ecosistema.

3. INCIDENCIAS MEDIOAMBIENTALES

Se pueden definir como se abordo anteriormente tres etapas tecnológicas fundamentales del proceso de obtención de papel estucado para impresión los cuales generan gran cantidad de residuales al medio ambiente. Ver fig. 1

CONCLUSIONES

1. La producción de papeles estucados para impresión constituye una combinación de varios procesos que generan desechos al medio ambiente.

2. La tecnología de producción de papel estucado para impresión se ha desarrollado equilibradamente con la protección del medio ambiente en los ultimos años..

3. Los procesos involucrados en la obtención del papel estucado para impresión se han adaptado a las exigentes medidas impuestas para la protección del medio ambiente.

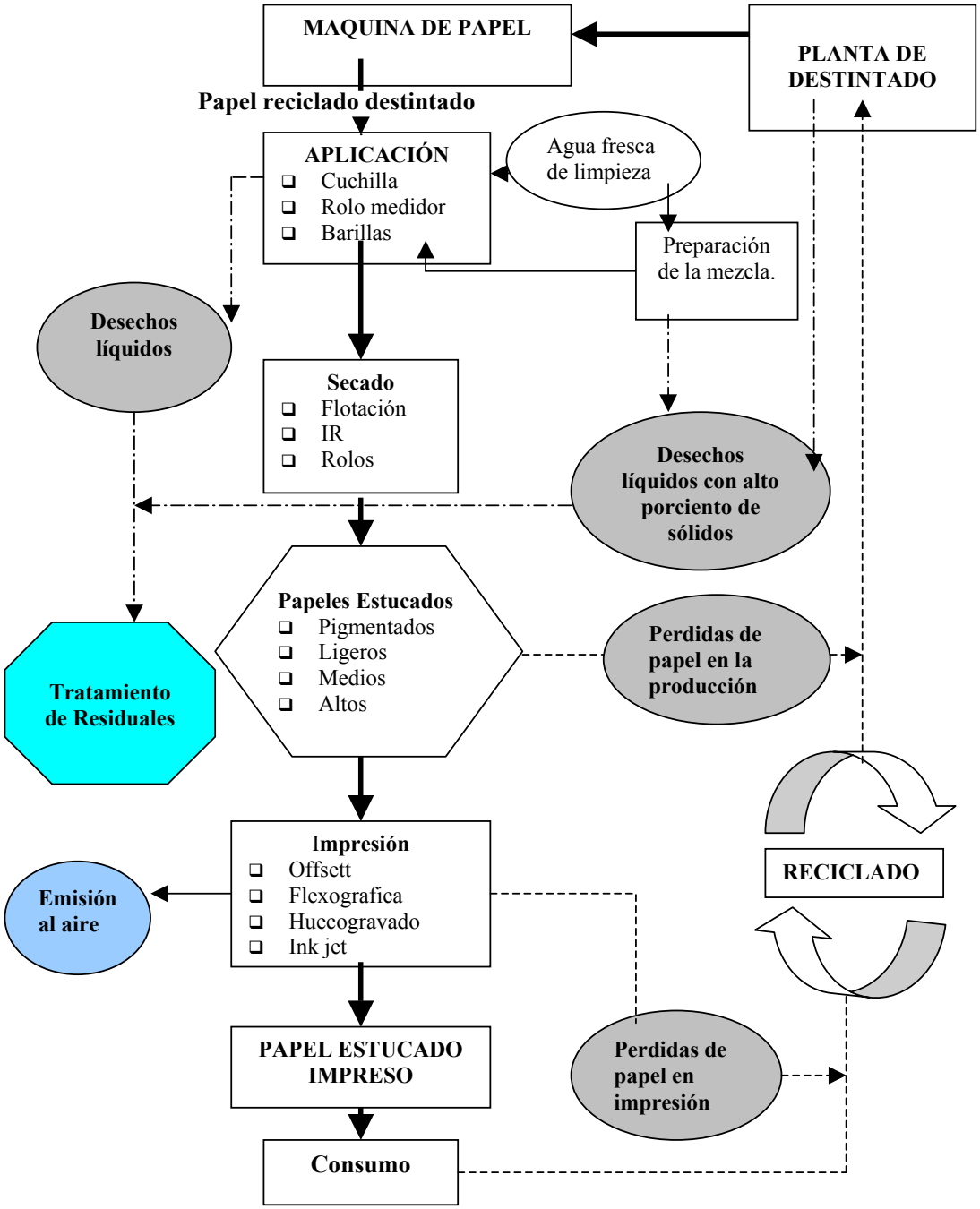
4. Se identificaron los procesos fundamentales de la tecnología que afectan al medio ambiente y que se deben tomar en consideración para producciones limpias.

5. Para el comienzo de la producción de papeles estucados en la UIP Cuba-9 se toman las medidas, derivadas del estudio de los factores estudiados, para su implemetación.

BIBLIOGRAFIA

1. Liimatainer, H., Salakari, H., (1998), Ecological furnish for coated papers. International Conference on economy ang ecology in papermaking technology. Helsinki. Finland, 1-5 June, 71-82.
2. Kilimiri, Y.., Twase, K., Hirano, I. , (1998), Trend of development in enviromentaly friendly printing inks.J. Jpn. Soc. Col. Mater 71, No. 12, 784-793.
3. Binisek, L., (1999), Ecology and Recicling. Text. Mon., Aug., 32-33.
4. Helminen, R-R., (1998) Eco-efficiency in the Finnish and Swidish pulp-paper industry. Acta Polytechnica Scandinavica Management in Engeniering series 90. The Finish Academy oftechnology, (ISBN 952-5148-56-5).

Fig.1 Impacto medioambiental de las diferentes etapas de la producción de papeles estucados.



CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE FIBRAS RECICLADAS.

CHARACTERIZATION OF THE WASTE WATER IN THE PRODUCTION OF PAPER FROM RECYCLED FIBER.

Pérez Rodríguez M., Barquinero E., Díaz J., Sánchez A.

UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba 9. Apartado 8, C.P. 33500. Quivicán, La Habana. Cuba.
E-mail: investc9@enet.cu

Resumen:

Las medidas de conservación del medio ambiente son necesarias en la fabricación del papel debido al agua contaminada de reboso creada en el proceso. Los contaminantes que constituyen un peligro ambiental en los recipientes de agua están presentes en los efluentes en forma de sólidos suspendidos y disueltos. Los materiales suspendidos consisten en fragmentos de fibras y rellenos, mientras que las sustancias disueltas las constituyen varios componentes químicos de la madera, tales como carbohidratos, lignina y resinas.

La fabricación de papel a partir de fibra reciclada contribuye con la preservación del medioambiente debido a que no se utilizan fibras vírgenes; sin embargo a pesar de constituir una solución ambientalista, este proceso produce cargas contaminantes que pueden ser dañinas al medio. Durante el desarrollo de este tema se realiza la caracterización de estos vertimientos en una fábrica de papel, la cual posee un sistema abierto de agua. Se establecen los principales puntos de vertimientos y las fuentes consumidoras de agua fresca, sirviendo este estudio de referencia para el control y racionalización tecnológica del agua que se incorpora al proceso productivo.

Palabras Claves: contaminación, papel de desecho, sistema de aguas blancas.

Abstract:

Environmental protection measures are required in the production of paper due to the polluting load arising from overflow water process. Pollutants, representing an environmental threat in water reservoirs are present in effluents, as suspended and dissolved solids. Suspended matter consists of fiber fragments and filler particles, whereas dissolved solid are made up of several chemical constituents of wood, like carbohydrates, lignin and rosins.

Although the manufacture of paper from recycled fiber contributes to the environmental preservation since no virgin fiber is consumed, polluting load from the process is harmful to the environmental. The present paper deals with the characterization of the effluents from a paper mill with an open water loop. Main discharge place and the fresh water consuming point are identified. The result of the study provided reference information which is useful for the control and technologic rationalization of the water usage in the production process.

Key words: pollution, recycled fiber, white water system.

INTRODUCCIÓN

La diferencia entre el sistema de producción primitivo y la moderna fabricación de papel en la actualidad es importante.

Hasta el siglo XVII, la fabricación de papel fue una labor artesana e individualizada, que no alteraba en ningún caso la estabilidad y la salud ecológica de los ecosistemas naturales, debido a su escaso volumen e implantación.

A partir del año 1660, la industria de fabricación de papel se desarrolló a ritmo acelerado, los descubrimientos de la ciencia y los avances técnicos (calidades y texturas de papel, la imprenta de Gutenberg), así como el desarrollo y expansión de la Cultura, catapultaron el papel como el soporte comunicativo de masas en el ámbito mundial. Esto trajo consigo el consumo generalizado y masivo de papel de fibra vegetal y con ello el abuso y desgaste de los bosques del planeta.

A partir de 1950, hubo una transformación revolucionaria del proceso de fabricación. Se abandonaron los métodos y productos tradicionales para incorporar:

- Las pastas semiquímicas.
- Productos auxiliares: para dar resistencia, para impermeabilizar, etc.
- Nuevos procedimientos en la disposición de fibras y el acabado de superficies.
- Automatización de controles y proceso de fabricación.

Todo esto agudizó el consumo excesivo de madera y creó un nuevo problema: los vertidos contaminantes a la atmósfera y a los ríos.

En la época actual, el papel reciclado, fabricado con métodos correctos, es decir sin la utilización de elementos químicos agresivos, y de acuerdo a políticas medioambientales e industriales coherentes, es la solución a la deforestación. (Jódar M.; Cubero Castillo, J. M. 1998)

La filosofía productiva debe ser la fabricación de papel reciclado de calidad homologable al papel elaborado con pasta virgen, mediante la aplicación de un proceso que, desde su inicio hasta el fin, produzca el menor impacto medioambiental posible.

Una vez conseguido el producto final, es importante descubrir que se ha reducido el consumo de ENERGÍA en un 70%, el de AGUA en un 90%, la CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA en un 73% y los DESECHOS SÓLIDOS en un 39% (Datos correspondientes al proceso de elaboración de papel reciclado en PAPELERA PENINSULAR).

El agua. Control de emisiones: producción más limpia y sistemas cerrados.

Al elaborar papel se consumen grandes cantidades de agua y energía. Por ejemplo, en 1992 la industria papelera de Estados Unidos fue el tercer consumidor más grande de energía, después de los sectores petrolero y químico.

El agua es un ingrediente esencial en la elaboración de celulosa y papel; se utiliza para formar la celulosa y eliminar las impurezas. Las descargas a mantos acuíferos naturales constituyen uno de los impactos ambientales más importantes de la producción de celulosa y papel.

La contaminación causada por las fábricas de celulosa puede reducirse significativamente si se tratan los efluentes y/o si se cambian los procesos de producción.

Desde principios de los años setenta, varios de las más importantes fábricas de celulosa han reducido su impacto ambiental al "cerrar" algunos de sus procesos, por ejemplo, reciclando el agua efluente. Al menos 15 fábricas en Suecia, Canadá, Finlandia, Estados Unidos y Sudáfrica están intentando lograr un

ciclo cerrado de blanqueado. Solamente las fábricas más nuevas tienen la posibilidad de cerrar completamente sus procesos. Aun así es imposible eliminar el impacto ambiental, sólo se logra minimizarlo.

Los niveles de emisión generados por la elaboración de celulosa y papel son diferentes en todo el mundo. Cerca del 15 por ciento de la producción global de celulosa de madera y papel no cuenta con tratamiento de efluentes. Resultaría muy costoso para la industria global cumplir con estándares de emisión adecuados. En algunas regiones, como Estados Unidos, los costos que esto implica son comparables con la inversión ambiental realizada en este sector en los últimos 12 años.

Las fábricas más antiguas y pequeñas tendrán dificultad para cumplir con estándares estrictos que, en caso de ser impuestos, les obligarían a cerrar. Sin embargo, existen otras consideraciones que pesan más que las cuestiones ambientales, especialmente por los beneficios en ingreso y empleo que proporcionan estas. La industria ha logrado reducir la cantidad de agua utilizada en sus procesos. En Estados Unidos, por ejemplo, el volumen de agua necesario para hacer una tonelada de celulosa se ha reducido en un 70 por ciento en las últimas dos décadas. (Sandbrook R., 2000)

Las medidas de conservación del medio ambiente son necesarias en la fabricación de papel debido al agua contaminada de reboso creada en el proceso. Los contaminantes que constituyen un peligro ambiental en los recipientes de agua están presentes en los efluentes en forma de sólidos suspendidos y disueltos.

Los materiales suspendidos consisten en fragmentos de fibras y rellenos, mientras que las sustancias disueltas consisten en varios componentes químicos de la madera, tales como carbohidratos, lignina y resinas. La descarga de estas sustancias son reducidas principalmente por las medidas de procesamiento interno, o sea por el cierre del sistema. La depuración externa de los efluentes proporciona un método alternativo de la reducción de los contaminantes de esta fuente. (Habets, L. H. A., 1997)

Reciclaje.

La creciente conciencia ambiental ha generado una mayor demanda de papel reciclado y ha dado lugar a presiones para que se recicle el papel después de haber sido utilizado por el público (desecho post-consumo), en lugar de depositarlo en rellenos sanitarios.

El papel de desecho puede ser triturado y reutilizado varias veces; sin embargo, en cada ciclo, del 15 al 20 por ciento de las fibras se vuelven demasiado pequeñas para ser usadas. La industria papelera siempre ha reciclado su propio desecho y el que recolecta de los transformadores de papel, entre los que se encuentran los fabricantes de empaque y los impresores.

El papel y cartón usados se recolectan, se separan y posteriormente se mezclan con agua para ser convertidos en pulpa. La pulpa de baja calidad se utiliza para fabricar cartón para cajas. Las impurezas y algunas tintas se remueven de la pulpa de mejor calidad y se utilizan en la elaboración de papel reciclado para impresión y escritura.

Algunas veces la fibra reciclada se mezcla con celulosa virgen para hacer productos de papel que contengan un porcentaje de material reciclado.

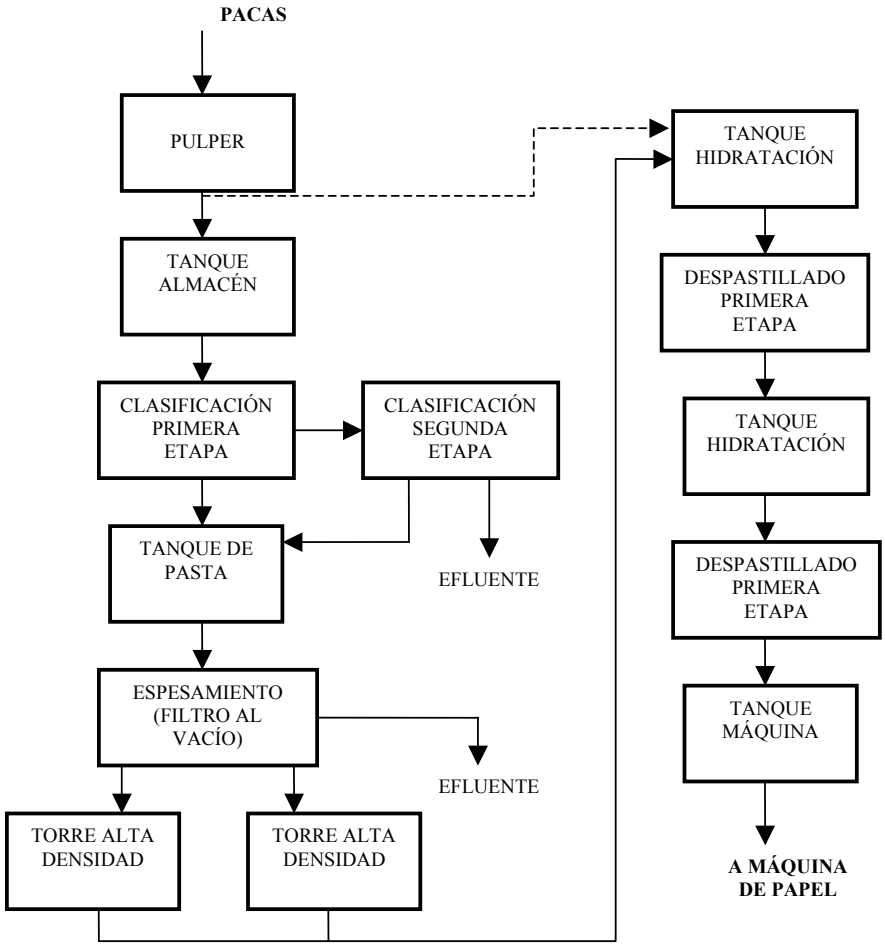
Los procesos de reciclaje utilizan menos energía que los que manejan celulosa virgen; sin embargo, dependen más de los combustibles fósiles, por lo que las emisiones de gases de invernadero pueden aumentar. (Sandbrook R., 2000)

DESARROLLO

I. Descripción del flujo tecnológico utilizado en la UIP Cuba 9.

Preparación, tratamiento y suministro de fibras recicladas.
Las pacas o bobinas de papel reciclado son desintegradas en dos pulpers conectados en paralelo a la consistencia y el tiempo deseado tecnológicamente; con la adición de vapor para el calentamiento de la suspensión, lo cual facilita la desintegración y reduce los tiempos de operación del pulper. Desde este punto la suspensión puede ser bombeada al circuito largo o al circuito corto, para el posterior tratamiento de la fibra. En la figura 2, se muestra un diagrama de bloques simplificado de esta área, con línea discontinua se representa el flujo tecnológico del circuito corto.

Fig. 1: Diagrama tecnológico del sistema de preparación, tratamiento y suministro de fibras recicladas.



Durante el tratamiento de la suspensión fibrosa, se obtienen dos puntos de vertimiento. El primero lo constituye el rechazo de la segunda etapa de clasificación y el segundo el agua filtrada sobrante en el proceso de lavado de la pasta.

Recuperación y tratamiento de roto.
El roto húmedo procedente de la sección de parte húmeda es procesado a través de un filtro rotatorio al vacío. Las fibras son retroalimentadas al sistema de mezcla de la máquina de papel y el agua clarificada es almacenada para su reutilización como agua de dilución en los pulpers y para la regulación de consistencia. El exceso de esta agua es descargada a los efluentes.

El broke seco proveniente de la parte seca de la máquina después de desintegrado y diluido es recepcionado para ser enviado directamente al sistema de mezcla de la máquina de papel.

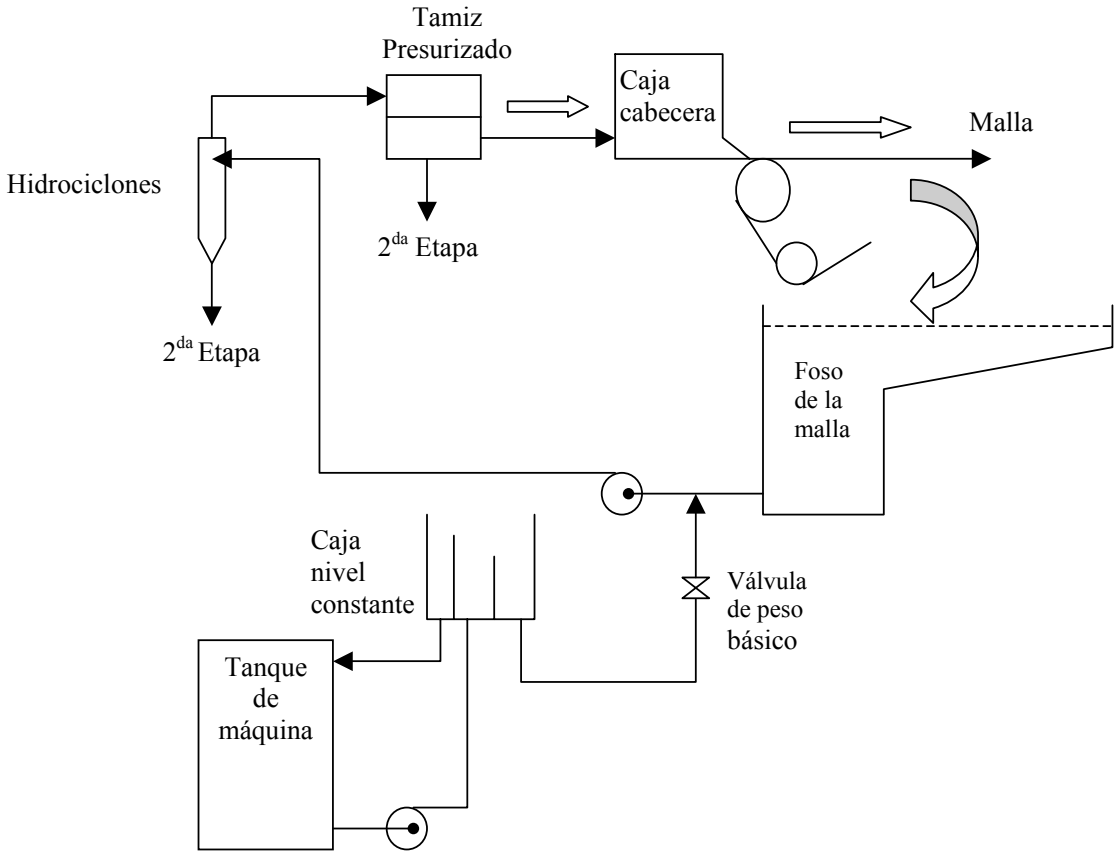
Preparación y dosificación de aditivos.
El sistema de preparación y dosificación de aditivos empleado en el taller de papel consta de equipos que permiten alternar los suministros tanto a la máquina de papel #1, como a la máquina de papel #2, a través de instalaciones diseñadas y/o portátiles. Los papeles producidos a partir de fibra reciclada, en su generalidad solamente son encolados, ya sea con colas naturales (colofonia de pino), modificadas (collodin) o sintéticas reactivas. Para los encolados convencionales se utiliza sulfato de aluminio; en ocasiones algún tipo de agente de retención y drenaje.

Sistema de cabeza de máquina.
El sistema de cabeza de máquina conocido también como sistema de distribución, se refiere específicamente al lazo donde la pasta es diluida, medida, mezclada con aditivos y finalmente depurada y clasificada antes de ser descargada sobre la malla de formación de la máquina de papel. Este se extiende desde el tanque de máquina hasta el labio de la caja cabecera.

Para la realización de dichos procesos existe una batería de depuradores centrífugos arreglados en cuatro etapas en cascada y dos coladores (uno presurizado y otro plano vibratorio) en dos etapas en cascada. Las corrientes de rechazo de ambos sistemas son descargadas al sistema de efluentes.

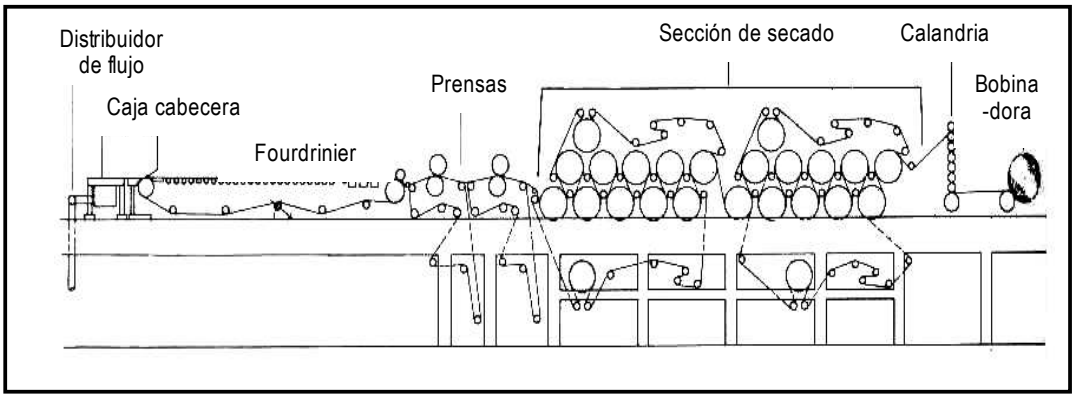
En la figura 2 se muestra un arreglo simple del sistema de cabeza de máquina, existente en el taller de papel.

Fig. 2: Esquema del sistema de cabeza de máquina del taller de papel de la UIP Cuba 9.



Mesa de formación (Fourdrinier).
El objetivo del Fourdrinier consiste en formar la hoja de papel por medio de la eliminación de agua desde la pasta de forma controlada mediante los diferentes elementos de drenaje que posee. Dicha sección debe recibir un flujo de pasta constante, uniforme y lo más laminar posible desde la caja cabecera a una consistencia determinada. (Smook, G., 1997)

Fig. 3: Esquema general de una máquina de papel tipo fourdrinier.



El agua drenada por los elementos de drenaje se recircula al sistema para ser utilizada como dilución en la sección de cabeza de máquina y en preparación de pasta. La mayor parte de esta es colectada en el silo para su retroalimentación y la otra es enviada al sistema de recuperación de broke.

La retención de las fibras sobre la malla de formación depende del tipo de fibra utilizada y si se incluye algún tipo de relleno en el furnish. En los papeles con gran contenido de pastas mecánicas la retención oscila entre 60-65% y los que utilizan en mayor proporción pastas químicas, es de 65-75% y 60-70% para los no cargados y cargados respectivamente.

El broke húmedo se genera entre la malla de formación y la sección de prensa. Este en régimen continuo representa entre 10 al 15% del papel que se está produciendo, valor este excesivamente alto para una máquina comercial moderna.

Prensado y secado del papel.
Durante los procesos de prensado y secado del papel, se busca la extracción del agua que acompaña a la hoja, la cual no pudo ser extraída por los elementos de drenaje de la mesa de formación. En el primer caso se realiza por la acción mecánica mediante rodillos, donde se le ejerce una presión lineal (sequedad de la hoja a la entrada de presas 18 – 20 %, salida ~40%) y en el segundo caso se elimina mediante un cambio de estado del agua, la evaporación (sequedad a la salida de la sección de secado ~97%).

Entre los secadores y la rebobinadora se genera el broke seco, que a régimen continuo representa entre 5 - 7% de la producción que se está realizando. Al igual que el broke húmedo estos valores son excesivamente altos.

Sistemas auxiliares.
El ***sistema de vapor y condensado*** de la sección de secado está dividido en tres grupos independientes con termocompresores en las líneas de alimentación.

Los cilindros de cada grupo están conectados a una línea común de alimentación (cabezal de vapor) y a una línea de evacuación de condensado (cabezal de condensado). Cada grupo o sección trabaja con diferentes presiones y temperaturas de vapor, siendo recomendado que estas sean ascendentes con el objetivo de lograr un calentamiento progresivo y homogéneo sobre la hoja del papel.

La mezcla de vapor - condensado de cada sección es conducida a unos separadores, donde el vapor soplado es reutilizado en la misma sección y el condensado colectado en un tanque es botado directamente al sistema de drenaje de la máquina.

El ***sistema de vacío*** cuenta con tres bombas de vacío NASH modelo CL 3002. Dos para el suministros de bajo vacío y una para el alto vacío.

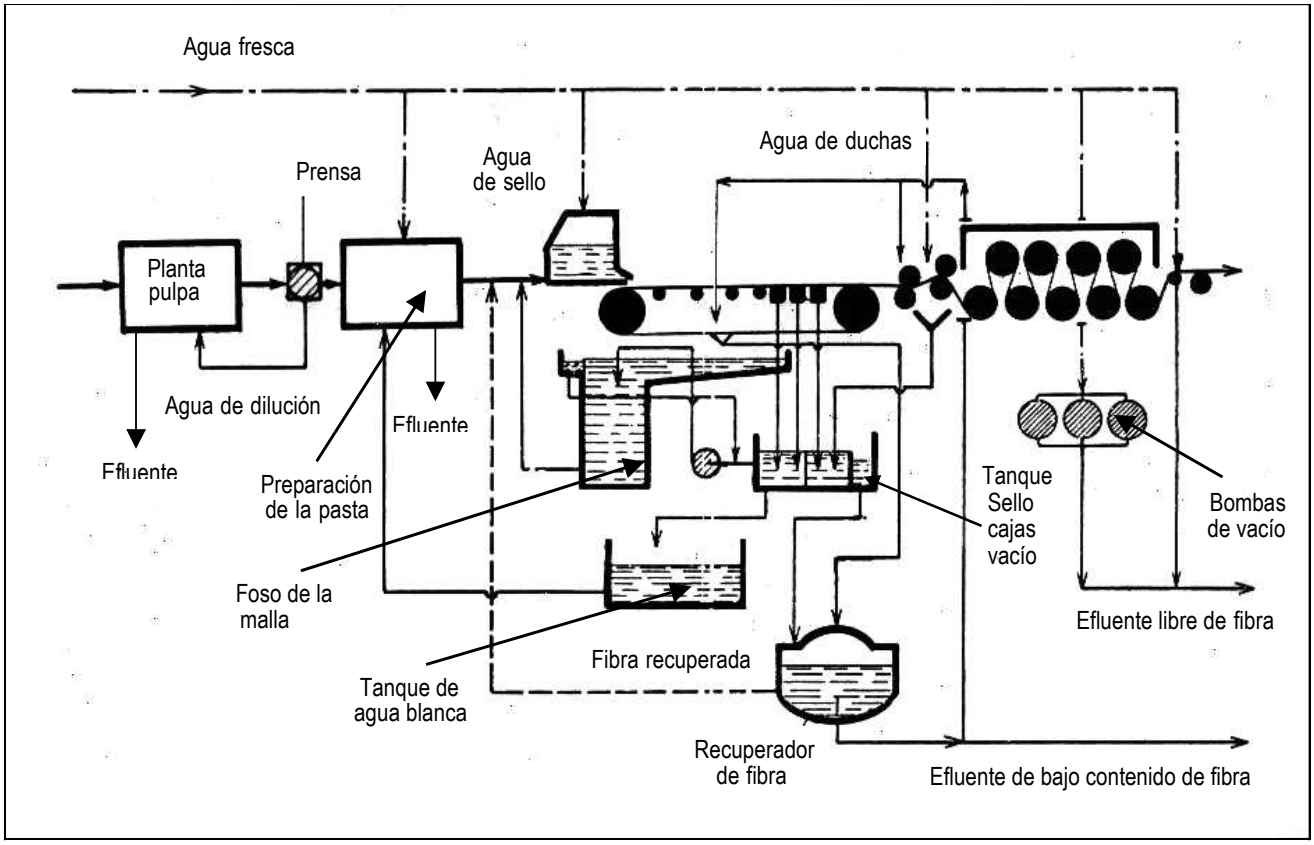
El ***sistema de agua para proceso*** cuenta con un tratamiento por ablandamiento, utilizando el método Cal – Soda. Los puntos de suministro son:

- Sello a bombas y otros equipos.
- Sello a bombas de vacío de anillo.
- Enfriamiento a intercambiadores de calor y otros equipos.
- Duchas de alta presión en vestiduras de la máquina de papel.
- Duchas de lubricación e inundación en vestiduras de la máquina de papel.
- Preparación de aditivos químicos
- "Make up" en tanque de agua blanca.
- "Make up" en tanque de agua de sello.
- Pulpers.

.

En el esquema que a continuación se muestra se puede observar el diagrama general del proceso tecnológico anteriormente descrito.

Fig. 4: Diagrama general del proceso de fabricación de papel.



II. Características de las aguas residuales en la industria papelera.

Las descargas de los efluentes en la industria del papel, dependen de varios factores, tales como: las materias primas utilizadas, las tecnologías aplicadas, tipo de producto a realizar, tipo de tratamiento, las exigencias ambientales de un país o región determinada, etc.

En la tabla I, se reportan los valores de las descargas de efluente promedio a nivel mundial reportado por la NCASI a finales del pasado siglo. (Springer, A. M., 1993)

Tabla I: Descargas de efluente promedio a nivel mundial.

	Descarga promedio en m^3/t						
Producciones	**1975**	**1985**	**1988**	**Producciones**	**1975**	**1985**	**1988**
No integrado	149	101	98	Sulfito	189	183	167
Papel desecho	17	11	10	Semi química	36	24	23
Destintado	107	74	68	Kraft cruda	83	63	5
Grounwood	77	64	62	Kraft blanq.	133	115	104

A continuación se reportan los índices típicos de consumos, rendimiento y descarga en Alemania para el procesamiento de papeles reciclados durante el año 1990 (ver tabla II) y los valores reportados por la fábrica Papelera Peninsular de España (ver tabla III), la más moderna de este país utilizando papel desecho de periódicos y revistas. (Ortner, H., 1992; El Papel, 1998)

Tabla II: Índices típicos de consumo y descarga en Alemania.

Tipo de papel	Materias Primas	Consumo agua fresca m^3/t ad	Descarga efluente m^3/t ad	Perdida de fibra (%)	Rend Total (%)	BOD_5 (kg/t od)
Periódico	ONP - OMP	6.0 – 7.5	-	-	88	4.5 – 7.5
Liner	OCC	2.65 – 4.0	7.5	1.3 – 2.5	91.5	-
Fluting	OCC	2.39 – 4.0	4.95 – 7.5	2.0 – 3.0	90.5	-
Cartón	Mezclado	2.7	8.4	1.95	89.5	-

Tabla III: Índices de consumo y descarga de Papelera Peninsular.

Materias Primas	Consumo agua fresca m^3/t ad	Descarga efluente m^3/t ad	Perdida de fibra (%)	Rend. Total (%)	Separación contaminantes (98 %)
ONP - OMP	10	10	3.0	8	4.5 – 7.5

Como se puede observar la tendencia mundial es la de reducir las descargas, lo cual se puede lograr a través del cierre parcial del circuito de aguas blancas del proceso tecnológico y la incorporación de eficientes sistemas de recuperación de fibras, con lo cual se obtienen varios beneficios: disminución del consumo de agua fresca, disminución de las descargas (efluentes) en el proceso de elaboración del papel y disminución de las pérdidas de fibra en el sistema.

III. Data histórica de los consumos de agua fresca y descarga en la UIP Cuba 9

La máquina de papel #1 por proyecto tiene un consumo de agua industrial promedio de 1900 l/min (2736 m^3/día) y 4500 l/min (6480 m^3/día) máximo. Este consumo se distribuye en:

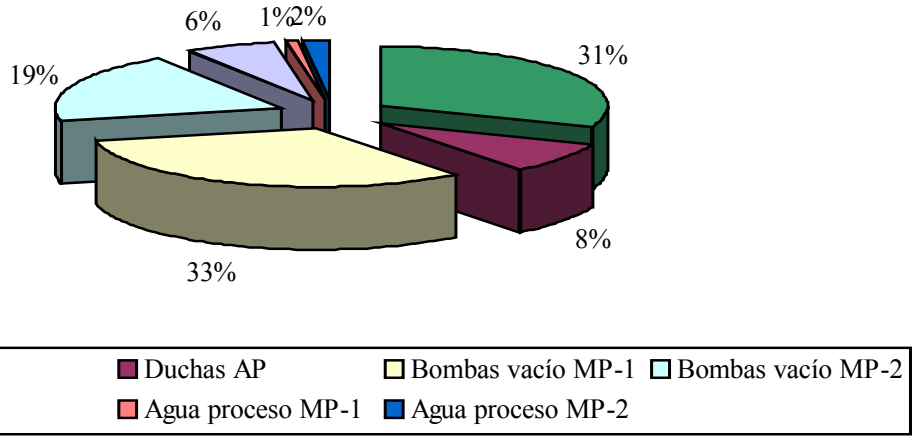
- Agua para Sello.
- Agua de Proceso.
- Agua para Enfriamiento.
- Agua para Duchas.

Tabla IV: Puntos fundamentales de consumo de agua tratada en el taller de papel.

Consumo	Prom.		Máx.	
	l/min	m^3/d	l/min	m^3/d
Malla Fourdrinier BP (duchas)	72	104	689	992
Malla Fourdrinier AP (duchas)	55	79	325	468
Parte de Prensas BP (duchas)	246	354	306	440
Parte de Prensas AP (duchas)	32	46	32	46
Bombas de Vacío MP #1	330	475	330	475
Bombas de Vacío MP #2	200	288	200	288
Agua de Proceso MP #1	10	14	800	1152
Agua de proceso MP #2	20	29	20	29
Agua Sello	65	94	65	94
Total	**1 030**	**1 483**	**2 767**	**3 984**

Por concepto de equipos y/o procesos fuera de servicio se deja de consumir como promedio y máximo 1270 y 2260 m^3/día respectivamente.

Fig. 5: Distribución del consumo de agua en el taller de papel



Teniendo en cuenta el gráfico anterior se puede establecer que los mayores puntos consumidores de agua son: agua de sello para las bombas de vacío de la máquina 1, las duchas de baja presión de mallas y paños y el agua de sello de las bombas de vacío de la máquina 2.

De acuerdo a los datos de proyecto y sin incluir la planta de pulpa, el consumo específico de agua tratada en el taller de papel es de 80 y 110 m^3/t de papel como promedio y máximo respectivamente. En la tabla V, se muestran los consumos específicos de agua en máquina de papel, en los últimos años. Aquí observamos que, los consumos promedios están por encima de los valores deseados, que por supuesto, empeoran en los días de baja eficiencia.

Tabla V: Consumo específico de agua tratada del 2000 al 2003.

	Consumo de Agua Tratada (m^3/día)			Consumo Específico (m^3/t)			
	2000	2001	2002	2000	2001	2002	2003
Máx.	4740	3463	-	280	250	-	-
Mín.	651	1169	-	95	139	-	-
Prom.	**1916**	**2090**	**1227**	**167**	**179**	**186**	**147**

(*) En el trascurso del 2003 se trabajó con agua cruda, por problemas tecnológicos en la planta de tratamiento de agua.

A diferencia de estos valores, el consumo de agua a nivel mundial durante el proceso de fabricación de papel es muy inferior, como lo muestra la tabla VI (Blanco, M. A., 1997; Johansson, C., 1996); donde se puede observar una comparación de consumos específicos de agua para diferentes tipos de surtidos de papel en sistemas abiertos y cerrados.

Tabla VI: Consumos específicos de agua (m^3/t) para sistemas abierto y cerrados en la actualidad.

Tipo de papeles	Sistemas Abiertos	Sistemas Cerrados
Prensa y Revistas	30 - 120	5 - 15
Imprenta y Escribir	180 - 200	20 - 50
Tissue y Sanitarios	60	10 - 20
Liner y Fluting	30	2 - 4
Cartón y Cartulina	15	2 - 8

Características de los efluentes originados en la UIP CUBA 9.

En la tabla se muestra el resultado anual del monitoreo realizado a los residuales vertidos por la UIP Cuba- 9 desde su puesta en marcha, originados durante el proceso tecnológico de fabricación de papel y cartón.

A partir de 1985 se comenzó a introducir el papel de desecho como materia prima en la producción del papel y cartón; desde 1998, esta constituye el 90 % de la materia prima fundamental.

Tabla VII: Registro histórico de los residuales vertidos por la UIP Cuba-9.

Año	pH	Color (UPt)	SS (Kg / t)	DQO (Kg / t)	DBO (Kg / t)	SS (ppm)	DQO filt. (ppm)	DBO (ppm)
1981	9.0	116	300	650	400	1500	3250	2000
1985	7.5	42	36	110	55	180	550	275
1990	7.4	28	45	115	49	225	575	245
1991	7.1	29	51	120	46	255	600	230
1992	7.2	32	46	133	52	230	665	260
1993	7.0	46	51	126	41	255	630	205
1994	7.3	41	53	102	36	265	510	180
1995	7.3	51	39	104	35	195	520	175
1996	7.5	39	38	108	40	190	540	200
1997	7.3	42	36	131	42	180	655	210
1998	7.3	43	41	127	38	205	635	190
1999	7.3	47	32	129	38	160	645	190
2000	7.3	45	39	124	34	195	620	170
2001	7.3	46	39	125	33	195	625	165
2002	7.3	47	38	126	32	190	630	160
Promedio (a partir de 1985)	**7.3**	**41**	**42**	**120**	**41**	**209**	**600**	**204**

Flujo promedio anual: 3000 m^3/día
Producción promedio anual: 15 t/día

Caracterización de los residuales.

Teniendo en cuenta la identificación de las principales corrientes que descargan en la máquina de papel, y la descarga general en la zanja del taller de pulpa, para la producción de papeles de imprenta y escritura, así como cartulina, con 100 % de recorte, se tomaron muestras de los siguientes puntos:

- Zanja general de pulpa
- Zanja general de papel
- Agua de sello de las bombas de vacío
- Agua de proceso sobrante (Tanques 51-34 I, 61-08)
- Rechazo del colador plano
- Agua extraída en prensas

El muestreo se realizó en diferentes turnos de trabajo, con una frecuencia de dos muestreos por turno, durante un período de un mes y medio, trabajando la máquina de papel de forma estable, para obtener de esta forma una muestra representativa. Los análisis de las muestras se realizaron teniendo en cuenta las normas establecidas por los métodos estándar. (APHA-AWWA-WPCF, 1976)

Tabla VIII: Resumen de la caracterización realizada durante el 2003

	Flujo (m^3 / d)	pH	Color (UPt)	SS (Kg / t)	DQO(filt) (Kg / t)
Efluente de Pulpa	1766	7.8	33	234	56
Efluente de Papel	2146	7.9	78	240	163
Total	3912	7.8	58	474	220

Tabla IX: Registro promedio de los vertimientos en la UIP Cuba 9, 1985 – 2002.

Registro promedio anual desde 1985 - 02 =	Flujo (m^3 / d)	pH	Color (UPt)	SS (Kg / t)	DQO(filt) (Kg / t)
	3000	7.3	41	42	120

Teniendo en cuenta los valores obtenidos durante el muestreo realizado, se puede llegar a las siguientes observaciones:

1. El contenido de sólidos suspendidos en el efluente es elevado, lo cual se debe fundamentalmente a la baja eficiencia del sistema de recuperación de fibra existente en el taller de papel y al elevado flujo en la descarga del efluente, el cual promedió 261 m^3/ t.
2. La demanda química de oxígeno (DQO) del residual reportó valores superiores en relación con el registro promedio anual.
3. La descarga volumétrica del efluente, se encuentra por encima de lo estimado por proyecto, al igual que el registro promedio anual, lo cual puede estar dado por indisciplina tecnológica e inadecuados arreglos tecnológicos.

CONCLUSIONES

1. Los consumos promedios de agua en el taller de papel de la UIP Cuba 9, se encuentran por encima de los proyectados para la máquina #1 y la máquina #2.
2. El arreglo tecnológico utilizado en la fabricación de papel a partir de fibra reciclada en la UIP Cuba 9, cuenta con un sistema abierto de agua, lo cual se traduce en un consumo específico (m^3/t) 9 veces superior en comparación con otras fábricas de papel que poseen sistemas cerrados.
3. Los mayores puntos consumidores de agua, en el taller de papel, son: agua de sello para las bombas de vacío de la máquina 1, las duchas de baja presión de mallas y paños y el agua de sello de las bombas de vacío de la máquina 2.
4. El contenido de sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno muestreado en las descargas, durante la fabricación de papel de imprenta y escritura a partir de fibra reciclada en el taller de papel, se encuentran por encima de los valores promediados.
5. La tendencia mundial en la industria de celulosa y papel, es la reducción de las descargas mediante el cierre parcial del circuito de agua.
6. Las descargas de los efluentes en la industria del papel, dependen de varios factores, tales como: las materias primas utilizadas, las tecnologías aplicadas, tipo de producto a realizar, tipo de tratamiento, las exigencias ambientales de un país o región determinada, etc.

BIBLIOGRAFÍA

APHA-AWWA-WPCF. "Standard methods for the examination of water and wastewater". 14th edition, 1976. pp. 94, 95, 460 y 550.

Blanco, M. A.; Negro, C.; Tijero, J. "Paper Recycling. An Introduction to Problems and their Solutions". 1997. European Commission.

El Papel, "Papelera Peninsular". Revista No. 73, Nov. 1998. pp. 43 – 48.

Habets, L. H. A.; Hooimeiger, A; Knelissen, H.J. "In-line Biological Process Water Treatment for zero discharge operation at recycled fibreboard mills". Pulp & Paper Canada vol. 98 #12 december 1997. pp. 184-187

Jódar M.; Cubero Castillo, J. M.. El Papel. 1998. www.manueljodar.com

Ortner, H; Bergfeld, D. "Recycling of Wastepaper". Present Status – Future Development. VOITH Paper Technology. 1992. pp. 8-12, 20-22.

Sandbrook R. Cambio en el futuro del papel. Resumen del estudio "Towards a Sustainable Paper Cycle". 2000. www.sistema.itesm.mx.

Smook, G. A. "Handbook for Pulp & Paper Technologists". 2nd Edition. 1997. pp. 228-229, 248-249, 378, 380.

Springer, A. M. "Industrial Environmental Control Pulp and paper industry". 2nd. Edition. Department of Pulp and Paper science and Engineering, Miami University. 1993. pp. 194, 196 – 208.

ASESORÍA RÁPIDA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN LA EMPRESA AZUCARERA "CIRO REDONDO"

CLEANER PRODUCTION QUICK SCAN IN THE MOLASSES-MAKING ENTERPRISE "CIRO REDONDO"

Autores: Yaniris Lorenzo Acosta (Reserva científica), Esperanza Valdés Jiménez (Investigador titular), Ma. Cristina Obaya Abreu (Investigador titular), Julio A martínez (especialista en derivados).
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
P. O. Box. 4026, Ciudad de La Habana, Cuba. E. Mail yani@icidca.edu.cu
Fax (537)33 8236 Teléfono (537) 55 7015

Resumen

En el presente trabajo se realizó una asesoría rápida vinculada con Las Producciones Mas Limpias en la fábrica de levadura forrajera perteneciente a la Empresa Azucarera Ciro redondo, que se encuentra ubicada en el municipio de Morón de la provincia de Ciego de Ávila.

En la asesoría se evalúa la fábrica desde el punto de vista tecnológico, los consumos de materias primas, portadores energéticos y consumo de agua en cada etapa; además se caracterizan las aguas residuales de la fábrica de levadura y el central azucarero y se determina el índice de aguas residuales vertidos por tonelada de levadura producida, así como la posible utilización de la mezcla de ambos residuales para la fertirrigación.

Como resultado se detectaron, donde y en que etapas del proceso se encontraban las dificultades, se determinó porque eran generadas y cómo podían ser eliminadas. Con la información anterior se creó un plan de acción para dar a conocer las medidas de Producciones Más Limpias, así como cuanto sería el costo para erradicar cada una de las dificultades encontradas que influían negativamente en la eficiencia y productividad del proceso, así como en el incremento de los costos de producción. El trabajo realizado es la base para realizar una asesoría completa

Palabras claves: Levadura, Producción Más Limpia, asesoría rápida.

Summary.

In present paper a fast advisory linked to Cleaner Productions in the yeast factory from sugar producing enterprise Ciro Redondo located in Moron municipe of Ciego de Ávila province.

In the consultantship the factory is evaluated from the technological point of view, the consumptions of raw materials, energy payees and the consummate of water in each stage; the waste waters of the yeast factory and the sugar mill are also characterized, and the index of waste waters is determined poured by ton of produced yeast, as well as the possible use of the mixture of both residual ones for irrigation.

As a final result it was obtained the identification of where the difficulties were, why they were generated and how they could be eliminated. With this information an action program was created to disclose the measures for Cleaner Production, ace well ace, the expenses to Sep out for the eradication of each and every of the troubles already found which negatively affect the process efficiency and productivity and cost increase. The work carried out constitute the basis for this fast advisory as well as their possible use for irrigation

Key word.
Yeast, Cleaner Productions, quik scan.
Introducción:

La problemática asociada al impacto ambiental en cuanto al vertimiento de residuales, y consumos inadecuados de portadores energético (energía y combustible), así como los consumos irracionales de agua constituye sin duda un aspecto de vital importancia para el sector azucarero.

En el año 2002 fue realizada una asesoría rápida para evaluar la fábrica desde el punto de vista tecnológico, los consumos de materias primas, portadores energéticos y agua en cada una de las etapas de producción. Ésta tiene como objetivo buscar una estrategia ambiental continua y preventiva que de soluciones a los problemas encontrados. La estrategia seguida puede ir desde las opciones más sencillas, como es el de concientizar a los trabajadores y la aplicación de buenas prácticas de operación, hasta las más complejas, que requieren inversiones más importantes, pero que son necesarias para disminuir los costos de producción y hacer más eficiente el proceso obteniéndose con esto una TECNOLOGÍA LIMPIA.

Visión general de la fábrica.

La fábrica de levadura torula pertenece a la empresa azucarera Ciro Redondo que se encuentra ubicada en el centro de la provincia de Ciego de Ávila limitado por el norte con el municipio Morón, por el sur con el municipio Ciego de Ávila y Baraguá, por el este con el municipio Primero de Enero y por el oeste con los municipios Florencia y Majagua.

Tiene la misión principal de garantizar la producción de levadura seca y levadura en crema a partir de la miel que se produce en el ingenio, contando con personal de alta calificación comprometidos a garantizar y a alcanzar crecimientos cada vez más significativos en la producción.

Datos generales de la fábrica de levadura (Alfredo R. Pérez González). (CAI-UB Derivado. 2001)

- Capacidad instalada: 25 t/día
- Capacidad potencial: 20 t/d
- Norma operacional: 18 t/d
- Promedio diario por día de producción: 16 t/d (base de cálculo)
- Promedio diario por día efectivo: 21.8 t/d

Análisis de la fuerza de trabajo.

Plantillla total:	75 trabajadores
Directos :	65
Indirectos:	10

Por categoría:

Dirigentes:	0
Técnicos:	2
Administrativos:	1
Servicio:	2
Obreros:	60

En esta fábrica se trabaja por turnos de trabajos, la entrega de los mismos es realizada por los jefes de turnos, utilizando el modelo de control del proceso, en el cual están reflejadas las operaciones realizadas y el estado en que se entregan los parámetros de control.

Tabla I. Plan de producción en el 2002.

Plan	Real	Dif	%
4220T	4326,199T	106.199	102,5

Como se observa en la tabla I, el plan de producción en el año 2002 se sobrecumplió en un 102,5 %, lo que se debió a un mejor aprovechamiento de la capacidad productiva que el planificado; esto puede explicarse mejor si se tiene en cuenta que la cepa de levadura utilizada en esta instalación ha sufrido a través del tiempo un proceso natural de adaptación que le posibilita hidrolizar la sacarosa en azucares simples, por lo que con igual cantidad de miel, puede obtenerse mayor cantidad de levadura al disponer de mayor cantidad de azúcares simples.

- **Producciones que se ejecutan actualmente (líneas de producción)**

Producción	Ingresos
Levadura seca	$ 104 000
Crema de levadura	$ 46 00

No hay exportaciones, toda la levadura es usada en la producción de alimentos, siendo las ventas equivalentes a 1 millón de USD. (MINAZ-CAI. 2001)

Descripción de las etapas fundamentales del proceso de producción de levadura forrajera.

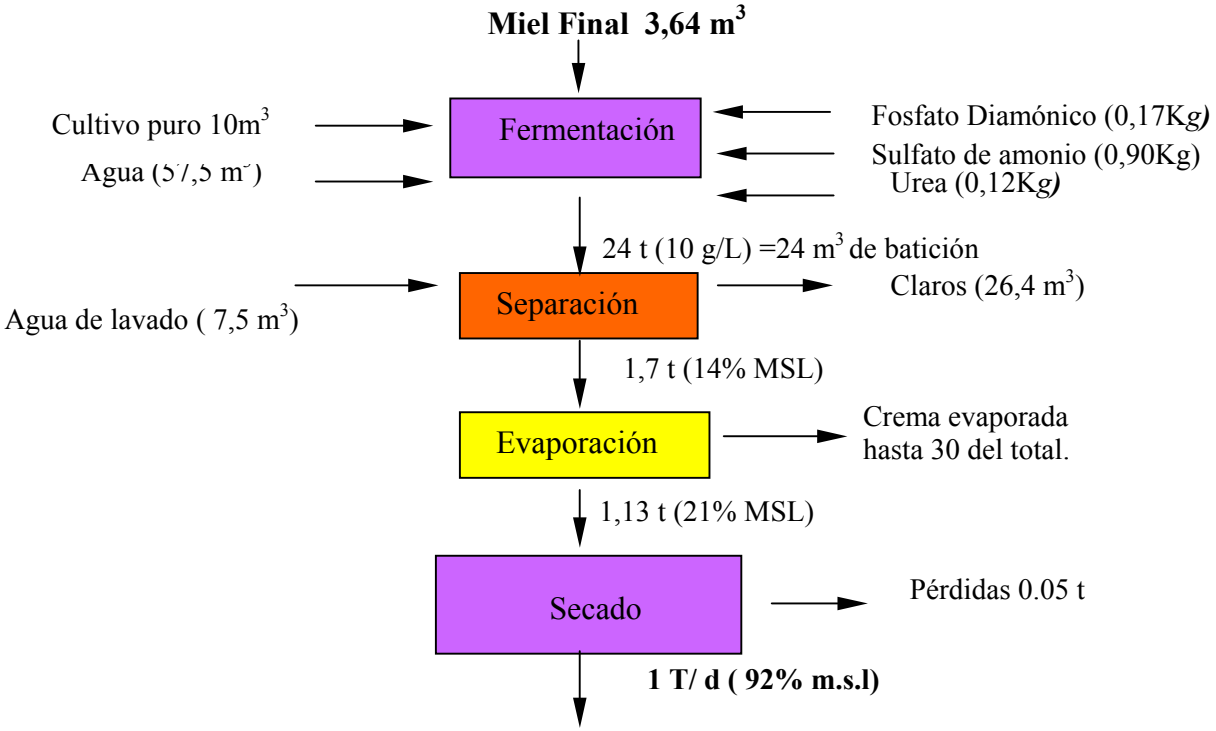
La miel se diluye hasta 45 Bx para entrar a la etapa de fermentación donde la temperatura debe estar 33-35 ^{0}C.

La concentración de levadura en el fermentador es como promedio de 10 gL^{-1}, pues el tipo de fermentación empleada es de baja concentración. Después de transcurrido el proceso de fermentación, la batición fermentada se pasa al área de deselmulsión donde la misma es desaereada con la finalidad de favorecer el buen trabajo de las máquinas separadoras centrífugas en la etapa de recuperación de levadura.

En la etapa de centrifugación la batición procedente del área de deselmulción es concentrada hasta 13 % de sólido, luego de lo cual se lava uno a uno en volumen con agua del proceso, con el objetivo de eliminar las impurezas inorgánicas que acompañan a dicho producto. Una vez realizado este lavado, la crema obtenida de aproximadamente 7 % de concentración se pasa a una segunda etapa de centrifugación donde se obtiene una concentración de aproximadamente 14% de sólido. La crema obtenida en la etapa anterior es entonces enviada al área de evaporación y termólisis, donde por intermedio de un evaporador de película descendente al vacío es concentrada hasta 21 % de sólido.

La crema una vez evaporada y termolisada puede ser comercializada tal cual o puede ser pasada al área de secado donde es transformada en un polvo con 92 % de materia seca de levadura en un secador en sistema por atomización a contra corriente. Al poner dicha crema en contacto con una mezcla de gases calientes se produce la formación de una partícula de polvo por cada gota de crema atomizada. La mezcla de gases calientes se obtiene de calentar aire ambiental con los gases resultantes de la combustión del gas acompañante de los pozos de petróleo de los yacimientos locales.

Diagrama de bloque de la producción de levadura.



Productos.

Tabla II :Descripción y caracterización de los productos:

Producto: Levadura Seca Forrajera	Año 2002	
Características:	**Norma**	**Real**
Proteína bruta base seca	(45-50) %	49.28%
Humedad física	(8-10) %	8.97%
Cenizas base seca	(6-12) %	7.77%
Fósforo (P_2O_5) base seca	(2.5-4) %	4.05%
Textura	Polvo	
Color	Crema a Pardo	

(MINAZ-ICIDCA. 2001.)

Como se observa en la tabla anterior la levadura producida es de muy alta calidad, lo cual es resultado de la alta adaptación de la cepa de levadura a las condiciones adversas de operación, entre ellas la alta temperatura de la fermentación.

Materias primas: Miel final
Nutrientes: Sulfato de Amonio, Fosfato Diamónico, Urea y antiespumantes

Tabla III :Indices de materias primas utilizadas por tonelada de levadura producida.

	Plan	Real
Miel	4.8	4.79 t/t
Sulfato	400	352 kg/t
Fosfato	150	105 kg/t
Urea	40	- Kg/t
Antiespumante	0.016	0.0137 t/t

(MINAZ-ICIDCA. 2001.)

La tabla III indica que los índices planificados fueron mejorados, lo que se atribuye al buen aprovechamiento de la capacidad productiva, lo cual se muestra en la tabla I.

Tabla IV: Precio de los insumos.

Materias primas	**Precio planif**	**Precio real**	**Costo planif. 1TM (USD)**	**Costo real. 1TM (USD)**
Sulfato de Amonio	159.11	197.66	63.64	79.06
Fosfato Diamónico	344.00	396.64	36.12	41.65
Antiespumante	1483.20	1950.00	22.20	29.25
Sacos multicapas	193.85	169.80	8.14	7.13
Sub-total			**130.10**	**157.09**
Miel final			139.20	138.91
Energía eléctrica			87.50	71.23
Total			**356.80**	**367.23**

(CAI. 2002.)

En la tabla anterior se ve un incremento del costo de producción, motivado por el no cumplimiento por parte de los suministradores de los precios planificados para los insumos.

En la empresa también se aplica la política de diversificación siendo las principales producciones: (MINAZ-ICIDCA. 2001.)

- Compost
- Azotobacter
- Fosforina
- Fertilizante orgánico
- Risobiun
- Hielo
- Carne de cerdo.

Tabla V: Portadores de energía

Electricidad:	Plan	Real	Diferencia	%
(De la red nacional)	1450 Kw/t	1272 Kw/t	178	88
(Del CAI)	-	258	-	-
Combustible: Gas natural:	500 m^3/t	350 m^3/t	150	70

Como se observa en la tabla V el índice de consumo real de energía eléctrica fue menor que el esperado, siendo la diferencia de 178 Kw. Esto se debe a que la producción real obtenida fue superior a la planificada (ver tabla I).

Calderas: Cantidad 1 (de dos que existen sólo una está en funcionamiento)

Capacidad de generación	1 t/h
Presión de vapor	10 kg/cm^2

Las calderas alimentan todo el vapor que requiere la fábrica durante el período de no zafra. (MINAZ-CAI. 2000)

Consumo de agua de proceso.

La fábrica cuenta con dos pozos de los cuales uno entrega 90 L/s (324 m^3/h) y el otro 70 L/s (252 m^3/h); éste último se encuentra paralizado. El resto del agua que se utiliza proviene del agua tratada en el central y se emplea para uso en la caldera, enfriamiento y sello de bombas en la planta de levadura.

Tabla VI. Consumo de agua en cada una de las etapas de producción.

Insumo requerido en el proceso	
Propagación	250 m^3/h
Separación-Lavado	7 m^3/h
Evaporación	50 m^3/h
Calderas	6 m^3/h
Preparación de sales	5 m^3/h
Preparación de mieles	7 m^3/h
Varios	10 m^3/h
Total	**355 m^3/h**

De la tabla VI se puede deducir que la etapa de mayor consumo de agua es la de evaporación, por tanto esta es la etapa donde el equipo de trabajo del ICIDCA centró la mayor atención a la hora de trazar la estrategia para disminuir este índice de consumo.

De la Tabla VI se observa que el índice de consumo de agua de esta fábrica es de 440 m^3/t de levadura producida. Este índice se reduciría si existiera un sistema de enfriamiento que permitiera poner en circuito cerrado las aguas de la etapa de evaporación. De este modo el índice se reduciría a 371 m^3/t, que está aún por encima del índice normado para plantas de tecnología de baja concentración.

Aguas residuales evaluadas y metodología de muestreo

De acuerdo al objetivo del trabajo se analizaron las corrientes fundamentales de aguas residuales de la planta de levadura y las del central azucarero, así como la corriente integral de ambas instalaciones con el fin de determinar si estas cumplen con los requerimientos para ser utilizadas en la fertirrigación de las áreas aledañas al central; a continuación se identifican cada una de las corrientes:

1. 1era separación de levadura
2. 2da separación de levadura
3. Corriente integral de la planta de levadura
4. Corriente del hueco de miel anexo a la planta de levadura
5. Corriente integral de la planta de levadura unida al hueco de miel
6. Zanja 1 del central azucarero (Central 1)
7. Zanja 2 del central azucarero (Central 2)
8. Zanja 4 del central azucarero (Central 4)
9. Zanja 3, que une las corrientes del central azucarero y la planta de levadura (Integral levadura y central) *Corriente para el fertirriego*

El estudio fue realizado durante 15 días de la zafra 2001-2002, tomando muestras acumulativas diarias, compuestas por muestras puntuales tomadas cada 3 horas, durante el día y la noche. El punto 9, que une las corrientes del central azucarero y la planta de levadura, fue tomada con un tomamuestras automático que realizó muestreos de dicha corriente cada media hora, también durante las 24 horas del día.

Determinaciones realizadas

Las determinaciones realizadas fueron las siguientes:

Potasio en un equipo de absorción atómica, nitrógeno, fósforo, y pH de acuerdo a las técnicas estandar. (ICIDCA-MINAZ. 2002.)

Mediciones de flujos en zanjas uniformes, empleando el método convencional de cálculo de la velocidad de objeto flotante sobre corriente en longitud definida y área mojada. También se midieron flujos determinando el tiempo de llenado de vasija con volumen fijo.

Clasificaciones utilizadas e índices determinados.

Clasificaciones: (ICIDCA-MINAZ, 2000)

- Procedimiento del Laboratorio de Control de Salinidad de la USA (United States Department of Agriculture)
- Clasificación de Wilcox, "Quality of Irrigation Water", Wilcox L.V.
- Clasificación de la Universidad de California (California University USA)
- Clasificación de Palacios y Aceves. Rama de Riego y Drenaje, Colegio de Postgraduados de ENA (México)

Indices calculados:

- Relación de absorción del sodio (RAS)
- Carbonato de Sodio Residual (CSR)
- Porciento de Sodio Soluble (PSS)
- Salinidad Potencial (SP)
- Suma de bases (Σ de bases)

El análisis estadístico realizado y los índices fueron calculados mediante el empleo de un programa en Excel.

Tabla VII. Caudales de las aguas de la fábrica.

Procedencia	**m^3/d**
AGUAS QUE VAN A LAS ZANJAS	
Volumen de aguas de la planta de Levadura Torula	**7972 m^3/d**
Indice Total (para 16 Ton Lev/d)	**498 m^3/Ton Lev**

La tabla muestra que evidentemente existe un gasto de agua excesivo. El índice de consumo de agua puede ser reducido si muchas de sus aguas no son despilfarradas, si son reusadas o recicladas. Sin llegara a un índice de 230 m^3/t de levadura, tomando las medidas necesarias pudiera considerarse una instalación de la muy mencionada hoy día tecnología limpia, en cuanto a consumo de agua se refiere.

Teóricamente el 85% del agua que se consume en todo el proceso debe ir a la zanja, sin embargo según las mediciones realizadas este valor se incrementó a un 113% que se debe a que existen malas prácticas de producción pues las mangueras permanecen siempre abiertas.

Tabla VII. Indices de calidad de agua para riego de las corrientes internas del complejo agroindustrial

Corriente	C. E	pH	Sodio	RAS	CSR	PSS	SP	Σ Bases
	mS/cm	-	mg/L	-	meq/L	%	meq/L	meq/L
1era Sep	3.1	3.6	16.3	0.49	0	22.37	60.21	5.44
2da Sep	2.85	3.98	35.8	1.16	0	34.57	57.60	5.53
Int Lev	3.16	4	9.7	3.18	0	5.87	25.41	10.31
Int + H	2.6	3.95	14.81	0.4	0	67.55	45.06	15.96
Hueco	4.15	7.1	15.0	0.42	0	47.89	46.66	9.26
Central 1	0.91	8.6	11.2	0.4	0	44.59	32.71	5.09
Central 2	0.5	5.8	40.35	1.37	0	49.38	32.85	6.37
Central 4	0.96	5.3	7.8	0.28	0	32.44	35.44	4.29
Valor aceptable	1-2.5	>3.5 y < 8.5	< 300	2	< 1.25	20-40	< 3	20

En cuanto a calidad de agua para riego, al observar la tabla VII, para las corrientes individuales, se observa que la Conductividad Eléctrica (C.E.) tiene valores variables, de ellos, no aceptables, los procedentes de las operaciones de la producción de levadura torula. Sin embargo las originadas en el ingenio son excelentes desde este punto de vista. Los valores de pH caen en el rango adecuado para todas las corrientes.

El valor de la Relación de Absorción del Sodio (RAS), sólo resulta no recomendable para la corriente integral de la planta de levadura (3.18). Los valores del Carbonato de Sodio Residual (CSR), la suma de bases (Σ de bases) resultan excelentes y así también todas las corrientes son adecuadas en cuanto al contenido de sodio.

El porciento de sodio soluble (PSS) presenta valores adecuados para las corrientes de la planta de levadura antes de unirse con la corriente del hueco de miel, por lo que evidentemente, al observar los contenidos de sodio, se puede asegurar que esta corriente influye negativamente. Relaciones similares se observan para las corrientes 1 y 2 del central, en este caso debido probablemente, al vertimiento de las aguas procedentes de la limpieza con sosa.
Resalta para todas las corrientes individuales el índice de Salinidad Potencial (SP). El mismo resulta extraordinariamente alto si lo comparamos son el valor considerado adecuado o permisible (< 3 meq/L) , lo cual es debido a las altas concentraciones de cloruros y sulfatos que poseen estas aguas (Ver tablas 1 y 3). Una vez precipitadas las sales menos solubles, quedarán en solución, cloruros y sulfatos. Estos aumentan considerablemente la presión osmótica y actúan a bajos niveles de humedad [5].

Tabla VIII. Indices de calidad de agua para riego de la corriente integral del complejo agroindustrial (Corriente final para riego)

	C. E	pH	Sodio	RAS	CSR	PSS	SP	Σ Bases
	mS/cm	-	mg/L	-	meq/L	%	meq/L	meq/L
Media	1.93	4.45	14.74	0.47	0	34.93	47.08	6.29
Desv. Est.	0.567	0.776	0.005	0.1926	0	9.0658	7.8142	1.2572
Max.	2.35	5.9	19.8	0.71	0	45.36	59.09	7.59
Min	0.8	3.8	6.3	0.17	0	23.97	39.14	4.52
Valor aceptable	1-2.5	>3.5 y < 8.5	< 300	2	< 1.25	20-40	< 3	20

Al analizar la tabla VIII, para la corriente integral, se observa que al unir las corrientes originadas en ambas instalaciones, mejora la calidad de las mismas para el riego, excepto para los valores de la SP los que se mantienen muy altos y hacen a estas aguas no recomendables para ser irrigadas en dosis normales. En casos como éste, se utilizan dosis menores de riego con bajas frecuencias, a fin de evitar los peligros que para el suelo y el cultivo éstas pueden crear.

En principio, las mezclas de este tipo se han considerado enmendantes orgánicos. Véase el valor fertilizante de las mismas:

Tabla IX. Valor fertilizante de la corriente integral de la planta de levadura unida a la del central azucarero

Elemento	Concentración (mg/L)	Evaluación para el fertirriego
Nitrógeno	**108**	**>50 y < 120 puede ser utilizado para todo tipo de suelo**
Fósforo	**21**	**>10 y< 30 el cálculo de riego se hace sobre la base de la norma de fertilizante vigente**
Potasio	**57**	**Observar la norma de fertilizante vigente**

Estas aguas, utilizadas en las dosis y frecuencias adecuadas, según el tipo de suelo y el cultivo, sin dudas pueden ser de alto valor, más si se considera que las mismas, además de poseer cantidades substanciales de NPK , tienen altas cantidades de materia orgánica insuficiente en nuestros suelos.

Estrategia ambiental. Plan de acción.

Según las dificultades encontrada en cada etapa del proceso, se creó una estrategia ambiental para poder implementar un plan de acción que diera soluciones a los problemas encontrados. Las dificultades encontradas en la asesoría, así como las medidas a tomar y el costo de cada una para poder erradicarlas se puede ver en el anexo 1 y 2; sin embargo como se puede observar el costo total que es necesario invertir para dar soluciones a todos los problemas es muy elevado, por lo que proponemos llevar a cabo este plan en tres etapas; la primera etapa sería la que conllevaría a una menor inversión y está enmarcada en rojo en el anexo, lo que está resaltado en azul se realizaría en la segunda etapa y en negro para la tercera.

Tabla XI. Costo unitario de la torula

En la tabla anterior se puede ver que el costo unitario de producción de la torula es elevado siendo esto uno de los grandes problemas de la producción de torula en Cuba; sin embargo en el 2003 hubo un descenso de 589,9 a 482,97 que se debe a la desaparición de algunas de las deficiencias encontradas, las cuales no requirieron

CONCEPTO	REAL 2001	ESTIMADO 2002	PLAN 2003
COSTOS VARIABLES	482,78	498,3	407,63
COSTOS FIJOS	95,5	91,6	75,34
COSTO BRUTO	578,28	589,9	482,97
COSTO TOTAL NETO	578,28	589,9	482,97
Nivel de producción	3893	4326,2	3720
Costo Unitario	578,28	589,9	482,97

grandes costos de inversión para su erradicación y están enmarcadas en la primera etapa del plan de acción.

CONCLUSIONES.

- Al concluir esta asesoría, se discutió el plan de acción con los directivos de la empresa para incluirlo en el plan de negocio de la unidad básica Ciro Redondo.
- La erradicación de todas las deficiencias encontradas traerá consigo un aumento del desempeño ambiental de la empresa, un aumento de la competitividad y la productividad, así como una disminución de los costos de producción y el tratamiento de los efluentes al final del proceso
- La unión de las corrientes de las aguas residuales de ambas instalaciones, se pueden utilizar para el fertirriego con bajas dosis y frecuencias de riego.
- El plan de acción fue chequeado por el grupo de trabajo del ICIDCA en el mes de octubre en dicha empresa para revisar su estado de cumplimiento, determinándose que con la implementación de buenas prácticas de operación y con un mínimo de recursos se pudo reducir el costo de producción de levadura.

Recomendaciones:

1. Presentación de un proyecto de promoción de inversiones a la ONUDI para lograr el financiamiento de una planta de tratamiento biológico para los residuales de esta fábrica.

2. Realizar una asesoría completa con el objetivo de reducir aun más el costo de producción de la levadura

Bibliografía:

CAI. 2002. Informe sobre la situación de la planta.
CAI-UB DERIVADO. 2001. Diagnóstico sobre la utilización del agua.
ICIDCA-MINAZ 2000. Sistema de Caracterización y Clasificación para el Riego de las Aguas residuales de la Industria Azucarera y sus Derivados.
ICIDCA-MINAZ. 2002.Manual de Técnicas Analíticas para el Análisis de Aguas y Aguas residuales en la Industria Azucarera y sus Derivados.
MINAZ-CAI. 2000. Solución integral de residuales en el CAI de referencia Ciro Redondo.
MINAZ-CAI. 2001. Estado de cumplimiento de los objetivos trazados en la proyección hasta el 2005.
MINAZ-ICIDCA. 2001. Informe de auditoria.

ICIDCA-MINAZ. 2000. Sistema de Caracterización y Clasificación para el Riego de las Aguas residuales de la Industria Azucarera y sus Derivados.
MINAZ-CAI. 2000. Solución integral de residuales en el CAI de referencia Ciro Redondo. CAI Ciro Redondo.
CAI-UB DERIVADO. 2001. Diagnóstico sobre la utilización del agua. CAI Ciro Redondo, UB derivados.
MINAZ-CAI. 2001. Estado de cumplimiento de los objetivos trazados en la proyección hasta el 2005. Ministerio del azúcar, CAI Ciro Redondo.
MINAZ-ICIDCA. 2001. Informe de auditoria.
CAI. 2002. Informe sobre la situación de la planta. Fábrica Levadura Torula CAI Ciro Redondo
ICIDCA-MINAZ. 2002.Manual de Técnicas Analíticas para el Análisis de Aguas y Aguas residuales en la Industria Azucarera y sus Derivados.

Anexos

ANEXO I: Dificultades medidas y costos encontrados para erradicar las dificultades encontradas.

ÁREA O EQUIPOS	DIFICULTADES	MEDIDAS	COSTOS (USD)
Sopladores	Los sopladores adquiridos en años anteriores y algunos otros motores son de mayor capacidad que hace un incumplimiento en el plan de ahorro de energía	Importar	400 000
Evaporadores	Deficiencia en el consumo de agua y energía Deficiencias en el sistema	• Recuperar el agua del condensador de mezcla del sistema de evaporación que son 50 m^3/h, para su utilización en el lavado de la crema, Preparación de sales mieles, así como en limpieza en general (reutilización). Con esta modificación el insumo de agua por tonelada de levadura disminuye a 371 m^3 • Modificación (retubar evaporador)	87 500 35 000
Electricidad	Eguipos muy grandes y obsoletos	Reposición	20 000
Instrumentación y control	Falta de medidores de flujo, manómetros, termómetros, magnetizadores entre otros	Reposición 15% participación nacional	50 000
Tratamiento del agua	Afectación al ecosistema	• Trabajar en trampas de grasa, dosificación de productos ácidos etc. • Estudio y ejecución de un proyecto de riego de las aguas residuales	180 000
Sistema de enfriamiento	No existe	Importar o ampliar	400 000
Calderas	En los módulos de eficiencia de las calderas 2 y 3	Reparación	10 000

Equipos de bombeo	Estado técnico deficiente	Importar	50 000
Tuberías válvulas y accesorios	Roturas y faltas	reposición	150 000
Laboratorio	Completamiento de un laboratorio que controle el proceso y el vertimiento de las aguas residuales.	Importar instrumentación	5 000
Fermentador y desemulsor	Estado técnico deficiente	Construcción de fermentadores	1 700 000
Compresores	Estado técnico deficiente	Importar piezas de repuesto	10 000
Secado y envase	Estado técnico deficiente	importar piezas de repuesto	150 000
Intercambiadores	No existe	importar	150 000
Separadoras	Estado técnico deficiente	importar piezas de repuesto	100 000
TOTAL			***3 497 500***

PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN LA DESTILERÍA "HERIBERTO DUQUESNE"

CLEANER PRODUCTION IN DESTILLERY "HERIBERTO DUQUESNE"

Autores: Roxana Valencia Rodríguez (Aspirante a Investigador), Esperanza Valdés Jiménez (Investigador titular), Ma. Cristina Obaya Abreu (Investigador titular), Fidel Domenech (Investigador Auxiliar), Felipe Eng (Investigador Auxiliar), Misley Morales (Técnico en síntesis y análisis químico).

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
P. O. Box. 4026, Ciudad de La Habana, Cuba. E. Mail rvalencia@icidca.edu.cu
Fax (537)33 8236 Teléfono (537) 55 7015

Resumen

En el presente trabajo se desarrolla una asesoría de Producción Más Limpia realizada en la Destilería de la Empresa Mielera "Heriberto Duquesne" con vista a detectar deficiencias en la fábrica, se sugieren medidas que dan solución a los problemas encontrados, en aras de que la empresa sea más eficiente, se reduzcan los costos y las emisiones al medio ambiente.

Palabras claves: Producción Más Limpia, Miel, Alcohol.

Summary

In the present paper an advisory on Cleaner Production in distillery of molasses-making enterprise "Heriberto Duquesne" was developed in order to detect deficiencies in the factory. Solutions measures of the problem find out were suggested, for achieving, more efficiency, low cost and reduction of the emissions to the environment.

Key words: Cleaner Production, molasses, alcohol.

Introducción.

Gran parte de lo que hoy se piensa sobre los impactos en el medio ambiente gira alrededor de lo que debe hacerse con los desperdicios y las emanaciones después de que se han producido. El enfoque de control de la contaminación ha evolucionado a través de tres etapas en los últimos 50 años:
* Dilución
* Tratamiento
* Prevención/Producción Más Limpia
Muchos países se encuentran aún en la etapa de dilución y/o tratamiento, entre los cuales podrían ubicarse buena parte de nuestros sectores industriales.

El enfoque de dilución considera la descarga de contaminantes directamente en el ambiente. Se soporta en la capacidad de asimilar del agua, el aire y el suelo para diluir o neutralizar los impactos. Este enfoque puede trabajar bien si la cantidad de residuos es pequeña comparada con el volumen del ambiente receptor.

La etapa de tratamiento, tradicionalmente conocida como tratamiento "al final del tubo", se ha utilizado ampliamente al final de los procesos de producción para recoger los contaminantes y luego separarlos o neutralizarlos de diferentes maneras, usualmente en instalaciones de tratamiento especialmente construidas. En cuanto a los residuos sólidos, es muy común el empleo de sistemas de disposición final, los rellenos sanitarios o la incineración. El tratamiento de residuales por lo general tan sólo separa los contaminantes de la corriente de residuos, pero de todas maneras éstos tienen que ser dispuestos de alguna forma.

La dilución y el tratamiento, e incluso el reciclaje, no son soluciones de largo plazo. Los sistemas naturales tienen una capacidad de asimilación limitada para diluir los desechos. En áreas en donde se presenta una alta concentración de la industria, esta capacidad se excede fácilmente. Los residuos pueden afectar la salud humana, reducir la productividad de la agricultura y de las zonas de pesca y dañar el ambiente físico construido por el hombre. Tanto el tratamiento como el reciclaje generan desechos adicionales por sí mismos, algunos de los cuales pueden ser peores que el residuo del producto original.

En 1989 la Oficina de Industria y Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente introdujo el concepto de Producción más Limpia. La PML es definida por el PNUMA como la "aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada aplicada a procesos, productos, y servicios para mejorar la eco-eficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el medio ambiente". Fresner (2002).

En los procesos se orienta a:
· La conservación y ahorro de materias primas, insumos, agua y energía.
· La eliminación de materias primas tóxicas.
· La reducción de la cantidad y toxicidad de las emisiones y los residuos.

Y en los productos se orienta a:
· La reducción de los impactos negativos que acompañan el ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final.

En Cuba, se estableció una Red de Producción Más Limpia en el año 2000, compuesta por diferentes puntos focales que corresponden a sectores productivos que son prioritarios en el país. Entre ellos se encuentra la industria azucarera, con el objetivo específico de alcanzar la sostenibilidad ambiental de los mismos.
En el presente trabajo se realiza una asesoría sobre Producción Más Limpia en la Destilería de la empresa mielera "Heriberto Duquesne" con vista a detectar deficiencias en la fábrica, sugerir medidas que den

soluciones a los problemas encontrados, en aras de que la empresa sea más eficiente, se reduzcan los costos y las emisiones al medio ambiente.

La destilería de la Empresa Azucarera Heriberto Duquesne fundada en 1946 tiene la misión fundamental de producir alcoholes, aguardiente y levadura en crema y seca de acuerdo a los planes de producción, con la calidad y eficiencia requerida que permita disminuir los costos de producción y ser compatible con el medio ambiente.

Dicha fábrica consta con un total de 41 trabajadores con la siguiente composición:
Dirigentes: 7
Técnicos: 6
Obreros: 38

Objetivos de trabajo de la fábrica relacionado con las producciones más limpias.

- Lograr el cumplimiento del plan de producción de alcoholes, aguardiente, levadura en crema y seca.
- Cumplir los niveles de calidad establecidos para cada una de las producciones.
- Cumplir con los índices de consumo para la producción de alcohol.
  -Insumo de miel: 0,405 ton/HL
  -Consumo de fuel oil 37,7 kg/HL
- Efectuar capacitación del personal en diferentes puestos de trabajo, así como elevar el nivel de profesionalidad de los técnicos.
- Disminuir los costos por peso de producción mercantil.
- Trabajar en la ampliación de las producciones de ron, así como de sus instalaciones.

Líneas fundamentales de producción.

-Alcohol fino A 95,5^{o}
-Alcohol Técnico A
-Alcohol Técnico B 93^{0}
-Alcohol F5 85 ^{0}
-Aguardiente
- Crema de levadura
- Levadura seca

Descripción de las etapas fundamentales del proceso de producción de alcohol.

La producción de etanol generalmente incluye cuatro etapas fundamentales: la preparación del sustrato, la propagación del microorganismo en condiciones anaerobias, la fermentación de los azúcares a etanol y finalmente la separación del etanol y otros productos por destilación.

La materia prima fundamental del proceso la constituye la miel final de caña. Parte de esta se produce en el propio complejo y el resto es transportada desde otros centrales azucareros mediante camiones cisternas. Para facilitar la descarga por gravedad, los tanques receptores son soterrados, desde los que se bombea miel hasta los tanques de almacenamiento principal. La miel para el consumo diario es tomada de los tanques principales y llevada a un tanque de medición con el objetivo de determinar posteriormente el consumo diario.

El primer paso de la producción de alcohol consiste en la preparación de la miel final, el que consiste en diluir la miel con agua al Brix deseado, lo que esta en función de la cantidad de azúcares reductores totales (ART) que demande la fermentación (80g/l). Esta operación se realiza en el disolutor de miel, donde se

añaden los nutrientes deficitarios en la miel que aportan el fósforo y el nitrógeno, y se adiciona ácido sulfúrico para ajustar el pH que favorece a la fermentación y evita que se contamine el vino.

Posteriormente se pasa a la etapa de la propagación de la levadura, la cual es la más importante del proceso, pues de la cantidad y calidad de la levadura y el grado de contaminación de la misma dependen los resultados finales de la fermentación. La miel diluida pasa a los pre-fermentadores donde se inocula con levadura y aire para garantizar la reproducción activa de la misma, donde se logra la cantidad necesaria de levaduras para ser inoculadas al fermentador. Cuando el pre-fermentador haya descendido al 60% de su Brix inicial y alcanzado una concentración de levadura aceptada, entonces se descargará en un fermentador.

Posteriormente en la etapa de fermentación anaerobia se convierten los azúcares en alcohol. Se inicia esta etapa cuando se deposita 4/5 del contenido de un pre-fermentador en un corbato, sobre un volumen igual de miel diluida a 120 –140 g/l.

La alimentación se debe hacer lo más lenta posible para evitar que el corbato se caliente a tal punto que pueda perjudicar la actividad de las levaduras, se continúan llenando los corbatos por partes, mediante el método de los "refrescos", hasta llegar al volumen de trabajo. Durante la fermentación la temperatura debe mantenerse lo más próxima posible a los 34^0C mediante un sistema de enfriamiento, que aún no se posee. Seguidamente comienza la etapa de destilación.

El proceso de destilación está formado por las torres de destilación, rectificación y purificación, condensadores y bombas. En esta etapa se obtienen los productos finales, aguardiente y alcoholes de diferentes calidades.

Columna destiladora.

Su función es agotar de alcohol el vino proveniente de los fermentadores. El vino con un grado alcohólico de 5 % (v/v) es bombeado hasta un tanque buffer y de éste hasta el tanque receptor de vino ubicado en la parte superior de la columna destiladora, garantizando la alimentación a la misma por gravedad y por su parte superior.

Por la parte inferior sale la vinaza agotada de alcohol, se utiliza vapor directo como agente calefactor con una presión de 0,4 kg/cm^2. La corriente en forma de vapor que sale por el tope de la columna es una mezcla etanol - H_2O que puede ser alimentada a la columna rectificadora o pasada por dos condensadores que son los encargados de garantizar el reflujo necesario y la obtención de aguardiente.

Columna rectificadora.

Esta columna es alimentada con la corriente proveniente de la columna destiladora y su función es rectificar el alcohol y alcanzar el grado alcohólico requerido en el producto.

La alimentación es en forma de vapor y se hace por el plato 20 a partir del fondo. La zona de agotamiento garantiza aguas agotadas de alcohol por el fondo de la columna y la no recirculación de las mismas al tope de la columna.

La columna posee dos condensadores que producen el reflujo externo necesario para el buen funcionamiento de la misma y un tercer condensador que extrae los componentes más ligeros llamados alcoholes de mal gusto o cabezas. Posee también extracciones laterales, por donde salen los alcoholes pesados o fusel oil.

El alcohol producido es extraído cerca del tope. Con este sistema puede obtenerse alcohol técnico B o continuar el proceso de purificación para obtener alcohol fino A

Columna purificadora.

Esta columna tiene como función, purificar el etanol proveniente de la columna rectificadora, la cual extrajo una parte de las impurezas presentes en el etanol, pero todavía la calidad del mismo no es suficiente para diferentes especificaciones.

El sistema de condensación está formado por tres condensadores, los dos primeros son los encargados de garantizar el reflujo y del tercero se extraen las impurezas remanentes en forma de alcohol de mal gusto o alcohol de cabezas. El alcohol producto se extrae por la parte superior de la columna, uno o dos platos por debajo de la entrada del reflujo.

La alimentación a la columna se efectúa con la corriente líquida que proviene de la rectificadora y aproximadamente por su centro. El agente calefactor es vapor a una presión de 0.4 kg/cm^2. En esta columna se obtiene alcohol fino A.

También existen otros beneficios de la producción de alcohol, los cuales pueden ser útiles desde el punto de vista económico, y necesario para el hombre y el ambiente. Entre estos procesos se encuentra la recuperación de levaduras *Saccharomyces* seca o en crema para la alimentación animal. Esta se obtiene recuperando el fondo del fermentador, al cual se le adiciona agua, se deja reposar y finalmente se decanta, o centrifugando la batición donde se obtiene una crema que se lava y posteriormente se seca.

Análisis de las entradas y salidas del proceso.

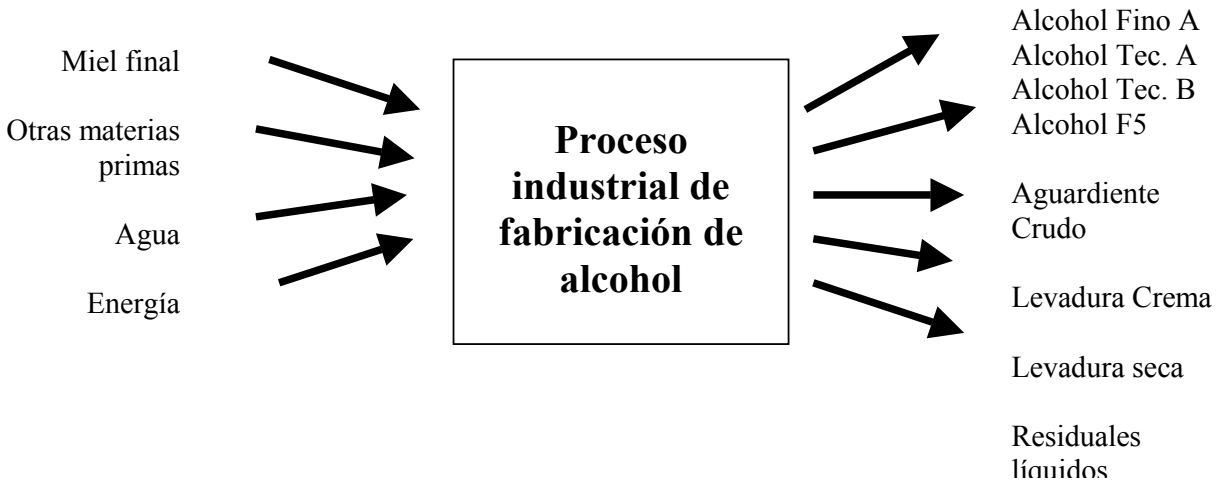


Fig.1. Esquema de entradas y salidas del proceso fabril del alcohol.

Entradas al proceso:

- **Materias Primas y materiales.**

La tabla 1 relaciona las materias primas y materiales utilizadas en el proceso de producción de alcohol.

Tabla 1. Indices de consumo de materias primas y materiales.

Materias primas y materiales	Año 1998 kg/hl	Año 1999 kg/hl	Año 2000 kg/hl	Año 2001 kg/hl	Año 2002 kg/hl	Año 2003 kg/hl
Miel física	406	391,48	410	405,92	407,9	419,23
Miel al 52 %	430,2	414,8	430,2	426,8	458,6	496,7
Urea	0,44	0,39	0,38	0,47	0,54	0,54

Fosfato de amonio	0,12	0,04	0,03	0,012	0,01	0
N_2 nutrientes	0,34	0,19	0,18	0,23	0,26	0,25
Sulfato de amonio	0,08	0,06	0,06	0,08	0,11	0,029
Acido sulfúrico	0,55	0,55	0,46	0,49	0,56	0,54
Antiespumante	0,007	0	0,002	0,002	0,003	0
Fuel oil	43,03	35,27	27,6	31,64	29,2	30,82
Levadura seca activa	120 kg/año	120 kg/año	120 kg/año	120 kg/año	120 kg/año	120 kg/año

Haciendo un análisis del consumo de la materia prima fundamental se observa que en general el consumo de miel es alto, especialmente en el año 2003 que alcanzó valores de 496,7 kg/HL (base 52% de ARF). Esto se debe a que no existe sistema de enfriamiento en la fermentación, no disponen de la cepa adecuada, todo lo cual conduce a una baja eficiencia de la fermentación.

En la tabla 2 se muestra las características de la miel utilizada en el proceso entre los años 1998 y 2002.

Tabla 2. Característica de la materia prima fundamental.

Características de la Miel Final			
Año	**Brix (%)**	**Az totales (%)**	**Az fermentables (%)**
1998	86,92	57,076	55,10
1999	86,44	56,996	55,146
2000	87,12	56,9	54,577
2001	88,05	56,52	54,683
2002	88,42	60,09	58,475
2003	87,06	59,03	56,98

- **Agua**

La fuente de abasto de agua es el agua de pozo. La destilería cuenta con una planta de tratamiento de agua para la caldera, para evitar las incrustaciones y garantizar el buen funcionamiento de la misma.

El consumo de agua de pozo actual asciende a 1981m^3/d. 360 m^3/d son destinados a la caldera, 475,44 m^3/d a otros usos tales como lavado de la crema, limpieza y reposición del agua de enfriamiento y 1148,9 m^3/d para dilución de mieles.

Los índices de consumo se relacionan a continuación:

Índice de consumo de agua / HL de alcohol (plan): 2,8 m^3/HL de alcohol.
Índice de consumo de agua / HL de alcohol (real): 5,19 m^3/HL de alcohol.
Indice de consumo de agua/ t miel final: 0,18 m^3/t miel final.

Este consumo podría ser menor si se le diera un uso eficiente al agua dentro de la fábrica. Durante la asesoría se evidenciaron salideros de agua por tuberías y una manguera conectada directamente a la zanja, lo que provoca un incremento considerable en el consumo de agua de la fábrica.

- **Vapor**

La destilería cuenta con una caldera que genera 15 t/h de vapor en tiempo de no zafra, y en tiempo de zafra se abastecen de 10 t/h de vapor de escape del central. Este vapor se utiliza fundamentalmente en la etapa de destilación de alcohol.

El índice de consumo de vapor en destilación asciende a 0,44 t/HL de alcohol, valor que resulta alto, lo cual es debido al bajo porciento alcohólico del vino (5,2%), el que debe encontrarse en valores entre 7 y 8 %. Por esta razón y debido a las pérdidas de vapor por trampas y tuberías el índice de consumo de vapor total de la destilería es alto (0,63 t/HL de alcohol).

Durante la visita a la destilería se detectaron pérdidas de vapor por tuberías y en el calentamiento de la sosa para la limpieza.

- **Electricidad**

La electricidad que se consume en la destilería es tomada la red nacional. Actualmente esta instalación no cuenta con un turbogenerador que genere la electricidad necesaria para disminuir el consumo de energía eléctrica de la red, la cual tiene un mayor precio.

Los consumos de electricidad son: 2933 kW-h
Índice de consumo actual: 10 kW-h/HL de alcohol

Balance de materiales:
La tabla 3 muestra los resultados del balance de materiales de la producción de alcohol.
Tabla 3. Balance de materiales de la destilería.

DATOS GENERALES	
Capacidad potencial a 100^0GL	500 HL/d
Producción real a 100^0 GL	381 HL /d
Miel física a fermentación	155 t/d
Consumo de miel a 52 %	172,8 t/d
Azúcares fermentables	90,52 t/d
Tiempo de operación	236,5 días
AREA DE FERMENTACION	
No prefermentadores	3
Volumen útil del pre-fermentador	16 m^3
Brix inicial del prefermento	12,5 %
No. de fermentadores	13
Volumen útil del fermentador	106 m^3
Tiempo de fermentación	22 horas
Brix del vino	17 %
Volumen de batición /día	775,8 m^3
Concentración de azúcar en batición	120 g/l
Grado alcohólico en batición	5,2 % v/v
Alcohol en batición	40,34 m^3/d
Eficiencia fermentación	65,35 %
Rendimiento alcohólico	420 L/kg
AREA DE DESTILACION	
Flujo de vino a destilar	35,26 m^3/h
Temp. del vino a la columna	60 ^{0}C

Flujo de vapor al fondo de la columna de destilación	168 t/d
Flujo vinaza	1022 m^3/d
Relación vinaza producto	2,68
Intercambiador del fondo de columna	52 m^2
Eficiencia de destilación	94,44 %

Producciones de alcohol y levadura por años.
La tabla 4 muestra las producciones de alcohol y levadura de los últimos 5 años.

Tabla 4. Producciones de alcohol y levadura de los últimos 5 años.

Años	Producción Alcohol 100		Tec. B Fisico HL	Fino A Fisico HL	Alcohol F-5 HL	Aguardiente Crudo HL
	PLAN	REAL				
1998	-	80120,53	73929,99	11729,69	74767,39	1357,62
1999	84773	76739,14	80270,58	1561,78	81967,21	1147,03
2000	79358	80379,82	77522,84	8059,48	78968,34	549,62
2001	114274	114412,53	110310,09	12029,96	78669,09	770,92
2002	113367	90210,8	88729,3	6677,35	60141,17	827,16
2003	-	63512,58	60797,02	2005,28	45675,08	51,71

Levadura Crema TM	Levadura Seca TM	Levadura Total TM
2781,8	0	2781,8
1715,666	8,884	1770,14
1822,364	59,028	2184,3
2590,454	8,264	2641,1
2224,222	0	2224,22
1036,99	3,4	1857,2

Para el cálculo de la levadura total se consideró un 15 % de materia seca para la levadura en crema y 92 % para la seca.

En la tabla 4 se observa que la mayor producción de alcohol a 100 ^{0} en los últimos 5 años se realizó en el año 2001, considerándose el año de mayor producción tanto de alcohol a 100 ^{0} como de alcohol técnico B. El resto de las producciones se mantuvieron en el mismo orden en los diferentes años analizados.

La tabla 5 muestra la eficiencia de fermentación y destilación del proceso de producción de alcohol.

Tabla 5. Eficiencias de fermentación y destilación en los últimos 5 años.

Años	Ef. Ferm %	Ef. Dest %	% alcoholico
1998	75,03	92,51	5,42
1999	75,83	94,86	5,56
2000	73,64	94,24	5,36
2001	73,87	95,41	5,32
2002	69,54	94,44	5,24
2003	70,83	91,29	5,26

En la misma se observa que tanto la eficiencia del proceso de producción de alcohol como el % alcohólico de la batición son bajas. La eficiencia de la fermentación debe ser como mínimo de 80% y en los últimos 5 años la misma se ha comportado en valores entre el (69 y 75) % lo que está relacionado fundamentalmente con las altas temperaturas en la fermentación por no disponer de sistemas de enfriamiento para la batición, no realizar la propagación de la levadura con la cepa adecuada y en forma aséptica, y por pérdidas de batición en el proceso por mal estado de los fermentadores, entre otras. Por consiguiente se obtiene un bajo % alcohólico de la batición el cual debe encontrarse entre (7-8) %.

La eficiencia de destilación debe ser como mínimo 97 % y en la tabla 5 se aprecia que la misma se ha comportado entre 92 y 95 %, lo que se debe al mal estado de las columnas que ocasionan pérdidas de vapores alcohólicos y por ende pérdidas de alcohol. Otra causa fundamental son las paradas del proceso por falta de fluido eléctrico o vapor, lo que representa el 11% del tiempo total perdido en el período analizado, el cual repercute negativamente ya que al disminuir la temperatura se pierde el equilibrio líquido-vapor que se establece dentro de la columna y el líquido del interior de la misma va al fondo perdiéndose grandes cantidades de alcohol.

Proceso de recuperación de levadura.

Como parte del proceso de aprovechamiento de los subproductos de la producción de alcohol, se cuenta con un sistema de recuperación de levadura en forma seca y en crema. En la etapa de centrifugación y lavado de la crema se obtienen dos productos que se disponen actualmente para el alimento animal, además se genera una corriente residual de alto poder contaminante la cual deberá ser dispuesta convenientemente.

La figura 3 muestra el comportamiento de la producción de levadura en los últimos 6 años con relación a la producción potencial.

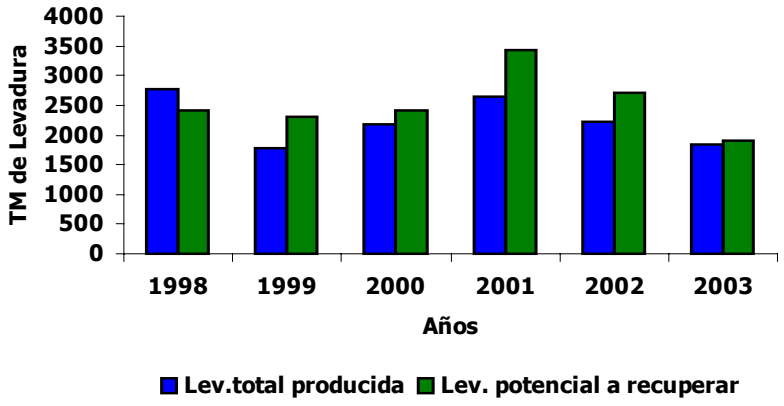


Fig. 3. Comportamiento de la producción de levadura con relación a la recuperación potencial.

En la figura 3 se observa el comportamiento de la producción de levadura total recuperada, la cual fue mejor en el año 1998, disminuyendo en los años 1999 y 2000 y posteriormente tuvo un incremento en el año 2001 volviendo a tener una leve disminución en el año 2002 y 2003.

Del gráfico se observa además que no se recuperó toda la levadura que potencialmente se debía recuperar debido a malas operaciones en el proceso de recuperación perdiéndose a la zanja gran parte de ésta,

dejándose de producir desde el 1999 hasta el 2002, 2100,8 toneladas de levadura crema lo que implicó dejar de ingresar a la empresa $ 89 788.

Considerando que el índice de recuperación de levadura promedio es de 30 kg de crema a 15% de mat. seca /HL de alcohol, la recuperación de levadura en esta empresa se comportó un 7 % por debajo del valor promedio, según se muestra en la siguiente figura.

La figura 4 muestra el comportamiento en cuanto a los índices de recuperación de levadura en crema.

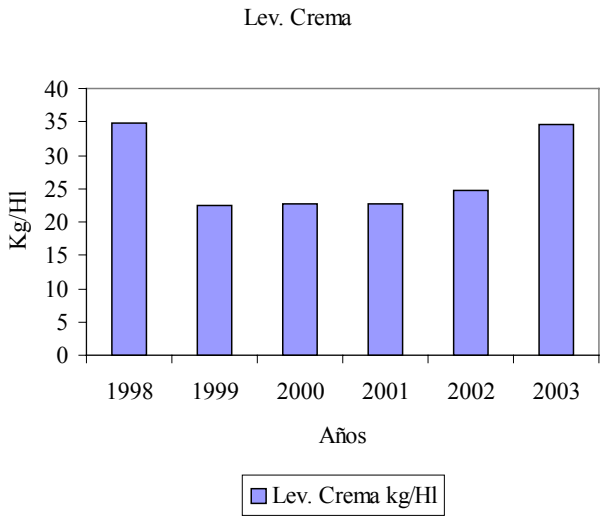


Fig.4. Indice de recuperación de levadura en crema.

Con relación a la producción de levadura en crema se observa en la figura 11 que la mayor producción se obtuvo en los años 1998 y 2003. En los restantes años hubo un decremento entre un (10 –12) %.

Desde el punto de vista de contaminación los residuales de la recuperación de levadura tiene un efecto negativo sobre el medio ambiente marcándose un alto valor de DQO de 68, 97 g/L, 31,05 g/L de sólidos totales (ST), siendo 23,49 g/L sólidos volátiles, lo que indica una deficiente operación en el área de recuperación de levadura, reflejada por los elevados valores de la DQO y los ST en esta corriente, además en el color amarillo del agua residual que se vierte a la zanja, después de esta operación de recuperación de la levadura se muestra en la siguiente figura.

En el área de secado de la levadura existen malas condiciones de trabajo, y se aprecian pérdidas de producto al ambiente que influye negativamente en la eficiencia de recuperación de levadura.

- **Residuales**

La destilería genera según el balance de materiales, 1022 m^3/d de vinaza procedente de la producción de alcohol y una cantidad estimada de 100 m^3/d que provienen de la limpieza de equipos y otros usos (dato de fábrica). Estas aguas se vierten a una zanja que desemboca en el río Guaní sin tratamiento alguno por el momento, hasta la puesta a punto de la planta de biogás construida para el tratamiento de las vinazas en la propia empresa.

La tabla 6 muestra el análisis de las características de las vinazas de la zanja principal de la destilería.

Tabla 6. Análisis de las características de las vinazas.

		Promedio	Desv. Estan	Xmáx	Xmín	n
DQOt	**g/L**	71,20	29,27	168,4	26,4	49
DQOc	**g/L**	49,94	7,68	63,3	38,4	14
PH		4,47	0,43	6,4	4	46
ST	**g/L**	52,67	4,15	60,46	45,47	14
STF	**g/L**	12,61	0,90	13,7	11,12	6
STV	**g/L**	38,67	4,29	44,25	33,05	6
SST	**g/L**	5,14	5,12	18,03	1,42	14
SSF	**g/L**	3,39	2,91	8,89	0,91	6
SSV	**g/L**	7,59	6,14	17,26	1,47	6
SDT	**g/L**	41,97	8,11	52,54	30,7	6
SDF	**g/L**	9,23	2,67	12,19	4,18	6
SDV	**g/L**	31,08	8,24	40,38	19,1	6
CE	**mS/cm**	8,36	2,86	13,41	6,6	5
Sulfatos	**g/L**	15,81	29,53	76	2,893	6
Nitrógeno	**g/L**	0,21	0,10	0,322	0,02	6
Fósforo	**g/L**	0.21	0.10	0.41	0.15	6
Calcio	**g/L**	0,55	0,34	1,2	0,26	6
STV/ST		0,75	0,02	0,77	0,73	6
SSV/SST		0,82	0,64	2,07	0,28	6

De la caracterización de los residuales se puede observar que estos poseen un alto valor de demanda química de oxígeno y un bajo pH, típico de los residuales de destilerías, (Obaya,1988).

Las cantidades de nitrógeno y fósforo deben ser tenidas en cuenta para el tratamiento anaerobio ya que, considerando una relación DQO:N:P de 100:0.75:0.25 para procesos anaerobios (McCarty, 1964a), se observa que el fósforo contenido en el residual es suficiente, no así el nitrógeno que debe ser suplementado con una fuente adicional.

Las concentraciones de calcio son suficientes e incluso ligeramente superiores para iniciar un buen proceso de granulación del lodo en reactores UASB. Alphenaar (1994) recomienda para el buen desarrollo del proceso de granulación, concentraciones de calcio 0.120 g/L, planteando que concentraciones superiores, pueden causar el efecto inverso de desfloculación del lodo, por la adhesión del mismo a las pequeñas partículas de las sales de calcio formadas. Por esta razón es necesario evitar la utilización de la lechada de cal como agente neutralizante y, en su lugar, emplear cualquier otro agente que no tenga iones calcio. Adicionalmente, Mc Carty (1964b) reporta que concentraciones de calcio por encima de 2.5 g/L pueden resultar tóxicas para el proceso de digestión anaerobia.

La concentración de sulfatos en el residual predice que durante este tratamiento se producirá un gas combustible con altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno debido a la presencia de bacterias sulfato reductora en el lodo y el bajo potencial de oxidación reducción presente en el reactor, característico de los procesos de digestión anaerobia. Valencia (2002)

Con relación a los sólidos, se observa que estos residuales contienen una concentración de 5.14 g/L de sólidos suspendidos totales, por lo que pueden ser tratados en reactores UASB con previa separación de los mismos. Los sólidos suspendidos por encima de 0.5 g/L en la alimentación de los reactores causan el mismo efecto de las sales de calcio reportado por Alphenaar (1994). Las relaciones STV/ST y SSV/SST, de 0.75 y 0.82 respectivamente, indican un alto contenido de materia orgánica. A la vez, la alta conductividad eléctrica de este residual (8.36 mS/cm), hace que el mismo no posea buena calidad para el fertirriego por peligros de salinización del suelo. En su lugar debe ser utilizado como abono orgánico en muy bajas dosis o sufrir algún otro tratamiento convencional.

La variabilidad de los parámetros expuestos, indicada por los altos valores de la desviación estandar, hace evidente la poca homogeneidad de estos residuales, lo cual no es característico en otras instalaciones similares (Obaya, 1988). Esta variabilidad puede ser debida a la mala calidad de las mieles o a problemas de operación en esta instalación.

Resumen de las deficiencias encontradas durante la visita.

1. La propagación no se realiza de forma aséptica. Existen contaminantes que son desarrollados junto con la levadura y que afectan los rendimientos del proceso.
2. No se emplea una cepa de levadura adecuada. Se utiliza levadura seca activa panadera de diferentes procedencias, lo que afecta los rendimientos del proceso.
3. No está montada la técnica para determinar nitrógeno y proteínas, por lo que no se puede certificar la crema que se vende, ni se puede cuantificar el contenido de nitrógeno, ni de fósforo de las mieles. Por tanto no se realizan balances de nutrientes y siempre se emplea la misma proporción de sales.
4. El control del proceso es insuficiente, no se realizan determinaciones de contaminantes para saber el estado del cultivo.
5. Los fermentadores son de acero al carbono y tienen salideros por las soldaduras. El líquido derramado provoca pérdidas e infecciones si no es limpiado a tiempo.
6. En los fermentadores se alcanzan temperaturas superiores a 40^0 C, lo que afecta el rendimiento alcohólico y los índices de consumo de miel, también se incrementan las pérdidas por evaporación que pueden llegar a ser del 2 % del alcohol producido.
7. No se recupera la totalidad de la levadura.
8. No existen muros de contención en los tanques de almacenamiento de alcohol.
9. El despacho del alcohol Técnico B se realiza por el nivel de los tanques y pailas que vienen a cargar.
10. Los pisos de la fábrica se encuentran en mal estado.
11. Los medios contra incendios son deficientes.
12. Solo existe un sistema de pre-tratamiento de las aguas residuales. La planta para este propósito está en la etapa de arrancada.
13. No poseen turbogenerador para disminuir el consumo de energía eléctrica.

Debido a deficiencias y dificultades que existen en el proceso de producción, ya sean relacionadas con inversiones a acometer o de producciones más limpias, gran parte del tiempo de trabajo se pierde en horas de inactividad. La tabla 7 relaciona el tiempo de trabajo que se ha perdido en los últimos 5 años y el porciento que éste representa en el tiempo de trabajo total.

Tabla 7. Tiempo trabajo perdido y porciento de pérdida.

Años	Días. Producción.	Días Efectivos.	Días Inactivo.	% de tiempo perdido.
1998	262,77	174,69	88,08	33,5
1999	204,64	155,29	49,35	24,1
2000	257,87	167,65	90,22	34,9
2001	333,67	229,31	104,36	31,2
2002	236,57	184,59	51,98	21,9
2003	197,29	131,27	66,02	33,4

En la tabla anterior se observa que aproximadamente el 30 % del tiempo de trabajo total se pierde por dificultades en el proceso de producción que atentan contra el buen funcionamiento de la fábrica, la eficiencia, los costos y la productividad.

En la tabla 8 se relaciona la distribución del tiempo perdido según sus causas.

Tabla 8. Distribución de horas de trabajo perdido según sus causas.

Causas	1998 Horas	1999 Horas	2000 Horas	2001 Horas	2002 Horas	2003 Horas
Falta de vapor	161,45	114,45	249,24	189,30	220,45	20,3
Falta de Elect.	272,50	138,10	80,10	234,50	216,10	136,2
Falta de batición.	127,10	43,30	25,35	191,10	89,10	92,3
Limp. Columnas	13,00	0,00	0,00	96,25	0,00	0
Rotura Equipo dest.	362,00	71,00	1,00	2,50	8,15	13,1
Falta de miel	0,00	320,20	336,00	1411,05	453,25	977,25
Falta de fuel oil	108,25	191,50	37,25	0,00	14,40	0
Falta de gas oil	44,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Otras roturas	36,50	209,25	39,15	25,30	56,00	33,15
Insuficiente capacidad de almacenaje	451,50	85,15	812,30	0,00	0,00	0
Falta de agua	3,45	0,00	49,50	17,00	161,05	269,25
Otras	532,15	10,25	534,30	336,35	28,25	42,25
Total	2113,50	1184,40	2165,39	2504,55	1247,55	1584,5

En la tabla anterior se observa que una de las causas principales de la parada del proceso de producción es la falta de miel que fue crítica en el año 2001. Otra de las causas es la capacidad de almacenamiento de alcohol que predominó en el año 2000 y se le dio solución a ese problema en ese año. En el 2002 se aprecia una disminución del tiempo perdido.

La tabla 9 muestra las toneladas de producto dejadas de producir por tiempo perdido y su importe económico.

Tabla 9. Toneladas de producto dejadas de producir en los últimos 5 años.

Año	Tiempo perdido. (días)	Alcohol dejado de producir. (HL)	Levadura dejada de producir. (TM)	Importe Alcohol. ($)	Importe levadura. ($)
1998	88,08	40 397	1402	**1240187**	**60234**
1999	49,35	24 387	545	**748680**	**23213**
2000	90,22	43 259	984	**1328051**	**42408**
2001	104,36	52 070	808	**1598549**	**50402**
2002	51,98	25 403	489	**779872**	**26676**
2003	66,00	21 246,8	346	**652276**	**14791**
Total	**449,99**	**184 762**	**4574**	**6347615**	**217724**

En la tabla anterior se observa que se ha dejado de producir 184 762 HL de alcohol y 4 574 toneladas de levadura en crema en los últimos 6 años, teniendo en cuenta que el HL de alcohol se vende a $ 30.70 y la tonelada de crema de levadura a $ 42.75 se dejó de ingresar a la fábrica un total de $6 565 339 por concepto de tiempo perdido en los últimos 6 años.

Con vista a eliminar las deficiencias encontradas durante la asesoría se proponen las siguientes medidas de producciones más limpia.

Medidas de producciones más limpias.

1. Emplear cultivos puros para producir alcohol. Para ello es necesario:
   - Adquirir cepas de levadura alcoholera, con alta eficiencia de conversión de etanol.
   - Crear condiciones en el laboratorio para mantener y propagar las cepas seleccionadas a partir de cultivos puros.
   - Instalar 3 cultivadores de $1m^3$ con instalaciones adecuadas para su esterilización y limpieza.
2. Realizar balances de nutrientes teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales de la levadura y el aporte de los mismos por las mieles, principalmente en nitrógeno y fósforo, compuestos deficitarios en la miel.
3. Mantener el control estricto del estado fisiológico de la levadura y los contaminantes en los cultivadores y prefermentadores.
4. Realizar mantenimiento a los fermentadores y sustituirlos paulatinamente por otros de acero inoxidable.
5. Instalar un sistema de enfriamiento en los fermentadores que permita mantener la temperatura adecuada y adquirir cepas termotolerante.
6. Construir muros de contención en los tanques de almacenamiento de alcohol.
7. Reparar los pisos que se encuentran en mal estado dentro de la fábrica.
8. Adquirir medios contra incendios suficientes y adecuados en correspondencia con la peligrosidad del área.
9. Adquirir los reactivos y equipamiento necesario para montar las técnicas que posibilitan determinar nitrógeno, proteínas, fósforo y contaminantes.
10. Terminar la instalación del turbogenerador para disminuir el consumo de electricidad de la red.
11. Tratar los residuales en la planta de biogás.

Propuesta de equipo de trabajo para una producción mas limpia.

- ✓ Director de la empresa
- ✓ Técnico de gestión de la Calidad
- ✓ Técnico de medio ambiente
- ✓ Jefe de Producción
- ✓ Jefes de Turno
- ✓ Jefe de Control Económico
- ✓ Jefe de Brigada de Mantenimiento
- ✓ Técnico de protección e higiene del trabajo
- ✓ Técnico de tratamiento de aguas residuales
- ✓ Técnico energético

El equipo anteriormente propuesto debe establecer una metodología de trabajo y control de las medidas de Producción Más Limpia antes mencionadas.

Conclusiones.

- En la asesoría realizada se evaluó la fábrica desde el punto de vista tecnológico y las entradas y salidas del proceso, detectándose dificultades que influyen negativamente en la eficiencia y productividad del proceso, y elevan los costos de producción.

- Como resultado de la asesoría se sugirieron medidas de Producción Más Limpia con vista a lograr la optimización del uso de los recursos naturales, tecnológicos, financieros, humanos, y la disminución de los costos de producción.

Bibliografía.

- Alphenaar, A. (1994).*PhD thesis Landbouwuniversiteit* . Wageningen, The Netherlands
- McCarty P. (1664a) Public Works for September (Part one)
- McCarty P. (1664b) Public Works for November (Part three)
- Obaya M. C. y col. (1988) Revista. ICIDCA. vol. XXII No. 2. p. 18.
- Valencia R. (2002) Trabajo de Diploma ISPJAE
- Fresner, J., Engelhardt, G. (2002) STENUM GmbH, Geidorfgurtel 21. 8010 Graz.

PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN LA EMPRESA MIELERA "HERIBERTO DUQUESNE"

CLEANER PRODUCTION IN THE MOLASSES-MAKING ENTERPRISE "HERIBERTO DUQUESNE"

Autores: Roxana Valencia Rodríguez (Aspirante a investigador), Ma. Cristina Obaya Abreu (Investigador titular), Esperanza Valdés Jiménez (Investigador titular), Felipe Eng (Investigador Auxiliar), Misley Morales (Técnico en síntesis y análisis químico).

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
P. O. Box. 4026, Ciudad de La Habana, Cuba. E. Mail rvalencia@icidca.edu.cu
Fax (537)33 8236 Teléfono (537) 55 7015

Resumen

En el presente trabajo se desarrolla una asesoría sobre Producción Más Limpia en la empresa mielera "Heriberto Duquesne". La misma consta de una fábrica de azúcar, una destilería, una ronera y una planta de biogás.

En la asesoría se evalúa la fábrica desde el punto de vista tecnológico, las entradas salidas del proceso y las emisiones al ambiente. Se detectan dificultades sustanciales que influyen negativamente en la eficiencia y productividad del proceso, y elevan los costos de producción.

Como resultado significativo se sugieren medidas de Producción Más Limpia en la fábrica con vista a lograr, a partir de un incremento de la eficiencia y competitividad, la optimización del uso de los recursos (naturales, tecnológicos, financieros y humanos) y la disminución de los costos de producción.

Palabras claves: Producción Más Limpia, caña, azúcar, energía.

Summary

In the present paper the results of a technical advisory on Cleaner Productions in molasses-making enterprise "Heriberto Duquesne" are developed. This industrial complex includes a sugar factory, a distillery, a rum plant and a biogas generating facility.

The factory was evaluated from the technological point of view, process inlets and oulets and the emissions to the environment. Essential difficulties were detected which negatively affects process efficiency and productivity with the concomitant increase of production costs.

As the most significant result Cleaner Production measures were suggested to achieve the optimization of resources utilization (natural, technical, financial and human) and cost reduction, provided that an increase in efficiency and competitiveness were attained.

Key words: Cleaner Production, cane, sugar, energy.

Introducción.

Los recursos naturales han sido utilizados por el hombre para sus actividades sirviendo como fuente de materias primas, agua y energía. En un principio la población mundial existente podía hacer uso de estos recursos sin temor a que estos escasearan y al mismo tiempo podía disponerlos en el ambiente una vez que había hecho uso de ellos. El ambiente tenía entonces la capacidad de asimilar los desechos producidos por el hombre sin provocarse deterioro en este.

Pero con el crecimiento de la población y el aumento de las actividades productivas, los recursos naturales han comenzado a ser explotados cada vez en mayor cantidad. Al mismo tiempo la cantidad de residuos descargados al ambiente es tan alta, que se sobrepasó su capacidad de asimilación haciéndose necesario tomar medidas para la protección ambiental.

La industria para minimizar su impacto al ambiente ha comenzado a utilizar tecnologías de "final del tubo"; es decir, una vez finalizado el proceso productivo se realiza el tratamiento de las aguas residuales antes de que estas sean descargadas a los cursos receptores. Este proceso de control de la contaminación una vez generada, ha sido una solución parcial para la problemática ambiental, pues una vez que se han generado los contaminantes se hace muy difícil deshacerse de ello. Lo que se hace es cambiar el problema de un medio a otro, se descontaminan las aguas residuales, pero se generan productos a los que posteriormente se le deberá buscar una disposición final. Además, la industria debe incurrir en altos costos para construir y mantener en funcionamiento las plantas de tratamiento de residuos.

Se debe entonces explorar otra alternativa para proteger el medio ambiente y para mitigar el impacto de las actividades productivas del hombre. Es aquí cuando el concepto de Producción Más Limpia y su aplicación en las industrias se presenta como una opción que no sólo ayuda a prevenir la contaminación sino que al mismo tiempo mejora la eficiencia productiva de quien la pone en práctica.

La finalidad de la Producción Más Limpia, es prevenir la contaminación, evitando la generación de residuos durante el proceso productivo. Estrategia que conlleva a la reducción de costos, reducción de riesgos y la identificación de nuevas oportunidades de mercado para la industria.

La UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) define la Producción Más Limpia como una aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integrada a los procesos productivos, los productos y los servicios, para reducir los riesgos relevantes a los seres humanos y al medio ambiente. Fresner (2002).

En los procesos se orienta a:
· La conservación y ahorro de materias primas, insumos, agua y energía.
· La eliminación de materias primas tóxicas.
· La reducción de la cantidad y toxicidad de las emisiones y los residuos.

Y en los productos se orienta a:
· La reducción de los impactos negativos que acompañan el ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final.

La Producción Más Limpia puede ser alcanzada de muchas maneras, tales como buenas prácticas de operación, sustitución de materiales, cambios tecnológicos, reciclaje y rediseño del producto o cualquier combinación de estas acciones. Esta es más costo-efectiva que el control de la contaminación. Al minimizar o prevenir la generación de residuos, los costos del tratamiento y disposición de estos son menores. La prevención sistemática de los residuos y los contaminantes reducen las pérdidas en los procesos e incrementa tanto la eficiencia como la calidad del producto.

La ventaja ambiental de la Producción Más Limpia es que resuelve los problemas de residuos en su fuente. El tratamiento convencional de final de tubo usualmente traslada los contaminantes de un ambiente a otro.

En Cuba, se estableció una Red de Producción Más Limpia en el año 2000, compuesta por diferentes puntos focales que corresponden a sectores productivos que son prioritarios en el país. Entre ellos se encuentra la industria azucarera, con el objetivo específico de alcanzar la sostenibilidad ambiental de los mismos.

En el presente trabajo se realiza una asesoría sobre Producción Más Limpia en la empresa mielera "Heriberto Duquesne" con vista a detectar deficiencias en la fábrica, sugerir medidas que den soluciones a los problemas encontrados, en aras de que la empresa sea más eficiente, se reduzcan los costos y las emisiones al medio ambiente.

Visión general de la fábrica:

La empresa mielera "Heriberto Duquesne" se encuentra ubicada en el municipio Remedios al norte de la provincia de Villa Clara. La misma consta de una fábrica de azúcar, una destilería, una ronera y una planta de biogás.

La fábrica de azúcar tiene la misión fundamental de producir azúcar para consumo nacional y de exportación y mieles para la producción de alcohol y ron de la destilería.

Datos generales:
Molienda potencial: 2530 t/d
Molienda real: 1504 t/d
Días de zafra: 90-100 días
Período de análisis: año 2002

Dicha fábrica consta con un total de 406 trabajadores con la siguiente composición:

Area de producción:	252	Area de mantenimiento:	154
Directores:	11	Directores:	4
Técnicos:	19	Técnicos:	17
Obreros:	209	Obreros:	124
Servicio:	11	Servicio:	7
Administrativos:	2	Administrativos:	2

La fábrica no se encuentra aún en perfeccionamiento empresarial. El sistema de pago establecido es por resultado del trabajo planificado y por la disminución del costo de la tonelada de azúcar, efectuándose sólo en moneda nacional. También se otorgan jabas de aseo a los trabajadores destacados.

La capacitación del personal se realiza de acuerdo a un plan de capacitación que existe a nivel de empresa. Se imparten cursos de protección e higiene del trabajo, adiestramientos, seminarios y talleres para todo el personal de la empresa teniendo en cuenta su categoría y labor que realiza dentro de la misma.

Objetivos de trabajo de la fábrica relacionado con las Producciones Más Limpias.

- ✓ Lograr que los costos de la tonelada de azúcar sean inferiores a 260 MN y 60 USD.

- ✓ Cumplir el plan de producción de azúcar al 100% con la calidad que exige el mercado.
- ✓ Reducir el índice de consumo de electricidad a 21, 4 kw-h/ t de caña.
- ✓ Lograr el autoabastecimiento de energía en el período de zafra.
- ✓ Reducir el índice de consumo de vapor a 0,47 t /t de caña.
- ✓ Reducir el índice de consumo de agua a valores inferiores a 0,5 m^3/ t de caña.
- ✓ Disminuir la emisión de residuales al medio ambiente.
- ✓ Mejorar la educación medioambiental de los trabajadores.

Líneas fundamentales de producción.

- Producción de miel
- Producción de azúcar

Descripción de las etapas fundamentales del proceso de producción.

La caña llega a la fábrica por ferrocarril, posteriormente se hace pasar por cuchillas giratorias que cortan los tallos y los convierten en astillas. El primer paso en el proceso fabril del azúcar de caña es la extracción del jugo mediante la compresión de la caña entre cilindros de gran tamaño llamados masas.

Para ayudar a la extracción, se rocía el colchón de bagazo, al salir de cada unidad moledora siguiendo el esquema de imbibición compuesta. El bagazo final que sale del último molino contiene el azúcar no extraída, la fibra y entre un (49 y 51) % de agua. Este producto va a las calderas para servir de combustible.

El jugo que exprimen los molinos es turbio, ácido y de color verduzco por lo que se pasa a la etapa de clarificación concebida para eliminar tanto las impurezas solubles como las insolubles donde se emplea como agentes clarificadores cal y calor hasta la temperatura de ebullición. El precipitado que se forma engloba tanto los sólidos en suspensión como las partículas más finas. Mediante la sedimentación se logra la separación de los lodos del jugo claro en clarificadores cerrados continuos. Luego, los lodos se filtran en filtros rotatorios al vacío. El jugo de los filtros retorna al proceso, y la torta de la prensa llamada cachaza se lleva a los campos como fertilizantes.

El jugo clarificado de color verduzco pasa a los evaporadores de múltiples efectos al vacío donde se evapora aproximadamente las tres cuartas partes del agua que posee, obteniéndose así la meladura. Posteriormente se pasa a la etapa de cristalización, llevándose a cabo en recipientes al vacío, de simple efecto, en los cuales se concentra la meladura hasta quedar saturada de azúcar. Una vez alcanzada la concentración adecuada se introduce cristales de siembra para que sirvan de núcleos a los cristales de azúcar. La mezcla de cristales y miel queda concentrada hasta formar una masa densa. La templa o contenido del tanque se descarga a través de una válvula inferior hacia un mezclador o cristalizador.

La masa cocida que se lleva al cristalizador se hace pasar por centrífugas. De aquí se pueden obtener dos tipos de masas cocidas (A y B). La primera cocción rinde azúcar crudo y miel A. El azúcar procedente de las templas B se une con el azúcar A para constituir la producción comercial de la fábrica. La miel B sirve como base para piensos de ganado, la fabricación de azúcar industrial, producción de alcohol, la producción de levadura u otros fines. Hugott (1964).

Análisis de las entradas y salidas del proceso.

La fig. 1 muestra las entradas y salidas del proceso fabril del azúcar.

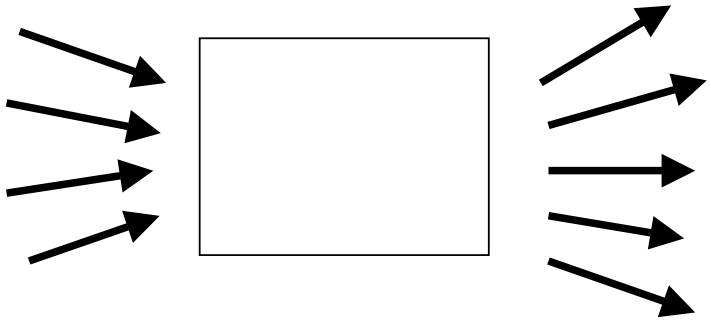


Fig.1. Esquema de entradas y salidas del proceso fabril del azúcar de caña.

Entradas al proceso:

- **Materias primas y materiales.**

La tabla 1 relaciona las materias primas y materiales utilizadas en el proceso de fabricación del azúcar.

Tabla 1. Materias primas y materiales del proceso de producción de azúcar.

Materias Primas y materiales	Cantidades	Indices
Caña	1504 t/d	-
Cal	52,64 t/d	0,03 t/tcm
Carbonato de sodio	25 kg/d	0,017 t/tcm
Sosa	7,1 kg/d	0,004 kg/tcm
Acido clorhídrico	52,03 kg/d	0,03 kg/tcm
Fosfato trisódico	13,2 kg/d	0,0087 kg/tcm

Características fundamentales de la materia prima fundamental:

Caña:
Brix: 19 %
Fibra: 15,54 %
Pol: 11,39 %

Bagazo:
Fibra: 46,30 %
Humedad: 48,60 %
Pol: 2 %

De la tabla anterior haciendo un análisis de los índices de consumo de materia prima se puede observar que en todos los casos son adecuados.

- **Agua:**

La fuente de abasto del agua que se utiliza tanto para el proceso como para el consumo social de los trabajadores de la fábrica es el agua de pozo.

La tabla 2 muestra las características fundamentales del agua de pozo y de la caldera.

Tabla2. Caracterización del agua de pozo y de la caldera.

Parámetro	Agua de pozo	Requisitos del agua para caldera
DQO	26,56 mg/l	0
Sólidos Totales	0,4 g/l	3,3-5,5 g/l
Sólidos disueltos	0,4 g/l	3-5 g/l
Sólidos suspendidos	0	0,3-0,5 g/l
Oxígeno disuelto	6,68 mg/l	0,015 mg/l
Dureza permanente	185 mg/l	0
Dureza temporal	414 mg/l	0
SO_4	89 mg/l	0
Ca	134 mg/l	0
Mg	64 mg/l	0
Cl	344 mg/l	0
Na	190 mg/l	0

DQO: Demanda química de oxígeno

En la tabla 2 se observa que el agua de pozo presenta una concentración de iones y cationes que la hacen no apropiada para su utilización en la caldera, por lo que es necesario tratar esta agua antes de ser alimentada a la misma.

Actualmente en Heriberto Duquesne no existe planta de tratamiento de agua para caldera, realizan un tratamiento interno que no es eficiente lo que provoca incrustaciones en la misma que entorpecen su buen funcionamiento.
En la tabla 3 se muestra el resumen del balance de agua.

Tabla 3. Balance de agua.

Indice de consumo de agua de pozo (plan): 0,5 m^3/t					
PROCESO	AGUA DE POZO			AGUA CONDENSADA	
		m^3/d	m^3/t caña	m^3/d	m^3/t caña
	Agua para caldera	370	0,25	864	0,57
	Agua de dilución de mieles	7	0,004	---	---
	Agua para limp. y uso social	711	**0,47**	---	---
	Agua al enfriadero por pérdidas	35	0,02	360	0,24
	Imbibición	---	---	197	0,13
	agua condensada al enfriadero	---	---		
	Total (real):	1123	0,75	1421	0,94
	Total (real) agua de pozo + condensados: **2544 m^3/d 1,69 m^3/t caña**				
		m^3/d	m^3/t caña		
	Condensados vegetales	1160	0,77		
	Vapor de proceso condensado	671	0,44		
	Condensados totales	1831	**1,22**		
Condensados a la zanja		410	0,27		
Consumo total de agua real (pozo + condensados): **2954 m^3/d 1,96 m^3/t caña**					

La fábrica utiliza un total de 2954 m^3/d de agua, de ella 1123 m^3/d es agua de pozo, de la cual se utiliza 370 m^3/d en las calderas, 7 m^3/d en la dilución de mieles, 711m^3/d en la limpieza de pisos, equipos y como agua de uso social para baños, merendero y laboratorio y 35 m^3/d en pérdidas de agua en el enfriadero, (asumiendo un valor de 2 parte en 1000 del agua que sale del condensador). El agua vegetal extraída de la caña y los condensados del vapor generado ascienden a 1831 m^3/d, 360 m^3/d son utilizados en el proceso de imbibición y 864 m^3/d en las calderas, 197 m^3/d en el enfriadero y el resto (410 m^3/d) no se aprovecha por no tener capacidad suficiente para almacenarlos, por lo que son vertidos a la zanja perdiendo gran cantidad de agua tratada que puede ser reciclada a la caldera y energía producto de que estos condensados salen con altas temperatura y este calor pudiera ser aprovechado.

Del balance de agua ilustrado en la tabla 3, se observa que de solo reducir el consumo de las aguas utilizadas en la limpieza y para esta operación emplear los condensados que actualmente van a la zanja (0,27 m^3 / t caña), se reduciría el consumo de agua de pozo a 0,28 m^3 / t caña sobrecumpliendo el plan. Si se tiene en cuenta que el precio del agua es \$ 0,10/m^3, se tendría un ahorro de \$ 40,1 en un día, equivalente a \$ 4010 en la zafra.

- **Vapor.**

La fábrica dispone de 2 calderas con capacidad de generación de 50 t/h de vapor distribuido en 3 líneas fundamentales.
Vapor sobrecalentado de 250 lb/plg^2 (350°C)
Vapor saturado de 15 lb/plg^2 (121°C +- 15^0 C)
Vapor saturado de 10 lb/plg^2 (115+- 5^{0}C).

Balance de masa y energía en el sistema de generación de vapor.

La tabla 4 muestra los resultados del balance de vapor generado en la caldera.

Tabla 4. Resultados del balance de la generación de vapor. De Armas (2002)

No de Var.	Identificación de la corriente	Entalpía. Btu/lb	t/h
1	Extracción de calderas		6,064
2	**Generación de vapor**		60,637
3	**Agua de alimentación de caldera.**	218,5	66,700
4	**Vapor a reductora**	1249,9	25,796
5	**Vapor a turbina desfibradora**	1249,9	4,931
6	**Vapor a turbos**	1249,9	29,303
7	**Perdidas de vapor**		0,606
8	**Vapor de turbo**	1164,1	29,303
9	**Vapor de turbina**	1164,1	4,931
10	**Vapor de reductora**	1249,9	25,796
11	**Vapor al atemperador**	1197,8	56,453
12	**Vapor al desareador**	1197,8	3,577
13	**Agua al atemperador**	58	3,547
14	**Vapor a proceso**	1164,1	50,000
15	**Retorno de Condensados**	218,5	40,000
16	**Agua al desareador**	152,7	63,123
17	**Agua tratada al tanque de alimentación**	58	23,123
18	**Vapor a derivados**	1164,1	10,000

La figura 2 muestra el sistema termo- energético de la fábrica.

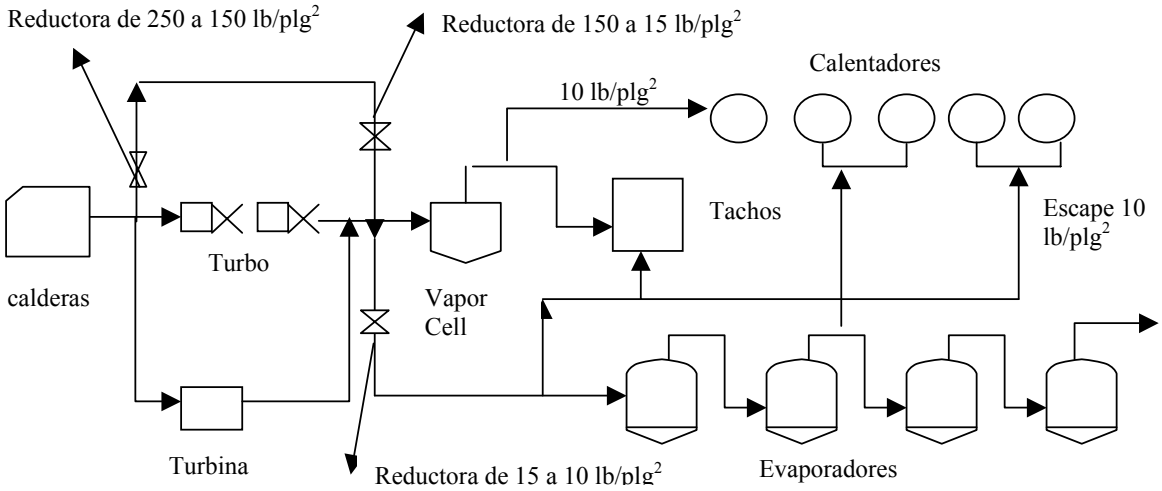


Fig. 2. Sistema termo-energético de la fábrica.

Balance de vapor en el proceso:

Vapor generado = 1121 t/d.(considerando que las dos calderas trabajan solo durante 13 horas y el resto del tiempo una sola)

El vapor se distribuye en las diferentes etapas de la siguiente manera:
Vapor al vapor cell: 20 t/h = 260 t/d
Vapor a los evaporadores: 23 t/h =299 t/d
Vapor a tachos: 18 t/h = 234 t/d (vapor procedente del vapor cell. durante 13 horas)
Vapor a tachos después de las 13 horas: 21 t/d
Vapor a calentador de jugo claro: 2 t/h = 26 t/d (procedente del vapor cell. Ver fig 5)
Vapor a calentador de jugo mezclado: 8,7t/h =113,1t/d (procedente de los evaporadores)
Vapor a calent. rectificador: 7 t/h= 91 t/d
Vapor a derivados: 10 t/h= 240 t/d
Vapor total a proceso: 50 t/h = 671 t/d
(Se consideró que el área de calentamiento y evaporación trabaja durante 13 horas al día).
Vapor sobrante: 210 t/d.

Los índices de consumo de vapor son los siguientes:
0,58 t de vapor / t de caña
1,74 t de vapor / t de bagazo consumido
4,2 t de vapor / t de azúcar comercial

El consumo de vapor de la fábrica es alto. El índice de 0,58 t de vapor / t de caña se ve afectado por un "vapor sobrante" que es vertido al ambiente. Si la caldera trabajará a un porciento menor de su capacidad de generación para lograr exactamente el vapor necesario, este índice puede ser reducido a 0,45 t de vapor / t de caña, que es un valor adecuado.

- **Electricidad**

En la fábrica existen 2 turbogeneradores que generan un total de 2800 kW con una eficiencia de 80 %.

La electricidad a consumir según el plan es 21,4 kW-h/ t de caña lo que es equivalente a 32185,6 kW-h/d.

Electricidad consumida = Generación + Consumo SEN- Entrega al SEN
Electricidad consumida = 4209407 kW-h + 418398 kW-h – 175040 kW-h = 4452765 kW-h en la zafra = 39 405 kW-h/d.
Indice de consumo actual = 26,2 kW-h/t de caña.
5,3 kW-h/t de azúcar.

Balance de masa.

El balance de masa se realizó utilizando el sistema computacional DAFLEX.

Balance de masa en molinos:

Caña + Agua de imbibición = Jugo mezclado + Bagazo

Caña:	1504	t/d
Agua de imbibición	360,96	t/d
Jugo mezclado	1360,16	t/d
Bagazo producido	504	t/d

Balance de masa en etapa de neutralización y filtrado:
Jugo mezclado + Lechada de cal + Jugo de los filtros =Jugo claro + sedimentos

Jugo mezclado	1360,16	t/d
Lechada de cal	45,12	t/d
Jugo de los filtros	411,965	t/d
Jugo claro	1429,3	t/d
Sedimentos	387,902	t/d

Balance de masa en etapa filtración.
Sedimentos + Bagacillo + Agua de lavado = Jugo de filtros + Cachaza

Sedimentos	387,902	t/d
Bagacillo	12,03	t/d
Agua de lavado	64,672	t/d
Cachaza	52,64	t/d
Jugo de los filtros	411,965	t/d

Balance de masa en etapa de evaporación.
Jugo clarificado a evap. = Meladura + Agua evaporada en evaporadores

Jugo clarificado a evap	1429,3	t/d
Meladura	353,49	t/d
Agua evaporada	1075,85	t/d

Balance en etapa de cocción:
Meladura = Miel final + Azúcar comercial + Agua evaporada en tachos

Meladura	353,49	t/d
Azúcar comercial	209,13	t/d
Miel final	59,99	t/d
Agua evaporada en tachos	84,353	t/d

- **Residuales.**

Residuales líquidos:
La fábrica genera 0,82 m^3/ t de caña equivalente a 1233 m^3/d de residuales, los cuales están compuestos por aguas contaminadas con azúcar proveniente de las etapas de producción, aguas contaminadas con productos químicos utilizados en la limpieza, aguas residuales proveniente del consumo social, condensados que no son aprovechados por no disponer de capacidad de almacenamiento y el agua que proviene de la extracción de la caldera. Estas aguas se vierten a una zanja que desemboca finalmente en el Río Guaní, sin recibir tratamiento alguno. Un análisis similar al realizado para el índice de consumo de agua (tabla 3) puede ser efectuado en este caso. Si se tomaran las medidas allí planteadas los índices de generación de residuales fueran menores.

Otra deficiencia encontrada fue numerosos derrames de producto por las juntas de las bombas de las centrífugas en el área de fabricación del azúcar. Estas pérdidas fueron cuantificadas resultando un flujo de 225 mL /min equivalente a **175 L /d** (considerando 13 horas diarias) **con un brix de 87,6 % y 60,69% de pol.** También se detectaron perdidas de jugo clarificado a la zanja y derrames del tanque de preparación de sosa para la limpieza por malas prácticas de operación por parte de los operarios del área. Estos derrames elevan la carga orgánica de los residuales trayendo como consecuencia un residual mucho más contaminado.

La tabla 5 muestra la caracterización de las aguas residuales del proceso azucarero.

Tabla 5. Caracterización de los residuales del central.

Análisis	Cant. muestra	Promedio	Desv. Estandar	X_{max}	X_{min}
DQO_t (g/L)	67	9,05	8,77	61	0,18
DQO_c (g/L)	68	7,64	8,77	58	0,18
ST (g/L)	39	6,58	8,35	23,1	0,94
STF (g/L)	28	1,31	4,50	11,6	0,12
STV (g/L)	17	5,27	2,39	14,5	1,44
SST (g/L)	27	2,06	3,15	12,6	0,11
SSF (g/L)	16	0,28	2,66	0,95	0,03
SSV (g/L)	16	1,37	0,27	5,75	0,02
SDT (g/L)	16	4,04	2,73	9,54	0,66
SDF (g/L)	16	0,52	0,43	1,77	0
SDV (g/L)	16	3,32	2,23	7,77	0,22
pH	56	5,63	1,43	11,44	2,79
CE mS/cm	26	0,77	0,39	1,7	0,08
Sulfato (g/L)	15	0,34	0,21	0,95	0,11
Nitrógeno (g/L)	12	0,04	0,03	0,084	0
Fósforo (g/L)	16	18,12	29,53	85,64	0
STV/ST	17	0,86	0,08	0,98	0,66
SSV/SST	16	0,65	0,32	0,97	0,026

Leyenda:

DQO_t : Demanda química de oxígeno total

DQO_c : Demanda química de oxígeno del centrifugado

ST : Sólidos totales

STF : Sólidos totales fijos

STV : Sólidos totales volátiles

SST : Sólidos suspendidos totales

SSF: Sólidos suspendidos fijos

SSV: Sólidos suspendidos volátiles

SDT: Sólidos disueltos totales

SDF : Sólidos disueltos fijos

SDV: Sólidos disueltos volátiles

De la caracterización de los residuales se puede observar que estos poseen un alto valor de demanda química de oxígeno muy superior a las normas de vertimiento establecidas, lo que indica que tienen una alta contaminación y no pueden ser vertidos a ningún curso receptor sin antes ser tratados. Por esta razón se propone que sean tratados junto con la vinaza de la destilería mediante una digestión anaerobia con producción de biogás en la planta de dicha empresa y de esta forma pudieran ser empleados para diluir las vinazas en la planta de biogás y de este modo reducir los consumos de agua del proceso.

La concentración de los sólidos suspendidos totales (2.06 g/L) está muy por encima de los valores requeridos para ser tratados en reactores UASB (Alphenaar, 1994) por lo cual requieren de un tratamiento previo para eliminarlos. Estos residuales se caracterizan por tener altos contenidos de cachaza y bagacillo.

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo son bajas para cualquier tipo de tratamiento pero deben ser tenidas en cuenta para el tratamiento anaerobio considerando una relación DQO:N:P de 100:0.75:0.25 para procesos anaerobios (McCarty, 1964), por lo que estos nutrientes deben ser suplementado con una fuente adicional.
La variabilidad de los parámetros expuestos, indicada por los altos valores de la desviación estandar, hace evidente la poca homogeneidad de estas aguas. Estas magnitudes tan variables son típicas de las aguas residuales de los centrales azucareros (Obaya, 2002, 2002a).

Residuales sólidos:

Del proceso de producción se generan los siguientes residuos sólidos:

Cachaza: se generan 52 t/d la cual es utilizada como abono en los campos de caña y en el organopónico de la empresa.
Cenizas: Se utiliza como relleno de la línea férrea.
Bagazo: se generan 505 t/d utilizados como combustible para la caldera.

Emisiones gaseosas:

El central genera emisiones gaseosas en las calderas para la generación de vapor. Se cuenta con 2 de ellas, sus chimeneas cumplen con los requerimientos establecidos por proyectos y normas técnicas, para que tengan un impacto mínimo al medio ambiente. En la instalación se trabaja constantemente para que estos equipos trabajen en forma eficiente, lo cual se evidencia por la características de los gases de combustión producidos.

Dificultades encontradas durante la asesoría.

1. No se recibe la caña con la calidad.
2. La materia prima no se recibe en tiempo y en la cantidad requerida, no existiendo continuidad en el proceso de producción. Solo se muele el 55 % de la molienda potencial.
3. El aislamiento de algunos equipos y tuberías de la fábrica es deficiente, ocasionando pérdidas de calor.
4. Existen salideros en tuberías.
5. No existe metro contador alguno para cuantificar el consumo de agua.
6. Existe un consumo excesivo de agua de pozo que puede ser reducido.
7. No tienen capacidad de almacenaje suficiente para garantizar un buen aprovechamiento de los condensados.
8. No existe planta de tratamiento de agua para inyectar a la caldera lo que proporciona incrustaciones.
9. Los techos, pisos y canales del ingenio se encuentran en mal estado.
10. Existe un consumo de electricidad mayor que el establecido por plan.
11. Se dispone de una instalación vieja y de equipos con tecnología atrasada.
12. No existe tratamiento de los residuales líquidos. Las lagunas se filtran y contaminan el manto freático.
13. Existen salideros en los baños sanitarios, ocasionando grandes consumos de agua.

Como resultado de la asesoría el equipo de trabajo del Punto Focal ICIDCA de la Red Nacional de Producción Más Limpia (RNPML) en Cuba, sugiere una serie de medidas a implementar en la instalación para erradicar las dificultades encontradas**.**

Con vista a lograr la mayor efectividad se decidió formar un equipo de PML en la empresa, integrado por miembros de la misma, que impulsen la implementación de las medidas más convenientes y la estrategia de trabajo que conlleva a lograr una producción más limpia.

Propuesta de equipo de trabajo para una producción más limpia en el central.

- ✓ Director de la empresa
- ✓ Jefe de Producción
- ✓ Jefe de ciencia y técnica
- ✓ Jefes de Turno
- ✓ Jefe de Brigada de Mantenimiento
- ✓ Técnico de gestión de la Calidad
- ✓ Técnico de Control Económico
- ✓ Técnico de protección e higiene del trabajo
- ✓ Técnico de agua y residuales
- ✓ Técnico energético

El equipo anteriormente propuesto debe impulsar la puesta en práctica de las medidas de Producción Más Limpia que se mencionan a continuación.

Medidas de producciones más limpias.

a) Buenas prácticas de producción.

- Exigencia contractual en los requerimientos de calidad de las materias primas.
- Garantizar un suministro estable de materia prima.
- Entrenamiento de los operarios en el consumo de agua y en la limpieza.
- Chequear periódicamente que se cumpla lo establecido en el manual de operaciones y mantenimiento de la fábrica relacionado con el mantenimiento de tuberías, válvulas con vistas a eliminar salideros.

- Chequeo de recuperación y reuso de condensado, previniendo su pérdida.
- Chequear la limpieza de los calentadores de jugo, para mejorar la transferencia de energía.
- Iniciar la documentación para el establecimiento de un Sistema de Gestión Ambiental.
- Asegurar que los tanques y tuberías sean drenados completamente y eliminar residuos de productos antes de limpiar los tanques.
- Cumplir con el acomodo de carga en el horario pico, parando las centrífuga, equipos de taller de maquinado que no tienen necesariamente que operar en horario pico, ahorrando 168 960 kw-h al año.
- Parar los aires acondicionados en horario pico.
- Parar los equipos al ocurrir interrupciones operativas del central según el tiempo de prolongación de la misma.
- Establecer un sistema de estimulación para el ahorro de agua por cada unidad de operación.

b) Inversiones.

- Reparación de válvulas en el área de producción.
- Análisis de la necesidad de pistolas para mangueras de limpieza con agua o uso de sistemas con alta presión.
- Instalar metros contadores de agua en equipos y en las diferentes áreas de la misma, principalmente en las áreas de mayor consumo para monitoreo.
- Elaborar una propuesta de un sistema de recuperación y uso de los condensados.
- Eliminar pérdidas de vapor, reparar juntas, mejorar aislamiento de los equipos.
- Instalar una planta de tratamiento de agua para tratar el agua de pozo que se utiliza en las calderas para prevenir las incrustaciones solamente al inicio de la zafra, el resto del tiempo se debe usar solo condensados como agua de alimentación a la caldera.
- Hacer fosas sépticas.
- Reparar los baños sanitarios.
- Reparar los techos.
- Reparar los pisos.
- Reparar los canales de la fábrica.
- Reparar el sistema de canalización de pluviales para recuperar el agua de lluvia.
- Mejorar el sistema de iluminación y hacerlo más eficiente colocando bombillos ahorradores en áreas de mayor tiempo de iluminación ahorrando 10 950 kw-h/año.
- Instalar mamparas para reducir las pérdidas de agua en el enfriadero.

c) Uso de residuales.

- Utilizar los residuales azucareros como agua de dilución en la planta de biogás realizando un tratamiento previo para separar los sólidos.
- Desarrollar de forma sostenida una ecocultura que impida a tiempo toda agresión al medio ambiente y promueva la necesaria armonía con el entorno.

Conclusiones y Recomendaciones.

- En la asesoría realizada se evaluó la fábrica desde el punto de vista tecnológico y las entradas y salidas del proceso como son materias primas, agua, energía y emisiones detectándose dificultades sustanciales que influyen negativamente en la eficiencia y productividad del proceso, además de elevar los costos de producción.

- Como resultado de la asesoría se sugirieron medidas de Producción Más Limpia con vista a lograr a partir de un incremento de la eficiencia y competitividad, la optimización del uso de los recursos naturales, tecnológicos, financieros, humanos, y la disminución de los costos de producción y de manejo de residuales.

- Se creo un equipo de trabajo en la propia fábrica, que impulse la puesta en práctica de las medidas de producción más limpia sugeridas para erradicar las deficiencias encontradas. El 43 % de las medidas de producción más limpias, corresponden a la aplicación de buenas prácticas de producción, las cuales dependen en gran medida del grado de conciencia que tengan todos los trabajadores de la instalación para dar solución a los problemas planteados.

- Se sugiere como tratamiento para los residuales del central su utilización como agua de dilución en la planta de biogás de dicha empresa con tratamiento previo de separación de sólidos, para así lograr disminuir la contaminación y reducir el consumo de agua en el proceso de producción de biogás.

Bibliografía.

- Alphenaar, A. (1994).*PhD thesis Landbouwuniversiteit* . Wageningen, The Netherlands.
- De Armas C. (2002) Conferencia Operaciones térmicas en proceso, Subdirección de desarrollo, ICIDCA.
- Fresner, J., Engelhardt, G. (2002) STENUM GmbH, Geidorfgurtel 21. 8010 Graz.
- Hugott, E.(1964), Manual para ingenieros químicos, Edición revolucionaria, La Habana, cuba.
- McCarty P. (1664) Public Works for September (Part one)
- Obaya M. C. y col (2002) Tecnología del Agua, Vol. 227.
- Obaya M. C. y col (2002a) Tecnología del Agua, Vol. 231.

TRATAMIENTO COMBINADO DE LAS VINAZAS DE DESTILERÍA Y RESIDUALES AZUCAREROS EN REACTORES UASB.

COMBINED TREATMENT OF DISTILLERY SLOPS AND SUGAR MILL WASTEWATERS IN UASB REACTORS.

Ma. Cristina Obaya Abreu (Investigador Titular)[1], Esperanza Valdés Jiménez (Investigador Titular)[1], Roxana Valencia Rodríguez (Ayudante de Investigación)[1], Olga L. León Pérez (Auxiliar a Investigador)[1], Misley Morales Carmouse (Técnico en Síntesis)[1], Orbelinda Pérez Bonachea (Técnico en Síntesis)[2], Sara Díaz Llanes (Técnico en Síntesis)[2] Odalys Valdivia Rojas (Técnico en Síntesis)[2] .

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar[1]
P. O. Box. 4026, Ciudad de La Habana, Cuba. E. Mail obaya@icidca.edu.cu
Fax (537)33 8236 Teléfono (537) 55 7015
Empresa Mielera "Heriberto Duquesne", Remedios, Villa Clara[2]

Resumen

Las aguas residuales de las instalaciones de la empresa mielera Heriberto Duquesne son muy variables en su composición pero perfectamente posibles de ser tratadas en conjunto en la planta de biogás anexa al complejo industrial. La capacidad de autorregulación de los reactores UASB con lodos anaerobios de alta calidad los hacen capaces de asimilar cargas orgánicas variables, así también la introducción del residual azucarero y su eliminación al final de la zafra, sin afectar su eficiencia, a tiempos de retención hidráulicos de un día. Para reducir el lavado de lodos de los reactores es imprescindible que las aguas reciban un tratamiento primario de separación de los sólidos capaz de reducir los mismos a las concentraciones establecidas. Las investigaciones realizadas resultan de gran importancia considerando que se solucionan dos problemas: un problema medioambiental, al tratar todas las aguas contaminadas de la empresa en la planta de biogás. Adicionalmente, se produce un ahorro sustancial de agua en correspondencia con los nuevos conceptos de las producciones más limpias.

Summary

Wastewaters from the installations of molasses-making interprise Heriberto Duquqesne are very variables according their composition but can be treated in combination in a biogas plant annexed to the industrial complex. The autoregulation capacity of UASB reactors with high-quality anaerobic sludge make them capables to assimilate variable organic loads, as well as, the introduction to the system of sugar mill wastewaters and their elimination at the end of the campaing, with no effect on its efficiency , at one-day retention time. To reduce sludge wash-out it becomes unavoidable a previous treatment of wastewater concerning to solid separation up to the established concentrations. Research carried out turned to be of paramount importance taking into account that two issues are solved at the same time: an environmental problem by the treatment of all polluting waters in the complex. In addition, a significant water saving is achieved in correspondence with the new concepts in cleaner productions.

Palabras Claves: caracterización, residuales azucareros, vinazas, tratamiento anaerobio, reactores UASB.

Key words: characterization, sugar mill wastewaters, distillery slops, anaerobic treatment, UASB reactors.

INTRODUCCIÓN

El ICIDCA (1995, 1998) ha desarrollado una tecnología de producción de biogás, basada en reactores del tipo UASB, de origen holandés, con la cual se encuentra construida una planta, única de su tipo en Cuba, de 3000 m^3 de capacidad para el tratamiento de las aguas residuales de la Empresa Mielera "Heriberto Duquesne" en Remedios, Villa Clara.

La planta, que en la actualidad se encuentra en fase de puesta en marcha, está concebida para tratar 800 m^3 de vinazas, que hoy contaminan el río Guaní que corre por más de dos municipios para llegar a la costa norte del país, la cual es una zona turística en constante desarrollo. La misma producirá 16 000 m^3 de biogás, el cual será utilizado en las calderas de la destilería y contribuirá al mejoramiento de la calidad de vida de la población aledaña al complejo industrial. Este gas combustible será empleado en la cocción de alimentos de 500 familias que laboran en las instalaciones fabriles mencionadas y habitan en las cercanías del complejo industrial.

La puesta en marcha de la planta de biogás, basada en la tecnología creada por el ICIDCA, demostrará la factibilidad de producir energía a partir de fuentes renovables que contribuyen a la sustentabilidad de las políticas ambientales urbanas.

La fábrica de azúcar de la empresa mielera produce aproximadamente 750 m3/d de aguas residuales que contaminan el medio ambiente (Valdés y otros, 2003). La concentración de la demanda química de oxígeno de las mismas es sumamente inferior a la de las vinazas alcoholeras, por lo que cabe la posibilidad de que puedan ser empleadas como aguas de dilución del proceso de producción de biogás. Esta probabilidad serviría para dar solución a los problemas ambientales que ellas originan a la vez de producir un ahorro considerable de agua en correspondencia con los nuevos conceptos de las producciones más limpias, hoy día en ascenso.

En el presente trabajo se caracterizan las aguas residuales producidas en el complejo industrial. Adicionalmente, se estudia el tratamiento conjunto de las mismas a escala de laboratorio, se realizan los balances de materiales para conocer los posibles ahorros de agua cruda que esta solución proporcionaría y se dan sugerencias muy preliminares de la implementación del tratamiento de ambos residuales en la planta de biogás existente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de las aguas residuales a tratar en el reactor UASB

Análisis realizados

Las aguas residuales empleadas en este trabajo fueron caracterizadas durante la zafra 2002-2003. Estas son, las vinazas de la columna de destilación de la destilería de la Empresa Mielera "Heriberto Duquesne", sita en provincia de Villa Clara y las aguas residuales del ingenio azucarero de la misma empresa.

Los análisis realizados fueron los siguientes:

- Demanda Química de Oxígeno (DQO) empleando el método colorimétrico de determinación rápida (Eng, 1990).

- pH y Conductividad eléctrica con equipo digital WTW Multi 304i y electrodos específicos.
- Nitrógeno Total por el método Kjeldahl, después de digestión en medio ácido.
- Fósforo por determinación colorimétrica, después de digestión en medio ácido.
- Sulfatos por método turbidimétrico, después de disolución de las cenizas.
- Calcio por valoración con EDTA, después de digestión en medio ácido.
- Todos los tipos de sólidos, por desecación en la estufa a 110°C durante 4 horas y en la mufla a temperatura de 600 ^{o}C durante 4 horas.

Para todas las determinaciones se siguieron los métodos reportados en el Standard Methods (APHA, 1989).

Tratamiento de las vinazas y los residuales azucareros

Reactor empleado

Los residuales fueron tratados en un reactor UASB de forma cilíndrica y fondo cónico, con un d.i. de 0.075 m y una altura efectiva de 0.25 m, para la sección cilíndrica, y 0.12 m para la sección cónica, para un volumen de trabajo de 1.1 L.. Se tomó un volumen de trabajo de 1 L. La temperatura fue mantenida a 30^{0}C en un cuarto termostatado. El biogás producido, fue almacenado y medido en una botella de Boyle Mariotte.

Lodo semilla

El reactor fue inicialmente inoculado con lodo albañal digerido floculento de la planta de tratamiento de residuales albañales del río Quibú, en Ciudad de la Habana. Se inocularon 20 g SSV y una concentración equivalente de 20 gSSV/L. Previamente, el lodo fue tamizado con un tamiz ASTM No. 18 (1.00 mm), para lograr homogeneidad en el lodo semilla.

Operación del reactor

El reactor fue operado inicialmente en forma convencional. Para ello la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de la solución de alimentación fue elevada paulatinamente, para adaptar el lodo, paso a paso, a mayores concentraciones de materia orgánica, período que duró 8 meses hasta llegar a 20 gDQO/L. Se empleó una velocidad de carga orgánica inicial de 0.06 gDQO/gSSV.d, un tiempo de retención hidráulico de un día y una velocidad de carga volumétrica de 1.2 gDQO/L.d. El lodo fue previamente reactivado en condiciones batch por un período de tres días, después de los cuales el reactor pasó a régimen continuo.

Durante este proceso, el pH de la solución fue ajustado a 7, empleando una solución de hidróxido de sodio (50%). La alimentación al reactor fue preparada diariamente con la adición de macronutrientes en forma de sulfato y fosfato de amonio comercial, para lograr, teniendo en cuenta las cantidades de nitrógeno y fósforo que tiene la vinaza, una relación DQO:N:P de 100:1.75: 0.25 (McCarty, 1964a).

Una vez alcanzada la carga máxima de operación con vinazas (20 gDQO/L) se evaluó el reactor durante 33 días con vinaza como única fuente de alimentación y posteriormente durante 31 días con la mezcla vinaza-residual azucarero, sustituyendo toda el agua necesaria para diluir la vinaza a 20 gDQO/L, por residual azucarero. Por último se evaluó el reactor nuevamente con vinaza, sin residual azucarero, para estudiar el efecto de la eliminación brusca de este último, simulando la terminación de la zafra, sobre la eficiencia del reactor. En todos los casos se mantuvo un tiempo de retención hidráulico de un día y los residuales empleados para los experimento tenían una demanda química de oxígeno de, 55 g/L, la vinaza y de 6 g/L, el residual azucarero. El residual azucarero fue previamente filtrado a través de una gasa para remover los sólidos de mayor tamaño.

Para determinar la concentración de DQO de la mezcla, luego de sustituir el agua potable por residual azucarero, se realizó un balance de materiales.

Control de la eficiencia del reactor.

Durante la operación se realizaron las siguientes determinaciones:

- DQO total de la alimentación al reactor y la DQO total y filtrada del efluente tratado, empleando el método colorimétrico de determinación rápida (Eng, 1990).
- pH con pHmetro digital WTW Multi 304i, a la alimentación y el efluente tratado del reactor en régimen continuo.
- Alcalinidad parcial (AP) y alcalinidad intermedia (AI) mediante la valoración con ácido sulfúrico 0.1 mol/L hasta pH 5,75 para la primera y 4.3 para la segunda. Se realizó el cálculo de alfa mediante la siguiente ecuación:

$$\text{alfa} = \frac{AI}{AI + AP} \qquad (4)$$

Esta determinación se realizó al efluente tratado del reactor (APHA, 1989).

- Ácidos grasos volátiles (AGV) en un cromatógrafo de gases PHILIPS - PU4600, luego de ajustar el pH de las muestras a 2 con una solución de HCl y adicionar 0,5 ml de ácido isovalérico c(500 mg/l) como estándar interno. Las condiciones de operación fueron las siguientes: el cromatógrafo esta equipado con un par de columnas de vidrio de 2 m de longitud y 3 mm de diámetro interno, empaquetados con Chromosorb 101 de 68-80 mesh. Las temperaturas de columna e inyección fueron ajustadas a 200^0C. El gas portador utilizado fue N_2 con un 99.9% de pureza a un flujo de 40 ml/min. Como detector se empleó el sistema Dual - F10. Las presiones de aire e H_2 fueron de 2 Kg/cm^2 y 0.8 kg/cm^2, respectivamente. El volumen de inyección fue de 1 μL. Esta determinación se realizó al sobrenadante del efluente tratado del reactor.
- Volumen de biogás producido en el reactor fue medido empleando botellas de Boyle Mariotte.
- Sólidos suspendidos totales (SST) al influente y efluente del reactor a través de papel de fibra de vidrio GF/C de la Gallenkamp.

Caracterización del lodo granular

El lodo granular fue caracterizado una vez estabilizado el reactor a la carga de operación de 20gDQO/L. Le fueron realizadas las siguientes determinaciones:

- Sólidos suspendidos totales (SST) y volátiles (SSV) por el método estandar (APHA, 1989).
- Actividad Específica Metanogénica Máxima (Dutch Standard Methods, 1997)

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Caracterización de las vinazas de la destilería de alcohol

La Tabla I muestra las características de la vinaza de las columnas de destilación de alcohol de la refinería anexa a la Empresa Mielera Heriberto Duquesne.

Tabla I Caracterización de las vinazas de la destilería de alcohol

	Promedio	Desv. Estan	Xmáx	Xmín	n

DQOt	**g/L**	71,20	29,27	168,4	26,4	49
DQOc	**g/L**	49,94	7,68	63,3	38,4	14
PH		4,47	0,43	6,4	4	46
ST	**g/L**	52,67	4,15	60,46	45,47	14
STF	**g/L**	12,61	0,90	13,7	11,12	6
STV	**g/L**	38,67	4,29	44,25	33,05	6
SST	**g/L**	5,14	5,12	18,03	1,42	14
SSF	**g/L**	3,39	2,91	8,89	0,91	6
SSV	**g/L**	7,59	6,14	17,26	1,47	6
SDT	**g/L**	41,97	8,11	52,54	30,7	6
SDF	**g/L**	9,23	2,67	12,19	4,18	6
SDV	**g/L**	31,08	8,24	40,38	19,1	6
CE	**mS/cm**	8,36	2,86	13,41	6,6	5
Sulfatos	**g/L**	15,81	29,53	76	2,893	6
Nitrógeno	**g/L**	0,21	0,10	0,322	0,02	6
Fósforo	**g/L**	0.21	0.10	0.41	0.15	6
Calcio	**g/L**	0,55	0,34	1,2	0,26	6
STV/ST		0,75	0,02	0,77	0,73	6
SSV/SST		0,82	0,64	2,07	0,28	6

De la caracterización de los residuales se puede observar que estos poseen un alto valor de demanda química de oxígeno y un bajo pH, típico de los residuales de destilerías, (Obaya,1988).

Las cantidades de nitrógeno y fósforo deben ser tenidas en cuenta para el tratamiento anaerobio ya que, considerando una relación DQO:N:P de 100:0.75:0.25 para procesos anaerobios (McCarty, 1964a), se observa que el fósforo contenido en el residual es suficiente, no así el nitrógeno que debe ser suplementado con una fuente adicional.

Las concentraciones de calcio son suficientes e incluso ligeramente superiores para iniciar un buen proceso de granulación del lodo en reactores UASB. Alphenaar (1994) recomienda para el buen desarrollo del proceso de granulación, concentraciones de calcio 0.120 g/L, planteando que concentraciones superiores, pueden causar el efecto inverso de desfloculación del lodo, por la adhesión del mismo a las pequeñas partículas de las sales de calcio formadas. Por esta razón es necesario evitar la utilización de la lechada de cal como agente neutralizante y, en su lugar, emplear cualquier otro agente que no tenga iones calcio. Adicionalmente, Mc Carty (1964b) reporta que concentraciones de calcio por encima de 2.5 g/L pueden resultar tóxicas para el proceso de digestión anaerobia.

La concentración de sulfatos en el residual predice que durante este tratamiento se producirá un gas combustible con altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno debido a la presencia de bacterias sulfato reductoras en el lodo (Valencia, 2002) y el bajo potencial de oxidación reducción presente en el reactor, característico de los procesos de digestión anaerobia.

Con relación a los sólidos, se observa que estos residuales contienen una concentración de 5.14 g/L de sólidos suspendidos totales, por lo que pueden ser tratados en reactores UASB con previa separación de los mismos. Los sólidos suspendidos por encima de 0.5 g/L en la alimentación de los reactores causan el mismo efecto de las sales de calcio reportado por Alphenaar (1994). Las relaciones STV/ST y SSV/SST, de 0.75 y 0.82 respectivamente, indican un alto contenido de materia orgánica. A la vez, la alta conductividad eléctrica de este residual (8.36 mS/cm), hace que el mismo no posea buena calidad para el fertirriego por peligros de salinización del suelo. En su lugar debe ser utilizado como abono orgánico en muy bajas dosis o sufrir algún otro tratamiento convencional.

La variabilidad de los parámetros expuestos, indicada por los altos valores de la desviación estandar, hace evidente la poca homogeneidad de estos residuales, lo cual no es característico en otras instalaciones similares (Obaya, 1988). Esta variabilidad puede ser debida a la mala calidad de las mieles o a problemas de operación en esta instalación.

Caracterización de las aguas residuales del ingenio azucarero

La Tabla II muestra las características del residual procedente del ingenio perteneciente a la Empresa Mielera Heriberto Duquesne.

Tabla II Caracterización de las aguas residuales del ingenio

	Promedio	Desv. Estand	n	Xmax	Xmin
DQOt g/L	9,05	8,78	67	61	0,18
DQOc g/L	7,64	8,35	68	58	0,18
ST g/L	6,58	4,50	39	23,1	0,94
STF g/L	1,31	2,40	28	11,6	0,12
STV g/L	5,27	3,15	17	14,5	1,44
SST g/L	2,06	2,66	27	12,6	0,11
SSF g/L	0,28	0,27	16	0,95	0,03
SSV g/L	1,37	1,67	16	5,75	0,02
SDT g/l	4,04	2,73	16	9,54	0,66
SDF g/L	0,52	0,43	16	1,77	0
SDV g/L	3,32	2,23	16	7,77	0,22
pH	5,63	1,43	56	11,44	2,79
CE mS/cm	0,77	0,39	26	1,7	0,08
Sulfatos g/L	0,34	0,21	15	0,95	0,11
Nitrógeno (g/L)	0,04	0,03	12	0,084	0
Fósforo (mg/L)	18,12	29,53	16	85,64	0
Calcio (g/L)	0,27	0,09	8	0,38	0,14
STV/ST	0,86	0,08	17	0,98	0,66
SSV/SST	0,65	0,32	16	0,97	0,026

De la caracterización de los residuales se puede observar que estos poseen valores de la demanda química de oxígeno, no obstante, muy inferiores a los valores de la DQO de las vinazas de la destilería de alcohol. Por esta razón se prevé que puedan ser tratados junto con la vinaza y empleados para diluir las mismas y de este modo reducir los consumos de agua del proceso.

La concentración de los sólidos suspendidos totales (2.06 g/L) no es representativa de un residual azucarero industrial debido a que estos residuales se caracterizan por tener altos contenidos de cachaza y bagacillo. Su concentración real (no determinada aquí) está muy por encima de los valores requeridos para ser tratados en reactores UASB (Alphenaar, 1994) por lo cual requieren de un tratamiento previo para eliminarlos.

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo son bajas para cualquier tipo de tratamiento (McCarty, 1964a). La conductividad eléctrica es media y el pH cercano al neutro.

La variabilidad de los parámetros expuestos, indicada por los altos valores de la desviación estandar, hace evidente la poca homogeneidad de estas aguas. Estas magnitudes tan variables son típicas de las aguas residuales de los centrales azucareros (Obaya, 2002a, 2002b)

Resultados de las experiencias del tratamiento conjunto de las vinazas y los residuales azucareros.

En las tablas III, IV y V , se muestran los resultados de los experimentos realizados, con vinaza diluida como única fuente de alimentación, con mezcla vinaza – residual azucarero y nuevamente vinaza diluida, respectivamente.

Al analizar la tabla III es posible asegurar que el reactor durante los 33 días del experimento con vinaza diluida se comportó establemente, mostrando una alta eficiencia de la DQO total y centrifugada (79.97 y 83.29 %, respectivamente), valores adecuados de pH, alfa y rendimiento de biogás. La concentración de sólidos suspendidos totales a la salida, de 1.28 g/L, es superior al valor reportado por la literatura (0.3 g/L) (Alphenaar,1994) como el indicado para identificar un lavado del lodo. Esto es debido a que en ninguno de los experimentos se dio tratamiento riguroso de separación de sólidos a la alimentación por lo cual en todos los casos este valor está por encima de 0.5 g/L, valor recomendado por Lettinga (1984, 1991), Grotenhuis (1992) y Kato (1999) para evitar el lavado del lodo. El fenómeno de dispersión del lodo provocado por los sólidos suspendidos en la alimentación, reportado por Alphenaar (1994), fue discutido anteriormente.

Tabla III Resultados del experimento antes de introducir el residual azucarero

		Promedio	Desv. Est.	n	Xmax	Xmin
Flujo de residual	**L/d**	0,85	0,27	23	1,41	0,40
Flujo de gas	**L/d**	5,71	2,62	20	10,00	0,54
DQOt (entrada)	**g/L**	21,80	2,10	24	26,65	16,65
DQOt (salida)	**g/L**	4,33	1,00	24	6,86	3,26
DQOc (salida)	**g/L**	3,61	0,90	24	6,11	2,73
DQO Volátil	**g/L**	0,73	0,75	24	3,36	0,11
DQO removido	**g/L**	17,47	2,31	24	23,04	13,39
% DQO Volátil		15,37	12,31	24	51,58	3,09
% RemociónTotal		79,97	4,81	24	86,47	68,88
% Remoción Centrif.		83,29	4,47	24	88,75	72,58
SST(entrada)	**g/L**	0,77	0,41	24	1,76	0,10
SST(salida)	**g/L**	1,28	1,11	24	5,24	0,16
pH (entrada)		7,31	0,15	24	7,64	6,98
pH (salida)		7,94	0,20	24	8,27	7,56
AI	**mg/L CO3Ca**	1570,83	383,89	24	2100,00	600,00
AT	**mg/L CO3Ca**	5525,00	426,56	24	6200,00	4700,00
alfa		0,28	0,06	24	0,36	0,11
Rendimiento de Biogas	**Lbiogas/g DQO**	0,43	0,19	19	0,76	0,04

Al calcular la carga de la DQO diaria aplicada en las tres fases del experimento, de 18.5 g/d, 21.52 g/d y 20.45 g/d, se evidencia que la fase experimental de mayor carga aplicada por día fue la de mezcla de ambos residuales. No obstante, como se observa en la tabla IV los porcientos de remoción de la DQO total y centrifugada, de 82 y 86 % respectivamente, son incluso ligeramente superiores a los encontrados en las fases experimentales restantes (ver tablas III y IV). La introducción del residual azucarero,

reportado por García (1979) y Valdés (1985) como altamente biodegradable, parece favorecer la degradación biológica de la mezcla.

Los sólidos suspendidos a la salida de 0.65 g/L, resultan ser menores a los encontrados en la primera fase del experimento y estos a su vez mayores que los encontrados en la tercera fase del mismo (ver tablas III y V), no obstante todos son superiores a los valores deseados, de 0.3 g/L, por la razón explicada con anterioridad.

Tabla IV Resultados del experimento con el tratamiento conjunto de ambos residuales

		Promedio	Desv. Est.	n	Xmax	Xmin
Flujo de residual	**L/d**	0,95	0,30	11	1,70	0,55
Flujo de gas	**L/d**	5,18	1,01	10	6,50	3,50
DQOt (entrada)	**g/L**	22,65	1,33	13	24,32	19,93
DQOt (salida)	**g/L**	4,04	0,76	13	6,00	3,29
DQOc (salida)	**g/L**	3,22	0,49	13	4,18	2,10
DQO Volátil	**g/L**	0,46	0,41	12	1,50	0,15
DQO removido	**g/L**	18,62	1,34	13	20,71	15,99
% DQO Volátil		10,20	10,12	13	39,50	0,00
% Remoción Total		82,17	3,13	13	85,58	75,26
% Remoción Centrif.		85,70	2,36	13	91,19	82,38
SST(entrada)	**g/L**	1,08	0,99	13	2,62	0,02
SST(salida)	**g/L**	0,65	0,62	13	1,92	0,06
pH (entrada)		7,30	0,12	13	7,50	7,10
pH (salida)		8,20	0,19	13	8,44	7,90
AI	**mg/L CO3Ca**	1469,23	314,60	13	2200	1000
AT	**mg/L CO3Ca**	6246,15	622,65	13	7000	4900
alfa		0,24	0,05	13	0,31	0,15
Rendimiento de Biogas	**Lbiogas/g DQO**	0,38	0,12	10	0,61	0,21

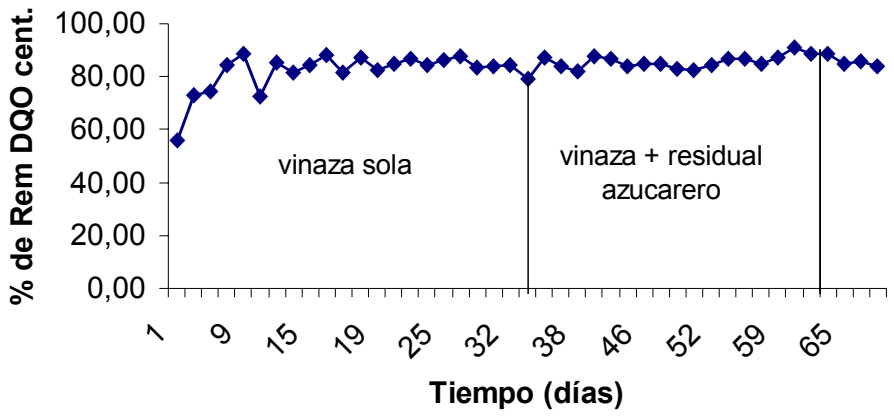
La eliminación del residual azucarero de la alimentación, que simula lo que debe suceder una vez terminada la zafra, no tiene ningún efecto sobre los parámetros evaluados (ver tabla V)

Tabla V Resultados del experimento después de eliminar el residual azucarero

		Promedio	Desv. Est.	n	Xmax	Xmin
Flujo de residual	**L/d**	0,90	0,07	4	1,00	0,80
Flujo de gas	**L/d**	6,15	1,70	4	8,10	3,50
DQOt (entrada)	**g/L**	22,72	1,69	5	25,61	21,19
DQOt (salida)	**g/L**	4,11	0,83	5	5,52	3,23
DQOc (salida)	**g/L**	3,17	0,33	4	3,60	2,85
DQO Volátil	**g/L**	0,58	0,54	4	1,56	0,10

DQO removido	**g/L**	19,01	2,57	5	22,38	15,67
% DQO Volátil		12,19	12,36	5	35,05	1,76
% Remoción Total		81,94	4,67	5	87,41	73,94
% Remoción Centrif.		86,41	2,10	5	88,86	83,66
SST(entrada)	**g/L**	0,20	0,03	5	0,24	0,16
SST(salida)	**g/L**	0,58	0,50	5	1,56	0,20
pH (entrada)		7,23	0,10	5	7,39	7,10
pH (salida)		8,15	0,10	5	8,28	7,98
AI	**mg/L CO3Ca**	1400,00	228,04	5	1600,00	1000,00
AT	**mg/L CO3Ca**	5760,00	392,94	5	6400,00	5300,00
alfa		0,24	0,03	5	0,29	0,18
Rendimiento de Biogas	**Lbiogas/g DQO**	0,38	0,11	4	0,52	0,22

Los resultados indican que, tanto la introducción del residual azucarero, así como su brusca eliminación, no producen ningún efecto negativo sobre el comportamiento de un reactor tratando vinazas de destilerías de alcohol, en condiciones de iguales carga hidráulicas, con tiempo de retención hidráulico de alrededor de un día. A pesar de que la carga de DQO/d aplicada durante el experimento con mezcla de residuales fue de 21.52 gDQO/d, superior a la de las restantes fases experimentales, el reactor se comportó muy establemente. Esto se debió a la alta autorregulación que mostró el mismo dada la relativamente alta



AEM del lodo, de 0.5 gDQO-CH_4/SSV.d. Wolmarns (2003) reporta que cuando un lodo tiene una alta AEM y el reactor funciona establemente, el mismo es capaz de asimilar variaciones de cargas orgánicas sin afectar su eficiencia. Ramos (1994) y Obaya (2003) reportan efectos contrarios cuando el lodo posee una baja AEM.

Vinaza sola

Fig. 1 Variación del porciento de remoción de la DQO durante el experimento

Lo anterior se evidencia aún más al analizar las figuras 1 y 2, donde se observa que el porciento de remoción de la DQO no varía en los 69 días de experimentos, manteniéndose estable alrededor de valores

superiores al 80%, (fig. 1) y que los ácidos volátiles (acético, propiónico y butírico) se mantienen muy cercanos a cero (fig. 2).

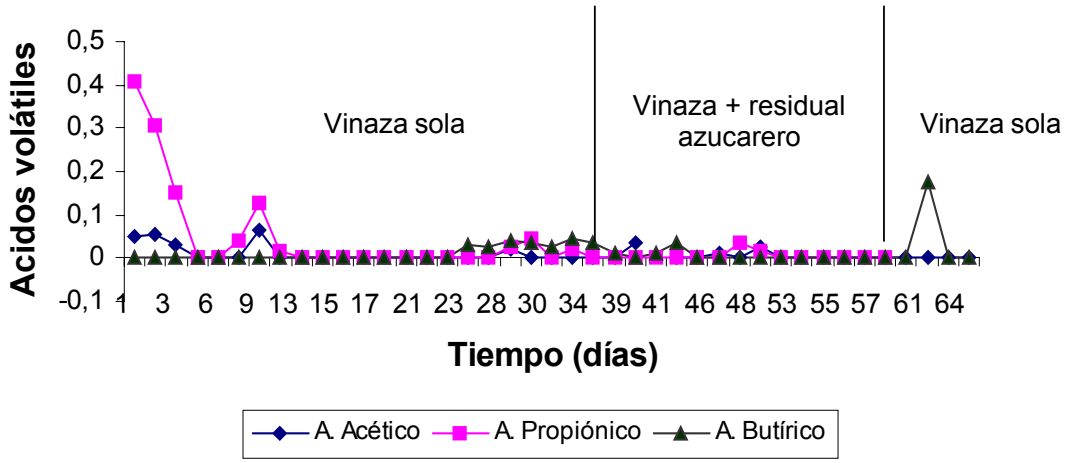


Fig. 2 Variación de la concentración de los ácidos volátiles durante el experimento

Implementación industrial

Realizando un balance de materiales, considerando índices de 0.5 m^3/tcm (752 m^3/d de residual azucarero) y 1.6 m^3/hl de alcohol (800 m3 de vinaza por día) (Valdés, 2003) y los valores promedios de la DQO de cada residual mostrados en las tablas I y II, se obtiene que al mezclar ambos residuales es necesario adicionar 1626 m3/d de agua cruda para llevar la carga orgánica de alimentación al reactor a 20 g/L, con un ahorro de 414 m3/d de agua cruda, con relación a cuando se trata la vinaza como única fuente de alimentación a los reactores UASB. En este caso el tiempo de retención de los reactores es de aproximadamente un día.

De los resultados de este balance se observa que el agua residual producida en la fábrica de azúcar no es suficiente para sustituir toda el agua potable necesaria. Según las investigaciones realizadas, cabe la opción de poder utilizar otras aguas limpias o poco contaminadas con este propósito, de las instalaciones fabriles implicadas, siempre que no se violen los tiempos de retención hidráulicos de los reactores.

Para reducir la concentración de sólidos suspendidos a la entrada de los reactores se propone instalar dos estaciones de filtración, constituidas cada una, por un tren de filtros de plantas de tratamiento de agua rellenos de piedras, gravilla y arena, seguidos de un filtro parabólico. Estos equipos pueden ser tomados de centrales desactivados por lo que sólo será necesario invertir en los costos de desmontaje y montaje de los mismos.

Las aguas residuales procedentes de la fábrica de azúcar deben ser pasadas a través de una piscina de igualización, existente en la planta de biogás, luego de recibir el tratamiento primario para separación de sólidos y, antes y después de dichos tratamientos, deben pasar por dos trampas de grasas.

CONCLUSIONES

- Las aguas residuales de las instalaciones de la empresa mielera Heriberto Duquesne son muy variables en su composición pero perfectamente posibles de ser tratadas en conjunto en la planta de biogás anexa al complejo industrial.
- La capacidad de autorregulación de los reactores UASB con lodos anaerobios de alta calidad los hacen capaces de asimilar cargas orgánicas variables, así también la introducción del residual azucarero y su eliminación al final de la zafra, sin afectar su eficiencia, a tiempos de retención hidráulicos de un día.
- Para reducir el lavado de lodos de los reactores es imprescindible que las aguas reciban un tratamiento primario de separación de los sólidos capaz de reducir los mismos a las concentraciones establecidas.
- La variabilidad de las características de las aguas procedentes del ingenio azucarero demanda de un pretratamiento de homogeneización de las mismas.
- Las investigaciones realizadas resultan de gran importancia considerando que se solucionan dos problemas: un problema medioambiental, al tratar todas las aguas contaminadas de la empresa en la planta de biogás. Adicionalmente, se produce un ahorro sustancial de agua en correspondencia con los nuevos conceptos de las producciones más limpias.

Leyenda

DQOt	Demanda Química de Oxígeno (total)	SDT	Sólidos Disueltos Totales
DQOc	Demanda Química de Oxígeno (centrifugada)	SDF	Sólidos Disueltos Fijos
ST	Sólidos Totales	SDV	Sólidos Disueltos Volátiles
STF	Sólidos Totales Fijos	AT	Alcalinidad Total
STV	Sólidos Totales Volátiles	AI	Alcalinidad Intermedia
SST	Sólidos Suspendidos Totales	CE	Conductividad Eléctrica
SSF	Sólidos Suspendidos Fijos	AEM	Actividad Específica Metanogénica
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles		

REFERENCIAS

- Alphenaar, A. (1994).*PhD thesis Landbouwuniversiteit* . Wageningen, The Netherlands.
- APHA (1989) 17th Edition, Washington , D. C.
- Dutch Standard Methods, The Netherlands (1997).
- Eng, F. (1990) Memorias del II Seminario Internacional Sobre Azúcar y Derivados. Palacio de las Convenciones, La Habana, Cuba.
- García A. y col (1979) Revista Sobre los Derivados ICIDCA. XII (1,2 y 3):94
- Grotenhuis et al. (1992) *Applied and Environmental Microbiology*, 58, 3, 1054-1056.
- ICIDCA – IPROYAZ (1998) Instrucciones para la puesta en marcha. Informe interno para los operadores
- ICIDCA (1995) Tarea Técnica Informe interno para proyectistas:
- Kato, M. T. *PhD thesis Landbouwuniversiteit* . Wageningen, The Netherlands.
- Lettinga G. (1991) *Water Sci. Technol* 24, 87-107.
- Lettinga, G. (1984) *Biotechnol. G. Eng. Rev*., 2, 253-84.
- McCarty P. (1664a) Public Works for September (Part one)
- McCarty P. (1664b) Public Works for November (Part three)
- Obaya M. C. y col (2002) Tecnología del Agua, Vol. 227, Agosto 2002
- Obaya M. C. y col (2002) Tecnología del Agua, Vol. 231, Diciembre
- Obaya M. C. y col. (1988) Revista. ICIDCA. vol. XXII No. 2. p. 18 .

- Obaya M.C. y col. (2003) Tecnología del Agua, Vol. 232, Enero
- Ramos J. y col. (1994) Acta Biotechnol. 14 3, 283-292.
- Valdés (2003) Asesoría Rápida P+L. (aceptado para publicar en Tecnología del Agua)
- Valdés E. (1985) ICIDCA XIX (1): 7
- Valdés E. y otros (2003) Asesoría Rápida (aceptada para publicar en Tecnología del Agua)
- Valencia R. (2002) Trabajo de Diploma ISPJAE
- Wolmarans B. (2003) Water Utilization Div., Department Chemical Eng., Univ. Of Pretoria 0001, South Africa.

DECOLORACIÓN DE EFLUENTES DE DESTILERÍA MEDIANTE EL TRATAMIENTO CON UNA CEPA CUBANA DE HONGO DE PODREDUMBRE BLANCA.

DISTILLERY WASTEWATER DECOLORIZATION BY THE TREATMENT USING A CUBAN STRAIN OF WHITE-ROT FUNGI.

Tania González[1], María C. Terrón[2], Susana Yagüe[2], Ernesto Zapico[2], Guido C. Galletti[3] and Aldo E. González[2]*

[1] ICIDCA, Instituto Cubano de los Derivados de la Caña de Azúcar. Via Blanca 804 esq. Carretera Central, Apdo. 4026. C.P. 11000. La Habana, Cuba. tania@icidca.edu.cu
[2] Centro de Investigaciones Biológicas, CSIC, Velázquez 144, E-28006, Madrid, Spain.
[3] Analytical Group of Chromatography Mass Spectrometry. Department of Chemistry "G. Ciamician", University of Bologna. Via F. Selmi 2, I-40126 Bologna, Italy.

RESUMEN

Los efluentes de las destilerías, generados por la producción de alcohol a partir de la fermentación de las melazas de caña de azúcar, tienen un gran impacto ecológico debido a su alto contenido de materia orgánica soluble e intenso color marrón oscuro. Tomando como premisa la bien conocida capacidad de los hongos de podredumbre blanca para degradar una amplia gama de contaminantes orgánicos, se evaluó la capacidad de *Trametes* sp. I-62 para detoxificar este tipo de efluentes. Se aplicó la pirólisis/cromatografía de gases/espectroscopía de masas a la caracterización química de varias fracciones de los efluentes de una destilería cubana, así como al monitoreo de los cambios ocurridos después del tratamiento con este basidiomiceto. Los máximos valores de decoloración y disminución de la DQO después de 7 días de tratamiento fúngico fueron de 73.3 y 61.7 %, respectivamente, cuando se adicionó un 20 % de vinazas al medio de cultivo. Bajo estas condiciones se midió un aumento de 35 veces en la producción de lacasas por *Trametes* sp. I-62, pero no se detectó actividad manganeso peroxidasa. La pirólisis/cromatografía de gases/espectroscopía de masas mostró una disminución en el número de productos de pirólisis después de 7 días de tratamiento con el hongo, principalmente de los derivados furánicos. La disminución el las áreas relativas de estos compuestos podría estar relacionada con la remoción del color de la vinaza asociada a la degradación de las melanoidinas. Todos estos resultados avalan el potencial de *Trametes* sp. I-62 para la detoxificación de las recalcitrantes vinazas de destilería.

ABSTRACT

Distillery wastewaters generated by ethanol-production from fermentation of sugarcane molasses, named vinasses, lead to an important ecological impact due to their high content in soluble organic matter and intense dark-brown color. Taking advantage of the well-known ability of white-rot fungi to degrade an extensive variety of organic pollutants, the capacity of *Trametes* sp. I-62 (CECT 20197) to detoxify this type of effluents was evaluated. In this work, pyrolysis/gas chromatography/mass spectrometry was applied to the chemical characterization of several fractions of Cuban distillery wastewater as well as to monitoring the changes occurred after fungal treatment with this white-rot basidiomycete. Maximum effluent decolorization values and chemical

oxygen demand reduction attained after seven days of fungal treatment were 73.3 and 61.7%, respectively, when a 20% (v/v) of distillery vinasse was added to the culture medium. Under these conditions a 35-fold increase in laccase production by *Trametes* sp. I-62 was measured, but no manganese peroxidase activity could be detected. The pyrolysis/gas chromatography/mass spectrometry results showed a decrease in a number of pyrolysis products after seven days of fungal treatment, mainly furan-derivatives. The decrease in the relative areas of these compounds could be related with the vinasse color-removal associated to melanoidin degradation. All these results indicated the potential use of *Trametes* sp. I-62 in the detoxification of recalcitrant distillery vinasses.

Palabras clave: lacasas, Pi/CG/EM, decoloración, vinazas
Key words: laccases, Pi/GC/ME, decolorization, vinasses

INTRODUCCIÓN

Las melazas son derivados de la producción de azúcar con un alto contenido de carbohidratos (cerca del 50 %). Se usan como fuente de carbono económica en muchos procesos de fermentación industrial como la producción de levadura panadera, de aminoácidos y de alcohol, etc. El efluente final derivado de la fermentación alcohólica de las melazas se conoce como vinaza. Tiene un importante impacto medioambiental debido a su alta demanda química de oxígeno (DQO) y a su color marrón oscuro. De hecho, las vinazas representan un serio problema para la industria de producción de etanol (Cortez y col., 1997) y son considerados como el derivado más agresivo al medio ambiente de los generados por los centrales azucareros.

El color intensamente oscuro de las vinazas se debe fundamentalmente a la presencia de melanoidinas, que son compuestos de alto peso molecular formados por las reacciones de oscurecimiento no enzimático entre azúcares y aminoácidos (Cortez y col., 1997) (reacción de Maillard), y por la presencia de caramelos (Kort, 1979), que se producen por reacciones de degradación térmica y condensación de azúcares (Valdez y Obaya, 1988). La mayor parte de la materia orgánica presente en las vinazas puede disminuirse mediante métodos convencionales de digestión anaerobia-aerobia, pero el color es difícilmente removido mediante estos tratamientos (Sheehan y Grienfield, 1980; Valdez y Obaya, 1985). El color oscuro remanente es, por tanto, un contaminante potencial del agua debido a que puede bloquear el paso de luz en ríos y lagos impidiendo la oxigenación mediante fotosíntesis, en detrimento de la vida acuática. Por todas estas razones es necesario continuar la búsqueda de procesos biotecnológicos alternativos que permitan una remoción efectiva del color de las vinazas.

Los hongos basidiomicetos de podredumbre blanca están generando un notable interés debido a su gran capacidad para degradar una gran diversidad de compuestos xenobióticos persistentes en el medioambiente (Hammel, 1982; Field y col., 1993). El complejo e inespecífico sistema ligninolítico secretado por estos hongos parece estar implicado en la degradación de una gran variedad de materiales naturales y sintéticos como la lignina (Kirk y Farrel, 1987; Hatakka, 1994), ácidos húmicos (Blondeau, 1989; Dehorter y Blondeau, 1992), melanoidinas Dehorter y Blondeau, 1993; Guimaraes y col., 1996; Miyata y col., 1998), hidrocarburos policíclicos aromáticos (Field y col., 1992), taninos (Bhat y col., 1998) y clorofenoles (Roy-Arcand y Archibald, 1991). Su bien conocida habilidad para degradar completamente la lignina ha sido investigada para el uso potencial en muchas aplicaciones biotecnológicas relacionadas con la biorremediación del medio ambiente (Aust, 1990) y el tratamiento de efluentes de la industria papelera Archibald y col., 1990; Terron y col., 1993; Garg y Modi, 1999). Además, algunos basidiomicetos de podredumbre blanca parecen ser organismos muy prometedores para la detoxificación de efluentes industriales mediante un sistema de degradación de compuestos fenólicos de bajo peso molecular mediado por lacasas Bollag y col., 1988).

En los últimos años se han reportado varios estudios en relación con el tratamiento biológico y la decoloración de los efluentes de destilería utilizando varios hongos de podredumbre blanca y hongos filamentosos (Guimaraes y col., 1996; Ohmomo y col., 1987; Fitzgibbon y col., 1995; Gonzalez y col., 1999). Recientemente se ha reportado la degradación activa de ácidos húmicos por *P. chrysosporium*, la mineralización de melanoidinas por *T. versicolor* y *T. hirsutus*, así como las enzimas ligninolíticas que parecen estar implicadas en estos procesos biológicos Blondeau, 1989; Dehorter y Blondeau, 1992; Dehorter y Blondeau, 1993; Miyata y col., 1998.
El hongo de podredumbre blanca *Trametes* sp. I-62 (CECT 20197) se seleccionó en nuestro laboratorio a partir de diferentes basidiomicetos aislados de madera podrida en Cuba. Esta cepa produce lacasas y pequeñas cantidades de manganeso peroxidasa (MnP) Mansur y col., 1997). Además, Mansur y colaboradores han clonado 3 de los genes de lacasa de este hongo Mansur y col., 1997; Mansur y col., 1998). Su aplicación potencial en la detoxificación biológica de efluentes de destilería, y la posible implicación del sistema ligninolítico, se evalúan en este trabajo.
La pirólisis/cromatografía de gases/espectroscopía de masas (Pi/CG/EM) es una técnica de gran utilidad para el análisis de una gran variedad de compuestos orgánicos y biopolímeros naturales como lignina de diverso origen Ralph y Hatfield, 1991; Fidalgo y col., 1993 y ácidos húmicos Almendros y col., 1993; Shulten, 1994; Fabbri y col., 1998. Requiere de pequeñas preparaciones de muestra y proporciona simultáneamente datos de diferentes clases de compuestos (ej., azúcares, derivados fenólicos, proteínas, etc.). En el presente trabajo se aplicó la Pi/CG/EM a la caracterización química del efluente de una destilería de alcohol en Cuba que utiliza melazas de caña de azúcar como materia prima. Los cambios químicos que ocurren después del tratamiento con *Trametes* sp. I-62 también se monitorearon con el fin de evaluar el uso potencial de este hongo en la descontaminación de estos recalcitrantes residuos industriales.

MATERIALES Y METODOS

Efluente

Se utilizó el efluente final de la destilación de etanol a partir de melazas de caña de azúcar de una destilería de La Habana, Cuba. Se realizó la caracterización preliminar que incluyó la determinación de pH, unidades de color (CPPA, 1974), demanda química de oxígeno (DQO) (Standard Methods, 1989), sólidos totales y sólidos en suspensión (Standard Methods, 1989).
Se obtuvieron diferentes fracciones del efluente como se indica a continuación. El efluente se centrifugó (17210 x g, 15 min) para separar los sólidos en suspención (SS). Es bien conocido que la concentración de los carbohidratos en las melazas de caña de azúcar, y por tanto en el efluente es muy alta (Editorial Científico Técnica, 1986). Por esta razón se obtuvieron dos fracciones adicionales a partir del sobrenadante por precipitación con metanol (1:1, v/v) durante 24 h a 4°C en agitación, seguida de centrifugación: el precipitado constituyó la fracción rica en polisacáridos (RP), y el sobrenadandante, la fracción libre de polisacáridos (LP). Los restos de metanol en la última se separaron mediante rotoevaporación al vacío. Todas estas fracciones se liofilizaron para ser analizadas mediante Pi/CG/EM.

Condiciones de cultivo y tratamiento biológico

Trametes sp. I-62 había sido aislado a partir de madera podrida en Pinar del Río, Cuba Mansur y col., 1997). El hongo fue cultivado en placas de agar con medio Czapeck modificado Guillén y col., 1990) durante siete días a 28°C. Se cortaron ocho fragmentos (1 cm^2) y se inocularon en condiciones estériles en frascos erlenmeyer de 500 ml que contenían 300 ml del mismo medio de cultivo y cuatro bolas de vidrio de 1.5 cm de diámetro. Después de la incubación durante 24 h a 28°C en un agitador orbital (100 rpm) se transfirió un inóculo de 1:10 (v/v) a frascos de 250 ml que contenían 75 ml de medio Kirk (Kirk y col., 1986) y 20 % (v/v de concentración final) del efluente de destilería, que se añadió desde el inicio de la incubación. La composición del medio Kirk es

brevemente como sigue: D-glucosa 10 g/l; tartrato de amonio (0.2 g/l) (ambos de Merck, Darmstadt, Alemania); solución de elementos traza; y alcohol veratrílico (4 mM de concentración fina; Aldrich, Deisenhofen, Alemania). El pH final de la mezcla fue aproximadamente 4, el cual es óptimo tanto para el crecimiento del hongo como para la producción de lacasas. Las muestras se incubaron durante 7 días en las mismas condiciones de temperatura y agitación descritas anteriormente.

Optimización de la decoloración del efluente y de la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO)

Se optimizó la decoloración y la reducción de la DQO del efluente final con *Trametes* sp. I-62 mediante el uso de diversas condiciones de cultivo que incluyeron dos concentraciones diferentes de tartrato de amonio como fuente de carbono y la adición o no de alcohol veratrílico; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ o D-glucosa (excepto el alcohol veratrílico todos los reactivos fueron de Merck, Darmstadt, Alemania). Se probó además, la adición del efluente industrial a diferentes tiempos de incubación del hongo (días 0,2 ó 4) (resultados no mostrados). Las muestras escogidas para Pi/CG/EM fueron aquellas que produjeron los mejores resultados de decoloración y reducción de la DQO, y correspondieron a las condiciones del medio Kirk descritas anteriormente (ver sección "Condiciones de cultivo y tratamiento biológico").

Ensayos analíticos realizados a las muestras bióticas y abióticas del efluente

Se midieron las unidades de color y la DQO en los controles abióticos y en las muestras tratadas con el hongo, después de siete días de incubación. Las muestras de efluente tratadas se filtraron previamente a través de un filtro Miracloth (Calbiochem-Novabiochem, La Jolla, Canada) para eliminar el micelio del hongo. El experimento se desarrolló en triplicado.

Con el objetivo de reducir su interferencia en los pirogramas los polisacáridos fúngicos secretados por *Trametes* sp. I-62 al medio extracelular se precipitaron con metanol 1:1 (v/v) y se separaron como se describe en la sección "Efluente" de Materiales y métodos. Los controles abióticos también se precipitaron de la misma manera con fines comparativos. Las muestras bióticas y abióticas se liofilizaron y pirolizaron. Se nombraron como MEC (muestra de efluente control) y MET (muestra de efluente tratado).

Es importante destacar que todos los intentos para determinar proteínas totales y actividad manganeso Peroxidasa en el medio extracelular fracasaron debido a la gran interferencia del color oscuro del efluente. Sin embargo, fue posible medir la producción de actividad lacasa extracelular producida por el hongo (ver a continuación). En este caso la interferencia del color se eliminó mediante la dilución de hasta 200 veces de las muestras tratadas.

Determinación de la actividad lacasa

La actividad lacasa, también conocida como fenoloxidasa (EC 1.10.3.2) se determinó en el medio extracelular de los cultivos fúngicos mediante el método de Wolfenden y Willson (1982), utilizando ABTS (2,2'-azinobis-3-etilenbenzotiazolina-6-sulfonato) como sustrato. Una unidad de actividad lacasa se define como la formación de 1 µmol de producto por minuto.

Condiciones de pirólisis/cromatografía de gases/espectroscopía de masas

Las muestras de 1 mg se pirolizaron a 600°C durante 5 s mediante un pirolizador con filamento de platino CDS Pyroprobe 1000 con colector de muestras de cuarzo (Chemical Data System, Oxford, PA, USA), en interfase con un sistema CG/EM (temperatura de la interfase 150°C), consistente en un cromatógrafo capilar de gases Varian 3400 (Varian Analytical Instruments, Walnut, Creek, USA) acoplado mediante una línea de transferencia a un espectrómetro de masas Finnigan MAT 800 con detector por captura de iones (Finnigan MAT, Palo Alto, CA, USA). El cromatógrafo de gases (Supelco SPB-5, columna: 30 m x 0.32 mm i.d.; 0.25 µm de grosor de la película; Supelco, Bellefonte, PA, USA) se programó desde 50 a 250°C a 5°C min^{-1} manteniendo la temperatura inicial durante 10 min. Las temperaturas del inyector y de la línea de transferencia fueron 250 y 230°C,

respectivamente. El gas utilizado fue helio (1 ml min^{-1}) y la relación de split se fijó en 1/20. El espectro de masas por impacto de electrones (1 scan s^{-1}) se obtuvo a 70 eV desde 40 *m/z* hasta 350 u Terron y col., 1993).
La identificación de los productos de pirólisis se basó en la interpretación de su espectro de masas y en la comparación con la base de datos del programa Mágnum para CG/EM (Finnigan MAT, Palo Alto, CA, USA) y con los datos de Pi/CG/EM reportados en la literatura (Ralph y Hatfield, 1991; Pouwels y col., 1989; Chiavari y Galletti, 1992). La cuantificación de las muestras se expresó como áreas de los picos, en porciento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del efluente

Las características físicas del efluente final derivado de la fermentación alcohólica industrial de las melazas de caña de azúcar presentaron una notable variabilidad en dependencia fundamentalmente de la materia prima y de las condiciones de cultivo GEPLACEA, 1990.
De acuerdo a nuestra caracterización preliminar, la vinaza estudiada es un líquido marrón oscuro que tiene las siguientes características físico-químicas: pH ácido (4.1); 60923 +/- 100 unidades de color; 55.5 +/- 1.2 g/l DQO; 52.4 +/- 0.8 g/l sólidos totales y 12.8 +/- 0.2 g/l sólidos en suspensión. Se ha realizado el estudio profundo acerca de la composición química de las melazas de caña de azúcar cubanas durante varios años (1965-1980), así como una caracterización general de los residuos de destilería (vinazas) Editorial Científico Técnica, 1986). También se ha publicado recientemente un estudio que abarca la composición, propiedades y usos de las melazas de caña de azúcar Otero, 1997).

Caracterización de las fracciones de efluente mediante pirólisis/cromatografía de gases/espectroscopía de masas

Fracción sólidos en suspensión. Los principales productos de pirólisis detectados en los sólidos en suspensión (SS) fueron la hidroxipropanona (**1**), el metilbenceno (**4**), el fenol (**18**) y el metoxifenol (**21**) (Tabla 1). Los compuestos 4 y 21 se detectaron exclusivamente en esta fracción, así como el *p*-cloroanisol? (**22**), el metilbezaldehído (**23**), el indol (**25**) y el metilindol (**28**). La mayoría han sido reportados como productos de pirólisis de distintos aminoácidos: el metilbenceno, de la fenilalanina; el indol y el metilindol, del triptofano; y, finalmente, el fenol y el metilfenol, del aminoácido tirosina (Chiavari y Galletti, 1992; GEPLACEA, 1990). La presencia de todos estos compuestos en esta muestra puede derivarse de los aminoácidos presentes en las melazas a partir de restos de células de levadura que permanecen en el efluente después de la fermentación alcohólica.
A pesar de que la hidroxipropanona no es un buen compuesto diagnóstico debido a su bajo peso molecular, ha sido reportada como un producto de deshidratación del glicerol (Fleckestein y col., 1993) y como un producto típico de la hidrólisis de carbohidratos Pouwels y col., 1989). El glicerol representa del 5 al 6 % del peso seco de las vinazas Editorial Científico Técnica, 1986).
La existencia de compuestos derivados de carbohidratos Pouwels y col., 1989) como el alcohol furfurílico (**10**) y la 2,3-dihidro-5-metlfuran-2-ona (**16**) o de compuestos derivados de la lignina Terron y col., 1993; Ralph y Hatfield, 1991; Terron y col., 1993), como el 4-vinilguayacol (**26**) y el siringol (**27**) podría explicarse por la presencia de fragmentos de caña de azúcar en la fracción sólidos en suspensión del efluente de destilería. Además la presencia de los furanos mencionados podría explicarse también por su presencia en las melazas GEPLACEA, 1990 así como por la degradación en la pirólisis de los azúcares no fermentados presentes en las melazas originales Editorial Científico Técnica, 1986, o incluso, por la degradación térmica de las melanoidinas, como han reportado Rogacheva y colaboradores Rogacheva y col., 1998. Por otra parte, el 4-vinilguayacol ha sido descrito como un producto de pirólisis del ácido ferúlico, uno de los dos ácidos sinámicos presentes en en las paredes vegetales de las gramíneas como la caña de azúcar Terron y col., 1993;

Tabla I: Productos de pirólisis de diferentes fracciones de efluente de destilería y de las muestras control y tratadas con el hongo, las dos últimas suplementadas con 20% de efluente.

				Area Relativa*				
No.	**Nombre**	**Scan**	**PM**	**MET**	**MEC**	**SS**	**LP**	**RP**
1	Hidroxipropanona	72	74	4.6	7..3	10.5	11.1	12.4
2	2-Metilhexano	79	100	1.4	1.6	-	2.2	1.1
3	2,5-Dimetilfurano	84	96	4.1	8.2	-	6.5	3.1
4	Metilbenceno (Tolueno)	110	92	-	-	5.4	-	-
5	Acido butenoico	114	86	-	-	-	-	1.8
6	3-Hidroxipropanal?	119	86	-	-	-	-	2.6
7	Desconocido	125	-	1.0	trazas	-	-	1.1
8	2-Etil-5-metilfurano (isómero)	130	110	0.7	1.1	-	-	-
9	Desconocido	153	-	5.7	3.3	2.1	4.4	4.1
10	Alcohol furfurílico	179	98	0.4	0.8	1.9	-	-
11	2-Hidroximetilfurano	192	98	1.1	1.1	-	1.0	1.3
12	Furfural	211	96	0.8	0.8	-	-	-
13	Vinylbenceno (Estireno)	221	104	-	-	-	1.0	-
14	2,4-Dimetilfurano	245	96	0.6	0.5	-	1.3	0.7
15	2-Etil-5-metilfurano	254	110	1.0	1.3	-	-	-
16	2,3-Dihidro-5-metilfuran-2-ona	284	98	0.9	1.5	1.2	-	1.5
17	5-Metil-2-furfuraldehído	370	110	3.7	2.6	-	-	0.6
18	Fenol	472	94	2.4	trazas	2.5	-	-
19	Desconocido	555	-	2.8	trazas	-	3.6	-
20	2-Metoxifenoll (Guayacol)	832	124	1.7	1.9	-	2.7	-
21	Metilfenol	834	108	-	-	2.8	-	-
22	*p*-Cloroanisol?	1052	142	-	-	2.0	-	-
23	Metilbenzaldehído	1194	120	-	-	1.1	-	-
24	5-Hidroximetil-2-furfuraldehído (impuro)	1208	126	10.5	7.6	-	-	-
25	Indol	1307	117	-	-	0.9	-	-
26	4-Vinil-2-metoxifenol (4-Vinilguayacol)	1343	150	-	-	0.6	0.8	0.8
27	2,6-Dimetoxifenol (Siringol)	1411	154	-	-	0.4	1.4	-
28	Metilindol	1467	131	-	-	0.8	-	-
29	Alcohol 3,4-dimetoxibencílico	1658	168	1.3	2.3	-	-	-
30	2-Hidroxi-3-metoxi-fenil propanol	1865	182	1.2	trazas	trazas	trazas	trazas
31	*Trans*-2-Tridecenal	1909	196	0.4	0.6	0.2	0.9	-
32	1-Hexadecanol	2171	242	0.4	trazas	-	0.7	-
33	Acido palmítico	2276	256	0.6	1.4	1.1	0.9	0.9

*Areas relativas. La diferencias respecto al 100 % corresponden compuestos minoritarios desconocidos.

Nomenclatura de las muestras: MET= Muestra de Efluente Tratada; MEC= Muestra de Efluente Control; SS= Sólidos en Suspensión; FLP= Fracción Libre de Polisacáridos; FRP= Fracción Rica en Polisacáridos

Ralph y Hatfield, 1991. Otero (1997) ha descrito también la presencia de ácido ferúlico en las melazas de caña de azúcar. El ácido palmítico (**33**) en la muestra SS podría provenir de células de levadura o de las melazas de caña de azúcar originales, en las que se han reportado este y otros ácidos grasos (Otero, 1997).
Los productos de pirólisis derivados de aminoácidos y fenoles observados en la fracción SS fueron notablemente más abundantes que los carbohidratos y que los derivados de alquilo, lo que apoya la hipótesis de la presencia de células de levadura y de pequeños fragmentos de caña de azúcar en esta muestra. Células de levadura y residuos de caña de azúcar se habían detectado en algunas fracciones del efluente de destilería mediante las señales espectroscópicas características de la celulosa, lípidos y de aminoácidos detectadas mediante RMN y IRTF Benke y col., 1998).
En general, los ácidos húmicos y las melanoidinas comparten una serie de características químicas comunes: son similares en la composición elemental, en las características espectroscópicas y en su estabilidad en el medio ambiente (Blondeau, 1989). Además, estos compuestos macromoleculares tienen una estructura aleatoria y polidispersa en cuanto al peso molecular Gomyo y col., 1972). Respecto a estas similitudes, se observó que mucho de los compuestos detectados en la muestra SS también habían sido descritos como productos de pirólisis de los ácidos húmicos Fabbri y col., 1998). Este fue el caso del metilbenceno, fenol, metilfenol, indol, 4-vinilguayacol, siringol y del ácido palmítico.

Fracción libre de polisacáridos. Los compuestos más importantes de la fracción libre de polisacáridos (LP) fueron la hidroxipropanona (**1**) y el 2-metilfurano (**3**) (Tabla 1). Otros productos minoritarios de la pirólisis de carbohidratos detectados en esta fracción fueron el 2-hidroximetilfurano (**11**) y el 2,4-dimetilfurano (**14**). Como se mencionó anteriormente, los compuestos con unidades estructurales características de furanos podrían derivarse de las melazas, o de la pirólisis de las melanoidinas o de carbohidratos de bajo peso molecular de las melazas originales.
Una serie de metoxifenoles diagnósticos como el guayacol (**20**), el 4-vinilguayacol (**26**) y el siringol (**27**) fueron encontrados en la fracción LP. Una amplia gama de precursores de la lignina de bajo peso molecular derivados de tejidos de plantas han sido encontrados en los efluentes de destilería Fitzgibbon y col., 1995).
Los carbohidratos y los productos de pirólisis del fenol fueron los principales componentes de esta fracción. Algunos compuestos alquílicos de cadena larga estuvieron presentes en menor proporción, representados por el *trans*-2-tridecenal (**31**), el 1-hexadecanol (**32**) y el ácido palmítico (**33**). Estos compuestos han sido descritos como derivados de los lípidos Fabbbri y col., 1998. Además, trazas de una serie de compuestos con espectro de masas típico de alcanos fue detectada en todas las muestras estudiadas.
El estireno (**13**), un producto de la pirólisis de la fenilalanina Stankiewicz y col., 1997), fue el único derivado de aminoácidos detectado en la fracción LP y fue detectado sólo en esta muestra. También ha sido reportado a partir de la pirólisis de los ácidos húmicos (Fabbri y col., 1998).

Reacción rica en polisacáridos. Como en el resto de las fracciones de efluente, la hidroxipropanona fue el compuesto más abundante en la fracción rica en polisacáridos (RP) (Tabla 1). Otro pico fundamental correspondió al compuesto que eluyó al scan 153, que fue también muy abundante en todas las muestras analizadas, incluyendo las diferentes fracciones del efluente control y de la muestra tratada con el hongo. El espectro de masas de este compuesto desconocido fue: (108 (35), 97 (65), 96 (35), 95 (98), 83 (100), 82 (40) 81 (25) 53 (33).
Compuestos realcionados con los furanos, detectados en esta fracción fueron: 2,5-dimetilfurano (**3**), 2-hidroximetilfurano (**11**), 2,4-dimetilfurano (**14**), 2,3-dihidro-5-metilfuran-2-ona (**16**) y 5-metil-2-furfuraldehído (**17**). Otros componentes como fenoles, aminoácidos y productos alquílicos estuvieron pobremente representados en esta fracción.

Efluente tratado con el hongo

Resultados de decoloración y demanda química de oxígeno. Como se mencionó anteriormente, los métodos convencionales de tratamiento anaerobio-aerobio no son efectivos en la remoción del color de las vinazas. Sin embargo, después de siete días de tratamiento con *Trametes* sp. I-62 se alcanzó una disminución del color del 73 % en relación al color original. A pesar de que este hongo produce polisacáridos, es importante destacar que no se observó color asociado al micelio o a estos polisacáridos después de la precipitación con fenol y de la centrifugación. Por esta razón la remoción del color puede atribuirse a la degradación y no a un simple fenómeno físico. Además, la reducción de la DQO alcanzada después de siete días de tratamiento fue del 61.7 %.
Un estudio previo en relacionado con la decoloración de este mismo tipo de efluentes, usando la misma cepa fue desarrollado por Mansur y colaboradores (1997). En este caso se añadió la misma concentración final de efluente, no al inicio de la incubación, sino después de 5 días de crecimiento fúngico, momento en el que se detectaron altos niveles de actividad lacasa en el medio extracelular. El máximo valor de decoloración alcanzado fue 60 % el día 8 de cultivo, y no se produjo decoloración adicional durante una incubación más prolongada (12 días). Este valor de decoloración fue menor que el alcanzado en nuestras condiciones.
En los últimos años se han utilizado diferentes hongos ascomicetos y basidiomicetos en la decoloración de melanoidinas naturales y sintéticas en relación con la reducción del color de efluentes de destilería. Se desarrollaron varios estudios con *Trametes versicolor* para optimizar las condiciones de cultivo con vistas a lograr la máxima reducción del color y de la DQO de las vinazas de destilería. Los mejores resultados en cuanto a la eliminación de color y disminución de la DQO fueron 82 y 77 %, respectivamente. Otros ensayos de decoloración de este tipo de efluentes con los ascomicetos *Aspergillus niger* y *A. fumigatus* produjeron valores de 69 y 60 % de decoloración, respectivamente.

Comparación del efluente de destilería control y tratado, mediante Pi/CG/EM
En este punto debe indicarse que la muestra de efluente control (MEC) y la muestra de efluente tratada con el hongo (MET), consistieron en medio Kirk suplementado al 29 % con efluente de destilería. Por este motivo debía esperarse la presencia de dos tipos de productos de pirólisis: aquellos presentes en las diversas fracciones del efluente (SS; RP; LP) y aquellos provenientes del medio Kirk y, por tanto, detectados en la MEC y en la MET. Tampoco debe descartarse la posibilidad de que algunos de estos compuestos se derivaran de cambios químicos en los componentes del efluente después de la esterilización a bajo pH y alta temperatura. Por ejemplo, el 2-etil-5-metilfurano (isómero) (**8**), el furfural (**12**), el 2-etil-5-metilfurano (**15**) y el 5-hidroximetil-2-furfuraldehído (**24**) fueron detectados sólo en las muestras MEC y MET (Tabla 1), indicando que se derivan probablemente de la fuente de carbono (glucosa 10 g/l), sin descartar posibles cambios ocurridos en la esterilización del efluente. Además, el alcohol veratrílico deriva inequívocamente del mismo compuesto adicionado al medio de cultivo. El resto de los componentes de estas dos muestras estuvieron presentes también en las diversas fracciones del efluente.
Aunque todos los compuestos detectados en la MET también se observaron en la MEC, las áreas de los picos de siete de loa 24 compuestos detectados en el control disminuyeron en la muestra tratada con el hongo; ocho de ellos aumentaron y nueve se mantuvieron en la misma proporción. Los siete picos cuyas áreas relativas disminuyeron en la muestra tratada, y el porciento de reducción alcanzado fueron, respectivamente: la hidroxipropanona (**1**) (37 %); el 2,5-dimetilfurano (**3**) (50 %); el alcohol furfurílico (**10**) (50 %); el 2-etil-5-metilfurano (**15**) (44 %); la 2,3-dihidro-5-metilfuran-2-ona (**16**) (38 %); el alcohol veratrílico (**29**) (43 %); el ácido palmítico (**33**) (57 %) (Tabla 1; Fig. 1).
El pico identificado como 2-etil-5-metilfurano (**15**) estuvo presente sólo en las muestras MEC y MET, y por lo tanto pudo derivarse probablemente de la glucosa del medio Kirk; sin embargo, el 2,5-dimetilfurano (**3**), el alcohol furfurílico (**10**) y la 2,3-dihidro-5-metilfuran-2-ona (**16**) también se observaron en las fracciones de efluente y, por tanto, podrían derivarse de carbohidratos y

melanoidinas. Esto sugiere que *Trametes* sp. I-62 puede utilizar algunos componentes de las vinazas de destilería como fuente de carbono. De hecho, algunos experimentos recientes desarrollados en nuestro laboratorio han mostrado que: (1) este hongo es capaz de crecer en medio sólido con 90 % de efluente de destilería diluído con agua desionizada, sin la adición de ningún otro nutriente, y (2) el basidiomicete *Trametes* sp. I-62 no sólo es capaz de crecer en presencia exclusiva de melanoidinas sintetizadas a partir de glucosa y glicina, sino que también puede decolorarlas (datos no mostrados). Todas estas observaciones apoyan la hipótesis de que la disminución en las áreas relativas de estos compuestos derivados de furano podría estar relacionada con la remoción del color de las vinazas asociada con la degradación de las melanoidinas.

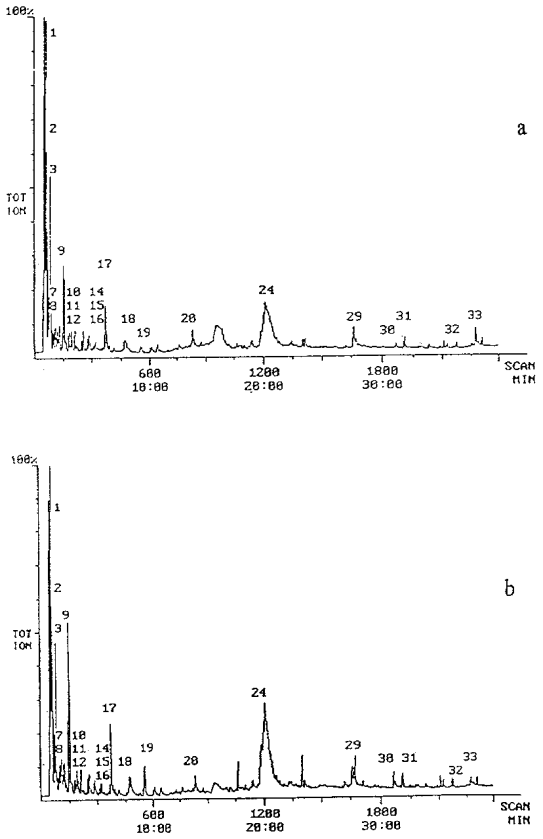


Figura 1. Pirogramas de muestras de medio Kirk suplementado con 20 % de efluente, antes (a) y después de siete días de tratamiento con *Trametes* sp. I-62 (b). La designación de los máximos se muestra en la Tabla 5.

Como se mencionó anteriormente, las áreas relativas de los picos de algunos compuestos se incrementaron en la muestra tratada con el hongo. Este fue el caso del 5-metil-2-furfuraldehído (**17**) y del 5-hidroximetil-2-furfuraldehído (**24**) cuyo incremento cuantitativo fue cercano al 30 %. Ambos son productos de la hidrólisis de carbohidratos y tienen un estado de oxidación más alto que aquellos compuestos cuyas áreas relativas disminuyeron (picos **3**, **10** y **16**). Esto podría indicar que estos compuestos oxidados representan un estadío intermedio en su proceso degradativo. En particular, el 2,5-dimetilfurano (**3**) puede oxidarse hasta 5-metil-2-furfuraldehído (**17**), que a su vez puede ser oxidado a 5-hidroximetil-2-furfuraldehído (**24**) (Fig. 1).

Es interesante un ligero incremento en el alcohol dihidroconiferílico (**30**) observado en la muestra tratada con el hongo. Este compuesto ha sido descrito en muestras de lignina de diverso origen (Ralph y Hatfield, 1991, Terron y col., 1996), lo que podría indicar una modificación de las trazas de lignina presentes en la muestra por el hongo.

El área del pico del ácido palmítico en la muestra de efluente tratada con *Trametes* sp. I-62 fue 50 % menor que la del efluente control, lo que sugiere que el hongo puede degradar este compuesto y utilizarlo en su metabolismo.

De acuerdo con la disminución en el área del alcohol veratrílico (43 %), se ha sugerido que este compuesto puede ser utilizado como fuente de carbono por *Trametes* sp. I-62. Un incremento de dos veces en la biomasa fúngica se alcanzó cuando se creció este basidiomiceto en preesencia de alcohol veratrílico, respecto al medio de cultivo control sin este compuesto (Mansur y col., 1997).

Por otra parte, el alcohol veratrílico es un bien conocido inductor del sistema ligninolítico de algunos hongos de podredumbre blanca, fundamentalmente de la lignina peroxidasa de *P. Chrysosporium* (Zapanta y Tien, 1997) Mansur y colaboradores (1997) reportaron recientemente que la actividad lacasa producida por el basidiomiceto *Trametes* sp. I-62 aumentó 10 veces en presencia de alcohol veratrílico 4 mM, respecto al medio basal sin este compuesto. La producción

Tabla I: Productos de pirólisis de diferentes fracciones de efluente de destilería y de las muestras control y tratadas con el hongo, las dos últimas suplementadas con 20% de efluente.

				Area Relativa*				
No.	**Nombre**	**Scan**	**PM**	**MET**	**MEC**	**SS**	**LP**	**RP**
1	Hidroxipropanona	72	74	4.6	7..3	10.5	11.1	12.4
2	2-Metilhexano	79	100	1.4	1.6	-	2.2	1.1
3	2,5-Dimetilfurano	84	96	4.1	8.2	-	6.5	3.1
4	Metilbenceno (Tolueno)	110	92	-	-	5.4	-	-
5	Acido butenoico	114	86	-	-	-	-	1.8
6	3-Hidroxipropanal?	119	86	-	-	-	-	2.6
7	Desconocido	125	-	1.0	trazas	-	-	1.1
8	2-Etil-5-metilfurano (isómero)	130	110	0.7	1.1	-	-	-
9	Desconocido	153	-	5.7	3.3	2.1	4.4	4.1
10	Alcohol furfurílico	179	98	0.4	0.8	1.9	-	-
11	2-Hidroximetilfurano	192	98	1.1	1.1	-	1.0	1.3
12	Furfural	211	96	0.8	0.8	-	-	-
13	Vinylbenceno (Estireno)	221	104	-	-	-	1.0	-
14	2,4-Dimetilfurano	245	96	0.6	0.5	-	1.3	0.7
15	2-Etil-5-metilfurano	254	110	1.0	1.3	-	-	-
16	2,3-Dihidro-5-metilfuran-2-ona	284	98	0.9	1.5	1.2	-	1.5
17	5-Metil-2-furfuraldehído	370	110	3.7	2.6	-	-	0.6
18	Fenol	472	94	2.4	trazas	2.5	-	-
19	Desconocido	555	-	2.8	trazas	-	3.6	-
20	2-Metoxifenoll (Guayacol)	832	124	1.7	1.9	-	2.7	-
21	Metilfenol	834	108	-	-	2.8	-	-
22	*p*-Cloroanisol?	1052	142	-	-	2.0	-	-
23	Metilbenzaldehído	1194	120	-	-	1.1	-	-
24	5-Hidroximetil-2-furfuraldehído (impuro)	1208	126	10.5	7.6	-	-	-
25	Indol	1307	117	-	-	0.9	-	-
26	4-Vinil-2-metoxifenol (4-Vinilguayacol)	1343	150	-	-	0.6	0.8	0.8
27	2,6-Dimetoxifenol (Siringol)	1411	154	-	-	0.4	1.4	-
28	Metilindol	1467	131	-	-	0.8	-	-
29	Alcohol 3,4-dimetoxibencílico	1658	168	1.3	2.3	-	-	-
30	2-Hidroxi-3-metoxi-fenil propanol	1865	182	1.2	trazas	trazas	trazas	trazas
31	*Trans*-2-Tridecenal	1909	196	0.4	0.6	0.2	0.9	-
32	1-Hexadecanol	2171	242	0.4	trazas	-	0.7	-
33	Acido palmítico	2276	256	0.6	1.4	1.1	0.9	0.9

*Areas relativas. La diferencias respecto al 100 % corresponden compuestos minoritarios desconocidos.

Nomenclatura de las muestras: MET= Muestra de Efluente Tratada; MEC= Muestra de Efluente Control; SS= Sólidos en Suspensión; FLP= Fracción Libre de Polisacáridos; FRP= Fracción Rica en Polisacáridos

de lacasas por el basidiomicete *Nematoloma frowardii* aumentó más de 15 veces por la adición de alcohol veratríilo 30 mM al medio de cultivo.53 Un incremento de dos veces en la decoloración y mineralización de los ácidos húmicos por de *P. chrysosporium* BKM-F1767 se observó mediante la adición de alcohol veratrílico (1.5 mM) al medio Kirk basal Dehorter y Blondeau (1992).

Actividad lacasa

En relación con nuestros ensayos previos de optimización realizados bajo diferentes condiciones de cultivo (alcohol veratrílico, tartrato de amonio,etc.), es importante destacar que las mejores condiciones de decoloración estuvieron correlacionadas con los más altos valores de actividad lacasa alcanzados (resultados no mostrados).

Existen diversos reportes que plantean que las fenoloxidasas tienen notables efectos detoxificantes Hammel, 1982); Scalbert, 1991. Bollag y colaboradores (1988) han explicado la adaptación del hongo a compuestos fenólicos tóxicos mediante la acción de una lacasa fúngica que permite la detoxificación por medio de la polimerización.

Algunos resultados recientes de nuestro laboratorio, relacionados con la decoloración de efluentes de la industria cervecera, sugieren un efecto tóxico de los polifenoles sobre el crecimiento del hongo productor de lacasas *Coriolopsis gallica*, y una posterior adaptación del hongo asociada a la polimerización de compuestos fenólicos Yague y col., 2000). Además, la producción de actividad lacasa por *C. gallica* aumentó 20 veces al añadir el efluente cervecero 40 % (v/v) al medio Kirk.

Mansur y colaboradores (1997) sugirieron que la actividad lacasa en *Trametes* sp. I-62 puede ser una respuesta adaptativa desarrollada por el hongo para oxidar los compuestos presentes en las vinazas de destilería, y por tanto, para disminuir su potencial efecto tóxico (Mansur y col., 1997; Thurston, 1994). En el presente estudio los valores de actividad lacasa producidos al séptimo día de incubación con *Trametes* sp. I-62 fueron 0.02 U/ml en medio Kirk y 0.7 U/ml en medio Kirk suplementado con 20 % de vinazas. Este notable incremento de 35 veces en los valores de actividad lacasa de los cultivos suplementados con efluente de destilería indican que algunos de los componentes de las vinazas podrían inducir un aumento en la producción de lacasas por *Trametes* sp. I-62. Mansur y colaboradores (Mansur y col., 1997) también observaron un ligero incremento (2 veces) de la actividad lacasa producida por este hongo al octavo día de tratamiento en medio de cultivo con 20 % de este efluente. El mayor incremento en la actividad lacasa, observado en las condiciones de nuestro estudio, correspondió también con un valor más alto de decoloración del efluente, lo que sugiere que la más alta producción de lacasas influye en la decoloración del efluente. Igualmente, un incremento significativo en la actividad lacasa ha sido también una observación frecuente en nuestro laboratorio cuando se han crecido diversos hongos basidiomicetos en otros tipos de efluentes industriales (Yague y col., 2000; Zapico, 1999).

Aunque el sistema enzimático relacionado con la decoloración de las melanoidinas no ha sido totalmente esclarecido, parece estar estrechamente relacionado con los mecanismos ligninolíticos de los hongos. Varios estudios relacionados con la degradación de las melanoidinas, los ácidos húmicos y compuestos relacionados, utilizando hongos basidiomicetes han sugerido la participación de al menos una lacasa en los hongos pertenecientes al género *Trametes* (*Coriolus*), al que pertenece la cepa en estudio. Por ejemplo, se ha reportado que *Trametes versicolor* es capaz de decolorar los ácidos húmicos derivados del carbón mediante la producción de grandes cantidades de lacasa y actividad peroxidasa cero o insignificante Fakkousa y col., 1999). Además, un estudio genético realizado con tres hongos basidiomicetes aportó una fuerte evidencia de que la información que codifica para la lacasa estaba presente, y que se expresaba en presencia de ácidos húmicos. Esto estuvo de acuerdo con las mediciones de la actividad enzimática Scheel y col., 1999). Nuestros resultados concuerdan con estos reportes.

Dehorter y Blondeau11 encontraron que *T. versicolor* degradaba de manera más efectiva los ácidos húmicos sintéticos que *P. chrysosporium*, a pesar del hecho de que no se encontró gran diferencia en cuanto a la actividad peroxidasa de ambos hongos. *Trametes versicolor* se reconoce como productor de otras enzimas, como las lacasas, que tienen una influencia relevante en la degradación

de la lignina o en el tratamiento de efluentes fenólicos, como ha sido sugerido por Thurston (1994). Además, se ha descrito una acción sinérgica entre la acción de la lacasa y la manganeso peroxidasa en el género *Trametes* (Thurston, 1994).

Un estudio sobre la decoloración de los ácidos húmicos utilizando nueve cepas de basidiomicetos mostró que la enzima dominante en el sobrenadante del cultivo era la lacasa, o la peroxidasa en dependencia de la cepa probada (Fakoussa y col., 1999).

Se han desarrollado diferentes estudios relacionados con la degradación de las melanoidinas y compuestos similares utilizando el hongo de podredumbre blanca *P. chrysosporium*. Uno de estos reportes fue realizado por Guimaraes y colaboradores (1996) quienes estudiaron la decoloración de varios compuestos coloreados presentes en el efluente de una refinería de azúcar. La decoloración ocurrió sólo cuando se detectó la actividad MnP en el medio extracelular, sugiriendo fuertemente la implicación de esta actividad enzimática en la degradación de los compuestos coloreados probados. Bajo las condiciones del estudio no se detectó ninguna actividad lignina peroxidasa. A diferencia de esto, un estudio sobre la biodegradación de ácidos húmicos naturales y sintéticos por dos cepas de *P. chrysosporium* mostraron la relación entre la actividad lignina peroxidasa y la biodegradación de los compuestos del humus. En ese trabajo no se estudiaron las actividades peroxidasa dependiente de manganeso (MnP) o independiente de manganeso (PIMn) Blondeau, 1989).

Durante los años ochenta se reportó el rol de otras enzimas además de las lacasas y las peroxidasas en la decoloración de las melanoidinas por cepas de *Coriolus* (*Trametes*). Varios estudios propusieron que enzimas intracelulares del tipo azúcar-oxidasa (sorbosa-oxidasa o glucosa-oxidasa) tenían actividad de decoloración de melanoidinas Watanabe y col., 1982; Aoshima y col., 1985). Se sugirió que las melanoidinas eran decoloradas por el oxígeno activo (O_2;H_2O_2) producido por la reacción con estas azúcar oxidasas (Watanabe y col., 1982). Además, la actividad de decoloración de melanoidinas en *Coriolus versicolor* Ps4a fue atribuída a enzimas intracelulares de dos tipos: azúcar-dependiente y azúcar-independiente Ohmomo y col., 1987). Aunque no se han realizados estudios profundos sobre este tema en la última década, no debe desestimarse la participación de estas enzimas productoras de peróxido de hidrógeno, como parte del complejo sistema enzimático relacionado con la degradación de melanoidinas en este hongo.

Miyata y colaboradores (1998) realizaron recientemente uno de los estudios enzimáticos más complejos sobre la decoloración de las melanoidinas. La remoción del color de melanoidinas sintéticas por *Coriolus hirsutus* implicó la participación de peroxidasas (MnP y PIMn), y del H_2O_2 producido por la glucosa-oxidasa, sin decartar una participación parcial de la lacasa fúngica. Bajo las condiciones estudiadas, nuestros resultados sugieren fuertemente el papel de las lacasas extracelulares producidas por *Trametes* sp. I-62 en la decoloración de las melanoidinas de las vinazas de destilería. Sin embargo, no debe descartarse una posible contribución de la MnO, PIMn, u otras actividades como las de las enzimas intracelulares productoras de H_2O_2. En este momento se desarrollan en nuestro laboratorio investigaciones genéticas adicionales para correlacionar la expresión selectiva de diferentes genes de lacasa en Trametes sp. I-62 y la decoloración de las vinazas y melanoidinas. También están en curso otros experimentos para investigar el papel de otras enzimas, del H_2O_2, y de algunos mediadores o inductores en la remoción del color.

Aunque parece estar estrechamente relacionado con las inespecíficas enzimas ligninolíticas de los hongos, el complejo sistema enzimático involucrado en la decoloración de melanoidinas y compuestos relacionados está lejos de ser esclarecido. Se requieren estudios adicionales sobre este tópico para dilucidar los mecanismos de degradación y permitir por tanto un mejoramiento en la eficiencia de la remoción del color, de gran importancia para aplicaciones biotecnológicas y medioambientales.

CONCLUSIONES

1. El tratamiento de las vinazas de destilería con la cepa *Trametes* sp. I-62 permite la degradación de numerosos compuestos presentes en las mismas y su decoloración.
2. La actividad lacasa de este basidiomiceto se induce notablemente en presencia de este tipo de efluente, lo que sugiere que puede desempeñar un papel importante en su degradación.

REFERENCIAS

1. Cortez LAB, Pérez LE. *Braz.* (1997) *J. Chem. Eng.* 14, 9.
2. Kort MJ. (1979) Colour in the Sugar Industry. Science and Technology (Birch GG de-& Parker KJ. Applied Science ed.), London, pp.97.
3. Valdéz E, Obaya MC. (1988) Aprovechamiento de residuales de la industria azucarera y derivados. (GEPLACEA eds.), Serie Diversificación, GEPLACEA, PNUD, pp 329.
4. Sheehan GJ, Grienfield PF. (1980), *Water Res*., 14, 257.
5. Valdéz E, Obaya MC. (1985), *Rev. ICIDCA* 19, 7-10.
6. Hammel KE. (1982) Oxidation of aromatic pollutants by lignin degrading fungi and their extracellular peroxidases. (Siegel H, Siegel A. eds.), "Metal ions in Biological Systems". Vol. 28. "Degradation of environmental pollutans by microorganisms and their metalloenzymes", New York, pp. 41.
7. Field JA, Jong E-de, Feijoo-Costa G, Bont JAM-de. (1993) *Trends Biotechnol*, 11, 44.
8. Kirk TK, Farrel RL. (1987), *Ann. Rev. Biochem* 41, 465-505.
9. Hatakka A. (1994), *FEMS Microbiol. Rev* 13, 125-128.
10. Blondeau R. (1989), *Appl. Environ. Microbiol* 55, 1282-1285.
11. Dehorter B, Blondeau R. (1992), *FEMS Microbiol. Lett.* 94, 209-216.
12. Dehorter B, Blondeau R. (1993), *FEMS Microbiol. Lett.* 109, 117-122.
13. Guimaraes C, Bento LSM, Mota M. (1996) Proceedings of the 6th International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry: Recent Advances in Applied and Fundamental Research. (Srebotnik E, Messner K. eds.), Vienna, Facultas-Univ.-Verl., ISBN 3-85076-405-2.
14. Miyata N, Iwahori K, Fujita M. (1998), *J. Ferment. Bioeng* 85, 550-553.
15. Field JA, Jong E-de, Feijoo-Costa G, Bont JAM-de. (1992), *Appl. Environ. Microbiol* 58, 2219.
16. Bhat TK, Bhupinder S, Sharma O. (1998), *Biodegradation* 9, 343.
17. Roy-Arcand L, Archibald FS. (1991), *Enzyme Microbiol. Technol.* 13, 194-203.
18. Aust SD. (1990) *Microb. Ecol*. 20, 197-209.
19. Archibald F, Paice MG, Jurasek L. (1990), *Enzymol. Microbiol. Technol*. 12, 846.
20. Terrón MC, Martín C, Manzanares P, Galletti GC, González AE. (1993), *Rapid Commun. Mass Spectrom*. 7, 659-661.
21. Garg SK, Modi DR. (1999), *Critical Rev. Biotechnol.* 19, 85-112.
22. Gold MA, Alic M. (1993), *Microbiol. Rev.* 57, 605-622.
23. Cullen D. (1997), *J. Biotechnol.* 53, 273-289.
24. Bollag JM, Shuttleworth KL, Anderson DH. (1988), *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 54, 3086-3091.
25. Ohmomo S, Kaneko Y, Sirianuntapiboon S, Somchai P, Atthasampunna P, Nakamura I. (1987), *Agric. Biol. Chem.* 51, 3339-3346.
26. Fitzgibbon FJ, Nigam P, Singh D, Marchant R. (1995), *J. Basic Microbiol.* 35, 293.
27. González Benito G, Peña Miranda M, Rodríguez de los Santos D. (1997), *Bioresource Technol.* 61, 33-37.
28. Mansur M, Suárez T, Fernández-Larrea J, Brizuela MA, González AE. (1997), *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 2637-2646.
29. Mansur M, Suárez T. González AE. (1998), *Appl. Environ. Microbiol.* 64, 771-774.

30. Ralph J, Hatfield RD. (1991), *J. Agric. Food Chem.* 39, 1426.-1437
31. Fidalgo ML, Terrón MC, Martínez AT, González AE, González-Vila FJ, Galletti GC. (1993), *J. Agric. Food Chem.* 41, 1621.
32. Almendros G, Martín F, González-Vila FJ, del Río JC. (1993), *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 25, 137.
33. Schulten H-R. (1994) Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health. (Senesi N, Miano TM eds.), Elsevier Science B.V, pp. 43.
34. Fabbri D, Mongardi M, Montanari L, Galletti GC, Chiavari G, Scotti R. *Fresenius* (1998), *J. Anal. Chem.* 362, 299-306.
35. *CPPA.*(1974) Technical section standard method H5P. Canadian Pulp and Paper Association. Montreal, Canada.
36. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. *(*17th edn.) (1989) (Clesceri LS, Greenberg AE, Trusel RR eds.), American Public Health Association. Washington D.C.
37. La industria de los derivados de la caña de azúcar. (1986) (Editorial Científico Técnica eds.), Havana.
38. Benke MB, Mermut AR, Chatson B. (1998), *Can. J. Soil. Sci.* 78, 227.
39. Guillén F, Martínez AT, Martínez MJ. (1990), *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 32, 465-469.
40. Kirk TK, Croan S, Tien M, Murtagh KE, Farrell RL. (1986), *Enzyme Microbiol. Technol.* 8, 27-32.
41. Wolfenden RS, Willson RL. (1982), *J.Chem. Soc. Perkin. Trans.* II, 805-812.
42. Terrón MC, Fidalgo ML, González AE, Almendros G. Galletti GC. (1993) *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 27, 57-71.
43. Pouwels AD, Eijkel GB, Boon JJ. (1989), *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 14, 237.
44. Chiavari G, Galletti GC. (1992), *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 24, 123.
45. Manual de los derivados de la caña de azúcar. (2th edn). (1990). Serie Diversificación. (GEPLACEA eds.), GEPLACEA, PNUD.
46. Otero MA. (1997) Las melazas de caña. Composición propiedades y usos. (ICIDCA eds.), Havana.
47. Stankiewicz BA, Hutchins JC, Thomson R, Briggs DEG, Evershed RF. (1997), *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 11, 1184-1190.
48. Fleckenstein T, Geoebel G, Haberlandt K. (1993), Preparation of 1-hydroxy-2-propanone. Ger. Offen. DE 4128692 A1, 4pp (Germany). German Patent.
49. Rogacheva SM, Kuntcheva MJ, Obretenov TD, Vernin G. (1998), Spec. Publ.-R. Soc. Chem. Maillard Reaction in Foods and Medicine, (Royal Society of Chemistry eds.), pp. 89.
50. Gomyo T, Kato H, Udaka K, Horikoshi M, Fujimaki M. (1972), *Agric. Biol. Chem.* 36, 125.
51. Terrón MC, Fidalgo ML, Galletti GC, González AE. (1996) Proceedings of the 6th International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry: Advances in Applied and Fundamental Researches. (Srebotnik E, Messner K. eds.), Vienna, Facultas-Univ.-Verl., ISBN 3-85076-405-2.
52. Zapanta LS, Tien M. (1997), *J. Biotechnol.* 53, 93.
53. Scheel T, Holker U, Ludwig S, Hofer M. (1999), *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 52: 66.
54. Scalbert A. (1991), *Phytochemistry* 30, 3875.
55. Yagüe S, Terrón MC, González T, Zapico E, Bocchini P, Galletti GC, González AE. (2000), *Rapid. Commun. Mass Spectrom.* 14, 905-910.
56. Thurston CF. (1994), *Microbiology*. 140, 19-26.
57. Zapico E. (1999), *PhD Thesis,* Alcalá University, Madrid.
58. Fakoussa RM, Hofrichter M. (1999), *Appl. Microbiol. Biotechnol*. 52, 25-40.
59. Watanabe Y, Ryozo S, Tanaka Y, Hayashida S. (1982), *Agric. Biol. Chem*. 46, 1623-1630.
60. Aoshima I, Tozawa Y, Ohmomo S, Veda K. (1985), *Agric. Biol. Chem*. 49, 2041-2045.

TRANSESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA. HACIA EL DESARROLLO DE PRODUCCIONES MÁS LIMPIAS.

Amaury Alvarez Espinosa,[a] Merly de Armas,[b] Oney Ramírez,[b] Margarita Suárez,[b] Estael Ochoa.[b]

[a]Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Ciudad Habana. Cuba.
[b]Laboratorio de Síntesis Orgánica. Facultad de Química. Universidad de La Habana. Cuba.

Introducción

Las reacciones de transesterificación son muy utilizadas en la química hoy en día; esta reacción consiste en la sustitución de la cadena lateral de un grupo alcoxicarbonilo por una con más átomos de carbono. El principal inconveniente de estas reacciones es que, utilizando métodos clásicos es difícil obtener un ester con más de 3 o 4 átomos de carbono. Además de esto la reacción se lleva a cabo en condiciones drásticas, y con reactivos peligrosos como el sodio, y medios fuertemente ácidos o básicos, todas estas sustancias provocan daños ambientales si sus residuos no son tratados apropiadamente.
Por este motivo muchas investigaciones hoy en día están encaminadas a la obtención de esteres de cadena larga para su inclusión en moléculas con potencial actividad biológica y que puedan beneficiarse con la inclusión de una cadena carbonada larga que incremente el carácter lipofílico de la molécula.
Por otro lado los derivados de las 4-aril-2,6-dimetil-1,4-dihidropiridinas-3,5-dicarboxilato (1,4-DHP) son ampliamente utilizadas para el tratamiento de las enfermedades cardiovasculares.[1] Actualmente las investigaciones se dirigen mas hacia otro tipo de actividad farmacológica, como neurotrópico, antidiabético, antiviral y antibacterial.[2] Muchas veces estas nuevas propiedades farmacológicas de las 1,4-DHP están relacionadas con el carácter lipofílico de estas.
En este trabajo, se reporta una transesterificación catalizada por una enzima, la cual nos permite obtener β-cetoesters con una cadena lateral de ocho átomos de carbono. Estos β-cetoesteres no pueden ser sintetizados mediante el uso de reacciones de transesterificación. Mediante el uso de la enzima *Candida Antarctica Lipasa B* es posible sustituir el grupo metilo o etilo de algunos β-cetoesteres por cadenas carbonadas mas largas.[3] Mediante este procedimiento es posible obtener β-cetoester con cadenas carbonadas largas en rendimientos prácticamente estequiométricos. Además el único sub-producto de estas reacciones es un alcohol primario, mediante el uso de esta enzima se pueden obtener precursores sintéticos, de difícil obtención por otra vía, sin generar residuales peligrosos lo cual es, en principio una contribución al desarrollo de la "Green Chemistry".
Utilizando esta metodología se obtuvieron β-cetoesteres a partir de octanol y acetoacetato de metilo como precursores sintéticos de nuevas 1,4-dihidropiridinas con grupos ester en las posiciones 3- y 5-. Se realizo además un estudio mecánico cuántico con el objetivo de predecir la influencia de estos esteres en los parámetros conformacionales de las 1,4-DHP.

---

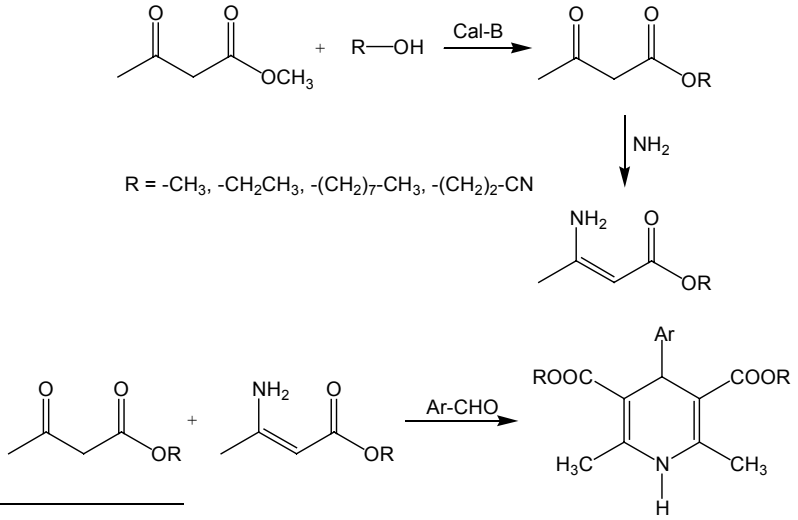
[1] Peri,.; Padmanabhan, S.; Rutledge, A.; Singh, S.; Triggle, D. J. *J. Med. Chem.* **2000**, *43*, 2906-2914
[2] .a) Briede, J.; Daija, D; Stivrina, M.; Duburs, G. *Cell. Biochem. Funct.* **1999**, *17*, 89-96 b) Krauze, A.; Germane, S.; Eberlins, O.; Sturms, I; Klusa, V.; Duburs, G. *Eur. J. Med. Chem.* **1999**, *34*, 301-310
[3] a)Cordova, A., Janda, K. D., A highly chemo- and stereoselective synthesis of b-keto esters via a polymer-supported Lipase catalyzed transesterification, J. Org. Chem, **2001,** *66*, 1906-1909**.** b) Sobolev, A., Franssen, M., Vigante, B., Cekavicus, B., Zhalubovskis, R., Kooijman, H., Spek, A. L., Duburs, G., de Groot, A., Effect of Acyl Chain Length and Branching on the Enantioselectivity of Candida rugosa Lipase in the Kinetic Resolution of 4-(2-Difluoromethoxyphenyl)-Substituted 1,4-Dihydropyridine 3,5-Diesters, Journal of Organic Chemistry, **2002**, *67*, 401-410.

Materiales y Métodos

Los espectros de RMN-^{1}H y RMN-^{13}C fueron obtenidos en un equipo Bruker Advance-300. Los desplazamientos químicos se reportan como valores de δ (en ppm) tomando como referencia tetrametilsilano (TMS), y los valores de la constante de acoplamiento (*J*) se dan en Hz.
Los espectros IR de los productos fueron registrados en un equipo Shimadzu FTIR 8300 y la muestra se preparó en pastillas de bromuro de potasio.
Los espectros de masas se registraron en un equipo HP5989A (Hewlett Packard) mediante la técnica de ionización por electrospray (ESI) utilizando una trampa de iones ESQUIRE-LC (Bruker Daltonik, Bremen, Alemania) y un voltaje capilar de 4000 V, nitrógeno como gas nebulizador con un flujo de 4mL/min a 300 °C, se utilizó metanol como disolvente.
Los puntos de fusión fueron registrados en un equipo Stuart Scientific SMP1 y no están corregidos.
El estudio teórico se realizo utilizando los programas Hyperchem 7.0[4] y Gaussian 98[5], los cálculos fueron realizados en una computadora personal equipada con un procesador P4 (1,8 GHz) y 256 Mb de memoria RAM.

Resultados y Discusión.

La reacción de transesterificación se llevo a cabo en un rotoevaporador a 30°C, como β-cetoester de partida se utilizo acetoacetato de metilo, el alcohol utilizado en la transesterificación fue el 1-octanol y la enzima la *Candida Antarctica Lipasa B* (CAL-B) El tiempo de reacción fue de aproximadamente 30 minutos y el rendimiento prácticamente estequiométrico, el rotoevaporador es utilizado para extraer el metanol y desplazar de esta manera el equilibrio de la reacción hacia la formación del acetoacetato de octilo.
El acetoacetato de octilo se hace reaccionar con amoniaco y la enamina producto de esta reacción reacciona con el acetoacetato de octilo u otro β-cetoester para obtener las 1,4-DHPs deseadas Como se muestra en el esquema 1.



[4] Hyperchem™ Copyright © **2002** Hypercube, Inc.
[5] Gaussian 98, Revision A.3, M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel, G. E. Scuseria, M. A. Robb, J. R. Cheeseman, V. G. Zakrzewski, J. A. Montgomery, Jr., R. E. Stratmann, J. C. Burant, S. Dapprich, J. M. Millam, A. D. Daniels, K. N. Kudin, M. C. Strain, O. Farkas, J. Tomasi, V. Barone, M. Cossi, R. Cammi, B. Mennucci, C. Pomelli, C. Adamo, S. Clifford, J. Ochterski, G. A. Petersson, P. Y. Ayala, Q. Cui, K. Morokuma, D. K. Malick, A. D. Rabuck, K. Raghavachari, J. B. Foresman, J. Cioslowski, J. V. Ortiz, B. B. Stefanov, G. Liu, A. Liashenko, P. Piskorz, I. Komaromi, R. Gomperts, R. L. Martin, D. J. Fox, T. Keith, M. A. Al-Laham, C. Y. Peng, A. Nanayakkara, C. Gonzalez, M. Challacombe, P. M. W. Gill, B. Johnson, W. Chen, M. W. Wong, J. L. Andres, C. Gonzalez, M. Head-Gordon, E. S. Replogle, and J. A. Pople, Gaussian, Inc., Pittsburgh PA, **1998**.

Las 1,4-DHPs obtenidas fueron caracterizadas utilizando las técnicas de espectroscopia infrarroja, de resonancia magnética nuclear y espectrometría de masas, los compuestos sintetizados, así como sus datos espectroscópicos mas significativos se muestran a continuación:

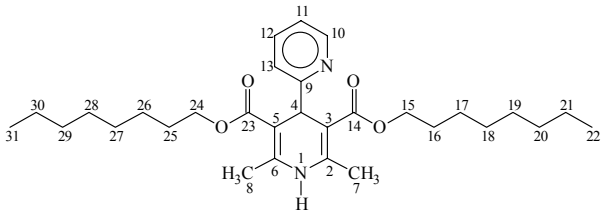


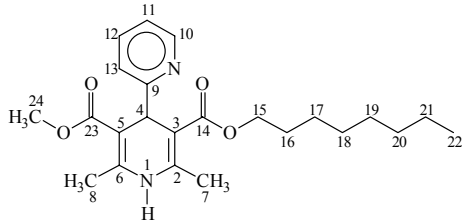
Figura 1. Compuesto **A** mostrando el esquema de numeracion

2,6-dimetil-3,5-bis-(1-octilcarboxi)-4-(2-piridil)-1,4-dihidropiridina.
Temperatura de fusión: 132°C

RMN-^{1}H DMSO-d_6, 300 MHz
δ: 8,78 (1H, s, H1); 8,39 (1H, $^{3}J_{H10-H11}$= 4,03 Hz, dd, H10); 7,56 (1H, $^{3}J_{H12-H11y13}$= 7,63 Hz, $^{4}J_{H12-H10}$= -1,80 Hz, ddd, H12); 7,12 (1H, m, H13); 7,08 (1H, m, H11); 5,03 (1H, s, H4); 3,92 (4H, $^{3}J_{H15-16\ y\ H24-H25}$= 6,64 Hz, t, H15 y H24); 2,22 (6H, s, H7 y H8); 1,48 (4H, m, H16 y H25); 1,22 (20H, sa, H17-H21 y H26-H30); 0,85 (6H, $^{3}J_{H21-22\ y\ H30-H31}$= 6,72 Hz, t, H22 y H31).

RMN-^{13}C DMSO-d_6, 75 MHz
δ: 167,3 (C14 y C23); 165,4 (C9); 149,4 (C10); 146,5 (C2 y C6); 135,7 (C12); 121,8 (C13); 121,6 (C11); 100,7 (C3 y C5); 63,2 (C15 y C24); 41,6 (C4); 31,6 (C20 y C29); 29,0 (C18, C19, C27 y C28); 28,6 (C16 y C25); 26,0 (C17 y C26); 22,4 (C21 y C30); 18,6 (C7 y C8); 14,3 (C22 y C31).

M^{+} en m/z = 498 ausente.
m/z = 420 (100%); 308 (10%); 196 (22%).



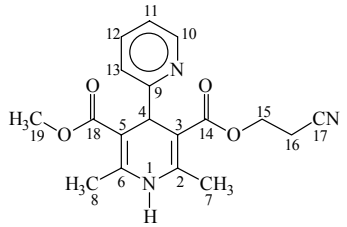
2,6-dimetil-5-metilcarboxi-3-(1-octilcarboxi)-4-(2-piridil)-1,4-dihidropiridina.
Temperatura de fusión: 150°C

RMN-^{1}H DMSO-d_6, 300 MHz
δ: 8,79 (1H, s, H1); 8,39 (1H, $^{3}J_{H10-H11}$= 4,70 Hz, $^{4}J_{H10-H12}$= -1,84 Hz, dd, H10); 7,58 (1H, $^{3}J_{H12-H11y13}$= 7,63 Hz, $^{4}J_{H12-H10}$= -1,84 Hz, ddd, H12); 7,13-7,08 (2H, m, H11 y H13); 5,01 (1H, s, H4); 3,93 (2H, $^{2}J_{H15a-H15b}$= -25,31 Hz, $^{3}J_{H15-16}$= 6,46 Hz, dt, H15); 3,53 (3H, s, H24); 2,24 y 2,21 (6H, s, H7 y H8); 1,48 (2H, m, H16); 1,24 (10H, sa, H17-H21); 0,85 (3H, $^{3}J_{H21-22}$= 6,79 Hz, t, H22).

RMN-^{13}C DMSO-d_6, 75 MHz
δ: 167,8 (C23); 167,3 (C14); 165,3 (C9); 149,4 (C10); 146,5 y 146,4 (C2 y C6); 135,9 (C12); 121,8 (C13); 121,6 (C11); 100,7 y 100,5 (C3 y C5); 63,3 (C15); 50,9 (C24); 41,5 (C4); 31,5 (C20); 28,9 (C18 y C19); 28,6 (C16); 25,8 (C17); 22,4 (C21); 18,7 (C7 y C8); 14,3 (C22).

IR Pastillas de KBr
ν_{N-H}: 3260; $\nu_{C=O}$: 1697; $\nu_{C=C}$ y $\nu_{C=N}$: 1643; 1625; $\nu_{AROMATICO}$: 1591; 1568; 1458.

M^+ en m/z = 400 (1%).
m/z = 369 (2%); 322 (100%); 210 (41%).

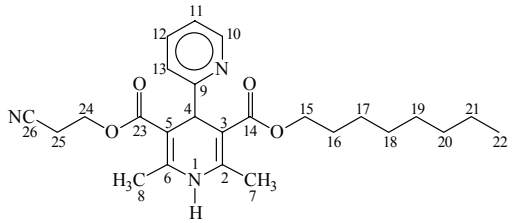


2,6-dimetil-3-(2-cianoetilcarboxi)-5-metilcarboxi-4-(2-piridil)-1,4-dihidropiridina.
Temperatura de fusión: 175°C
RMN-^{1}H DMSO-d_6, 300 MHz
δ: 8,90 (1H, s, H1); 8,39 (1H, $^3J_{H10-H11}$= 4,33 Hz, dd, H10); 7,59 (1H, $^3J_{H12-H11y13}$= 7,63 Hz, $^4J_{H12-H10}$= -1,79 Hz, ddd, H12); 7,18 (1H, $^3J_{H13-H12}$= 7,79 Hz, d, H13); 7,11 (1H, $^3J_{H11-H10}$= 4,33, $^3J_{H11-H12}$= 7,33 Hz, dd, H11); 5,02 (1H, s, H4); 4,14 (2H, $^3J_{H15-16}$= 5,93 Hz, t, H15); 3,53 (3H, s, H19); 2,83 (2H, m, H16); 2,25 y 2,24 (6H, s, H7 y H8).

RMN-^{13}C DMSO-d_6, 75 MHz
δ: 167,7 (C18); 166,8 (C14); 165,0 (C9); 149,5 (C10); 147,5 y 146,4 (C2 y C6); 136,1 (C12); 121,9 (C13); 121,8 (C11); 119,1 (C17); 100,8 y 99,9 (C3 y C5); 58,7 (C15); 51,0 (C19); 41,4 (C4); 17,8 (C16).

IR Pastillas de KBr
ν_{N-H}: 3260; $\nu_{C\equiv N}$: 2255; $\nu_{C=O}$: 1690; $\nu_{C=C}$ y $\nu_{C=N}$: 1628; 1593; $\nu_{AROMATICO}$: 1570; δ_{N-H}: 1506.

M^+ en m/z = 341 (2%).
m/z = 310 (2%); 263 (100%); 210 (26%).

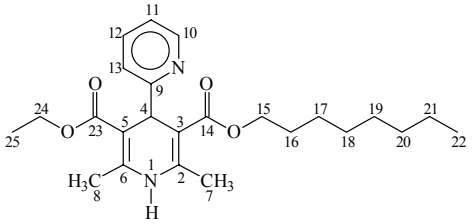


2,6-dimetil-5-(2-cianoetilcarboxi)-3-(1-octilcarboxi)-4-(2-piridil)-1,4-dihidropiridina.
Temperatura de fusión: 133°C

RMN-^{1}H DMSO-d_6, 300 MHz
δ: 8,99 (1H, s, H1); 8,40 (1H, $^3J_{H10-H11}$= 4,01 Hz, d, H10); 7,57 (1H, $^3J_{H12-H11y13}$= 7,60 Hz, $^4J_{H12-H10}$= -1,61 Hz, ddd, H12); 7,20 (1H, $^3J_{H13-H12}$= 7,78 Hz, d, H13); 7,11 (1H, m, H11); 5,02 (1H, s, H4); 4,13 (2H, $^3J_{H24-H25}$= 5,87 Hz, t, H24); 3,92 (2H, m, H15); 2,84 (2H, m, H25); 2,24 y 2,23 (6H, s, H7 y H8); 1,48 (2H, m, H16); 1,21 (10H, sa, H17-H21); 0,86 (3H, $^3J_{H21-22}$= 6,67 Hz, t, H22).

RMN-^{13}C DMSO-d_6, 75 MHz
δ: 167,2 (C14); 166,8 (C23); 165,1 (C9); 149,5 (C10); 147,5 y 146,4 (C2 y C6); 135,9 (C12); 122,1 (C13); 121,7 (C11); 119,1 (C26); 101,0 y 99,8 (C3 y C5); 63,4 (C15); 58,7 (C24); 41,5 (C4); 31,6 (C20); 28,9 (C18 y C19); 28,6 (C16); 25,9 (C17); 22,4 (C21); 19,0 y 18,6 (C7 y C8); 17,8 (C25); 14,3 (C22).

IR Pastillas de KBr
ν_{N-H}: 3260; $\nu_{C=O}$: 1697; $\nu_{C=C}$ y $\nu_{C=N}$: 1643; 1625; $\nu_{AROMATICO}$: 1593; 1568; 1546.
M^+ en m/z = 439 (1%).
m/z = 361 (100%); 310 (4%); 249 (27%); 196 (19%).



2,6-dimetil-5-etilcarboxi-3-(1-octilcarboxi)-4-(2-piridil)-1,4-dihidropiridina.
Temperatura de fusión: 120°C

RMN-^{1}H DMSO-d_6, 300 MHz
δ: 8,79 (1H, s, H1); 8,41 (1H, $^3J_{H10-H11}$= 4,53 Hz, d, H10); 7,60 (1H, $^3J_{H12-H11y13}$= 7,61 Hz, $^4J_{H12-H10}$= -1,75 Hz, ddd, H12); 7,16-7,10 (2H, m, H11 y H13); 5,03 (1H, s, H4); 4,03-3,88 (4H, m, H15 y H24); 2,25 y 2,23 (6H, s, H7 y H8); 1,49 (2H, m, H16); 1,22 (10H, sa, H17-H21); 1,14 (3H, $^3J_{H25-H24}$= 7,08 Hz, t, H25); 0,87 (3H, $^3J_{H21-22}$= 6,71 Hz, t, H22).

RMN-^{13}C DMSO-d_6, 75 MHz
δ: 167,3 (C14 y C23); 165,4 (C9); 149,4 (C10); 146,5 y 146,3 (C2 y C6); 135,7 (C12); 122,0 (C13); 121,6 (C11); 100,7 y 100,6 (C3 y C5); 63,2 (C15); 59,2 (C24); 41,6 (C4); 31,5 (C20); 29,0 (C18 y C19); 28,6 (C16); 25,9 (C17); 22,4 (C21); 18,7 (C7 y C8); 14,5 (C25); 14,3 (C22).

IR Pastillas de KBr
ν_{N-H}: 3260; $\nu_{C=O}$: 1693; $\nu_{C=C}$ y $\nu_{C=N}$: 1643; 1626; $\nu_{AROMATICO}$: 1591; 1568.

M^+ en m/z = 414 (1%).
m/z = 369 (2%); 336 (100%); 308 (3%); 285 (3%); 257 (3%); 224 (20%); 179 (5%).

Estudio Teorico

Se realizo un estudio teórico a nivel semiempírico utilizando el método AM1 implementado en el programa Gaussian 98[5]. Además se realizaron cálculos *ab-initio* HF/6-31G*. Los parámetros geométricos más significativos de cada una de las moléculas sintetizadas se muestran en la tabla 1.
Los cálculos muestran que en todos los compuestos sintetizados, el anillo de 1,4-DHP es un bote aplanado. El grado de planaridad del bote está definido por el parámetro $\sum|\rho|$ (sumatoria de los 6 ángulos de torsión internos del anillo de DHP). Para los compuestos sintetizados los cálculos predicen que $\sum|\rho|$ ~85 este valor de $\sum|\rho|$ se encuentra en el rango de los reportados para compuestos con actividad biológica.[6]
El sustituyente fenílico en C-4 se encuentra pseudoaxial (ángulo de torsión C5-C4-C9-C13), bisectando al plano que contiene al anillo de DHP.
Al igual que en los otros análogos de DHP, el N1 del anillo de 1,4-DHP tiene una hibridación sp^2, como lo muestran los valores calculados para el ángulo de valencia C6-N1-C2. Los valores del ángulo de torsión C6-C5-C=O y C2-C3-C=O indican que el carbonilo del éster se encuentra conjugado al doble enlace endocíclico de la 1,4-DHP y en una disposición *cis*. Al calcular el confórmero *trans* para cada compuesto, o sea, aquel donde el ángulo de torsión C6-C5-C=O y C2-C3-C=O son cercanos a 180°, los

[6] a)Miyamae A., Koda, S., Morimoto Y.; *Chem. Pharm. Bull*, **1986**, *34(8)*, 3071. b)Fossheim R., Svarteng K., Mostad A., Romming C., Shefter E., Triggle D., *J. Med. Chem*. **1982**, *25*, 126.

calores de formación indican que la confórmacion *cis* es 0.6 kcal/mol más estable que la *trans.*La conformacion mas estable de la molécula **A** se muestra en la figura 2.

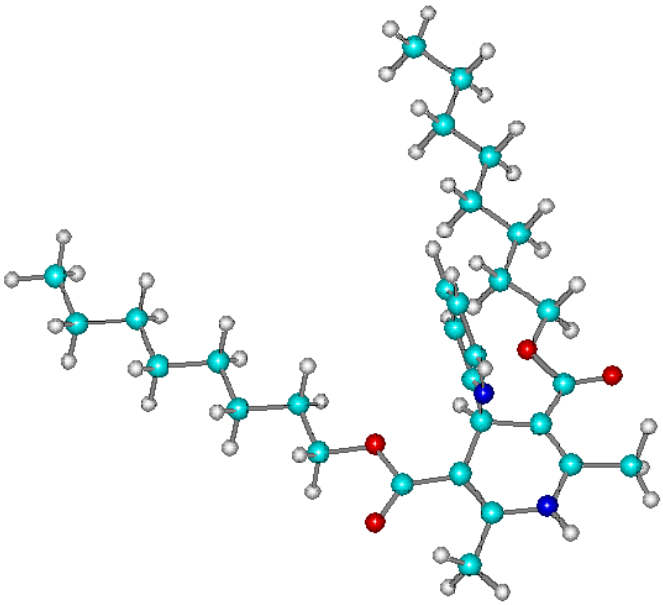


Figura 2. Conformacion mas estable de la molécula **B**

De esta forma, el estudio teórico permite predecir que la presencia de cadenas carbonadas largas en el anillo de 1,4-DHP no hace variar los parámetros conformacionales encontrados para análogos con probada actividad biológica.

Tabla 1. Parámetros estructurales de las moléculas sintetizadas (Å y °)

	A	B	C	D	E
Angulos de Valencia					
N1-C2-C3	120.1	120.1	120.1	120.1	120.1
C2-C3-C4	120.8	120.8	121.4	121.3	121.3
C3-C4-C5	11.1	111.1	110.3	110.8	110.9
C4-C5-C6	120.8	120.8	121.3	121.4	121.4
C5-C6-N1	120.1	120.1	120.0	120.1	120.1
C6-N1-C2	121.2	121.2	120.7	120.7	120.6
Angulos Diedros					
N1-C2-C3-C4	-9.3	-9.3	5.24	-6.7	-6.0
C2-C3-C4-C5	24.9	25.0	-22.0	23.1	22.5
C3-C4-C5-C6	-24.6	-24.7	22.5	-22.4	-22.0
C4-C5-C6-N1	8.8	8.8	-6.2	5.35	5.0
C5-C6-N1-C2	9.6	9.7	-13.3	13.9	14.3
C6-N1-C2-C3	-9.4	-9.5	13.9	-13.2	-13.8
$\Sigma\rho$	86.6	87.0	83.1	84.7	83.6
C5-C4-C9-C13	101.6	-136.2	143.8	-94.6	-142.8
C6-C5-C=O	-6.7	-6.6	9.8	-11.9	-11.6
C2-C3-C=O	6.5	6.8	-10.3	11.2	9.4
Distancias de Enlace					
N1-C2	1.389	1.389	1.392	1.394	1.393
C2-C3	1.374	1.375	1.374	1.372	1.373
C3-C4	1.499	1.499	1.500	1.500	1.500
C4-C5	1.498	1.498	1.502	1.502	1.502
C5-C6	1.374	1.373	1.373	1.374	1.373

C6-N1	1.391	1.392	1.393	1.391	1.393

Conclusiones

En este trabajo se reporta la síntesis a través de un proceso enzimático de acetoacetato de octilo, este proceso se realizo bajo condiciones de reacción suaves y el único subproducto de la reacción fue el metanol, además los rendimientos son prácticamente estequiométricos. A partir de estos β-cetoesters se sintetizaron nuevas 1,4-dihidropiridinas, estos compuestos con cadenas carbonadas largas son muy difíciles de sintetizar mediante métodos clásicos. El esquema de síntesis mostrado debe su simplicidad a la obtención previa de acetoacetato de octilo. El estudio teórico muestra que los parámetros conformacionales que le confieren actividad biológica a las 1,4-dihidropiridinas están presentes en estos nuevos compuestos

COMPARISON AND EVALUATION OF EXPERIMENTAL DATA AND DIFFERENT MODELS OF PREDICTION OF NO_X EMISSIONS BAGASSE BOILERS

LA COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES Y LOS DIFERENTES MODELOS DE PREDICCIÓN DEL NO_X EN CALDERAS DE BAGAZO

Flavio Neves Teixeira, Electo Eduardo Silva Lora

flavio@unifei.edu.br; electo@unifei.edu.br
Núcleo de Estudos em Sistemas Térmicos, Universidade Federal de Itajubá
Av BPS 1303, CP 50, Itajubá, MG, Brazil, CEP 37.500-903

Abstract: Nitrogen oxides (NO_X) have been considered worldwide as one of the acid rain main causes; it must be considered also it fitotoxic effect as well as it importance in the stratospheric ozone formation mechanism. In this way some countries has engaged of this subject monitoring and restricting the emission of this pollutant gases within pre-established emission standards. In Brazil, little emphasis has been given to this subject. There are only a few data about NO_X emissions in sugar cane bagasse boilers in the Brazilian and international technical literature and little has been made regarding to research concerning the influence of the combustion system types, the operating parameters (air excess) and the combustible characteristics in the NO_X formation prevention. In this paper, based on data measured in different Brazilian sugar mills, it is made a comparison between measured data with the calculation according to different models and with available data from technical literature. It is also evaluated the influence of the boiler operation parameters (excess air variation and boiler load) on emissions values. This data may establish a base to the selection of the appropriate methods for the prevention and control of the NO_X emissions in bagasse boilers. At the same time this results allow to evaluate which of the mathematical models for NO_X emissions calculations present a satisfactory result for this type of fuel and the combustion technologies analyzed.

Key words: nitrogen oxides (NO_X), bagasse-fuelled boiler, model of NO_X emission

Resumen: Los óxidos de nitrógeno (NO_X) ha sido considerado mundial como una de las principales causas de la lluvia ácida; también debe ser considerado los efectos fitotoxico, así como él la importancia en el mecanismo de formación de ozono estratosférico. De esta manera algunos países han comprometido de este asunto supervisando y restringiendo la emisión dentro de las normas de la emisión. En Brasil, se ha dado el pequeño énfasis a esta cuestión. Hay pocos datos sobre las emisiones de NO_X en las calderas de bagazo brasileñas y en la literatura técnica internacional y poco ha sido feito para investigar acerca de la influencia del tipo de sistema de la combustión, los parámetros operando (el exceso del aire) y las características combustibles en la NO_X formación. En este trabajo, basado en datos medidos en calderas brasileñas es hecha una comparación con el cálculo de la concentración del NO_X según los modelos diferentes y con los datos disponibles en la literatura técnica. También se evalúa la influencia de los parámetros de funcionamiento del horno (el exceso de aire y carga de la caldera) en los valores de las emisiones. Estos datos pueden establecer una base a la selección de los métodos para la prevención y control de las emisiones de NO_X en las calderas del bagazo. Al mismo tiempo esto resulta permite evaluar cual de los modelos matemáticos para los cálculos de emisiones de NO_X presente un resultado satisfactorio para este tipo de combustible.

Palabras clave: óxidos de nitrógeno (NO_X), calderas de bagazo, modelo de emisión de NO_X

1- Introduction

Brazil's growth in electricity demand has in recent years been constrained by water shortages reducing the output of the hydro-electricity system. There is an increased interest in the generation of electricity for export to the grid from combined heat and power (CHP) plants in the sugar mill and ethanol distillery sector.

In Brazil, biomass utilization for electricity yield is usual, especially in the pulp and paper, food & beverage, petrochemicals and sugarcane industries. The latter, which is self-sufficient in electricity consumption through its bagasse-fuelled cogeneration systems, has an installed output of approximately 2,500 MW and a high potential yet to be exploited CENBIO (2000). The Electrical System Plan Coordinating Group (GCPS), after consulting the electricity companies, class entities and specialized literature, has elaborated a study identifying the cogeneration potentials that emphasizes the eligible projects to be included in the Ministry of Energy's Ten-Year Expansion Program. For the sugarcane industries, a thermodynamic potential of accounts for 5,584 MW (conventional systems) and a technical potential of 4,020 MW, 1,340 MW of which correspond to self-production and the other 2,680 MW correspond to surplus energy that can be sold Eletrobras (1999).

The process of producing sugar and alcohol from sugar cane, as well as any other industrial process consumes raw materials: in this case they are the sugar cane and different reagents, in addition to energy. The sugar cane bagasse, a lignocellulose residue obtained straight after the sugar cane milling is the main source of energy for the sugar producing process, thus making the process self-sufficient. As a result of the manufacturing process there will be the final products (sugar and/or alcohol) and a whole series of solid, liquid and gaseous residues. It is known that the bagasse burning in boilers emit pollutants in the atmosphere, the main of which are particulates, carbon monoxide (CO), unburned hydrocarbons (C_XH_Y) and nitrogen oxides (NO_X).

In this sense, this work compare measured data on performance and emissions at the Monte Alegre sugarcane mill located in Minas Gerais State, Brazil, with predicted values from empirical correlations of NO_X emissions presented by Sigal (1988). The influence of both boiler operational parameters, such as excess air ratio, and boiler load on emissions was also evaluated, with the purpose to define the main mechanism of NO_X formation in bagasse-fuelled boilers.

2- Nitrogen Oxides: formation and control

In the XIX century, the presence of NO_X was identified in the combustion products from organic fuels. In the 1950's, investigations on the NO_X physic-chemical and formation process in boiler furnaces, internal combustion engines and industrial furnaces took place. Currently, the NO_X emissions are responsible for the acid rain, smog and particles formation in the atmosphere. Its phytotoxic effect and it role in the ozone formation process must be also considered. Some studies indicate that the nitrogen oxides increase the susceptibility of lung bacterial infections. Long period exposures to concentrations of 1-ppm cause pulmonary alveoli soaring with symptoms, which are similar to those of pulmonary emphysema. The principal effect of the NO is to be the precursor of the nitrogen peroxide NO_2, which is insoluble and penetrates the depths of the respiratory system. The NO_2 acts on the pulmonary alveoli, and it can even cause emphysema, it inhibits the pulmonary defenses and has a phytotoxic effect. Lora (2001).

Therefore, some countries have been worrying with this pollutant by monitoring and restricting the emission of such pollutant gases within pre-established standards. For instance, according to Kucowski and others (1997), the emission standards for NO_X in the European Community, Austria and Japan are 650, 200 e 411 $mg \cdot Nm^{-3}$, respectively, taking into consideration new thermal plants burning solid fuels.

In Brazil little emphasis has been given to this problem: for example, in the National Environmental Council Resolution, CONAMA-008/90 (1990), which establishes maximum emission limits for air pollutants (emission standard) in non-vehicle combustion process, any reference is made

concerning NO_X emissions; in fact, it only limits the sulphur oxides and particulates. In addition, very few data regarding NO_X emissions from bagasse-fuelled boilers are available through national and international technical documents, and little has been researched on how combustion systems, operation parameters (air excess coefficient) and fuel characteristics may prevent the formation of NO_X in this sector.

Flood and others, (1974), present the results of the measurement of the nitrogen oxide concentration in the sugar cane bagasse combustion gases. The results were: 260 $mg \cdot Nm^{-3}$ for suspension burning boilers and 200 $mg \cdot Nm^{-3}$ for the burning on a fixed bed on a grate.

In general the pollutant emission in bagasse boilers is comparable to those of other biomass combustion equipments. Marutzky (1993) presents the results of the measurement of NO_X concentrations for a furnace that burns wood shaves with 60-70% moisture, and the value was 231 $mg \cdot Nm^{-3}$. Nussbaumer (1993) determined the NO_X concentration during the wood sample combustion in laboratory furnace obtaining values ranging from 130 to 200 $mg \cdot Nm^{-3}$.

The organic fuel burning in steam generators furnaces mainly forms nitric oxide (NO). The nitrogen oxides may form from the fuel bound nitrogen and in the air. According to the mechanisms of formation, they can be classified as: Lora (2002)

- Fuel NO_X: They are formed from the fuel bound nitrogen. The determining factors are the amount of fuel bound nitrogen in ultimate analyses, the O_2 concentration in the flame area and in a lower degree its temperature;
- Thermal NO_X: They are formed from the reaction of the nitrogen and the atomic oxygen in the air at high temperatures (T>1,500 K). The determining factor in this mechanism is the maximum temperature in the combustion zone;
- Prompt NO_X: They are formed from the reaction of the nitrogen in the air with the C_XH_Y radicals participation in the flame low temperature area (T<1,500 K).

The relative importance of the different formation mechanisms of the nitrogen oxides depend on the following parameters:

- Flame temperature;
- Fuel bound nitrogen;
- Parameters of the furnace process (air excess coefficient).

There are diverse opinions in the literature regarding the predominant mechanism of NO_X formation during biomass combustion. The majority of references favor fuel bound nitrogen as the primary mechanism; for example, Sigal (1988) considers the low range of flame temperatures (900 - 1300 °C) to eliminate thermal NO_X as a cause, though it leaves some opportunity for prompt NO_X in addition to the fuel bound nitrogen route. Nussbaumer (1993) studied the nitrogen oxide emission during the firewood combustion and a considerable influence from the combustion temperature was not detected, but an influence from the fuel bound nitrogen was. It was concluded that the thermal mechanism can rejected, being the fuel the fundamental one. Grass and Jenkins (1994), based on the review of biomass industrial fluidized bed combustion bibliographical references, suggest that the thermal mechanism contribution is probably underestimated, and that the prompt NO_X can also constitute a significant fraction of the nitrogen oxide emissions. In this study the total nitrogen oxide concentration are calculated for operational parameters typical for the burning on a fixed bed on a grate boiler.

There are two methods of controlling NO_X: pre-combustion changes to prevent its formation, and its correction post-combustion as shown in Table I. Once they are analyzed, it may be concluded that the main precautions to be taken refer to the furnace temperature control and the air/fuel ratio (air excess coefficient). One technology that has accomplished good results is the one called gas reburn system. It has been used successfully in industrial boilers and utilities. It may be applied in wall fired boilers either tangentially fired or cyclone fired. According to Latham and others, (1997), reductions from 58 to 77% in the NO_X emissions have been attained using as primary fuel coal or gas and reburning fuels.

3- Measured data at the Monte Alegre Mill

The NO_X concentration (the nitrogen oxides in the exhaustion gases - $mg \cdot Nm^{-3}$), O_2 (the oxygen content in the exhaust gases - % in volume) and air excess coefficient measurements in boiler exhaust gases were accomplished using one portable flue gas analyzer model Quintox KM9106 built by Kane International Limited. The data of steam flow, steam pressure, steam temperature and feed water temperature were taken from the operational instrumentation in boilers control room. The gas sampling was done in the outlet duct of the boiler during two days. The measured data are displayed in Table II.

Table I. Nitrogen Oxide emission-control method classification according to Lora (2002)

Type	Method	Mode of Operation
Pre-Combustion Methods (preventive)	Re-Circulation of Combustion Products	Temperature Reduction and Oxygen Concentration inside the flame
	Combustion in Stages	Temperature Reduction and Oxygen Concentration inside the flame
	NO_x Low-Emission Burners (LNB)	Temperature Reduction and Oxygen Concentration inside the flame
	Steam and Water Injection	Temperature Reduction and Oxygen Concentration inside the flame
	Fluidized Bed Combustion	Temperatures lower than in conventional systems for pulverized solid fuels
Post-Combustion Methods (corrective)	Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR)	NO_x Reduction up to N_2 by ammonia injection without the use of catalysts (high gas temperatures)
	Selective Catalytic Reduction (SCR)	NO_x Reduction up to N_2 by ammonia injection with the use of catalysts (low gas temperatures)
	Reburning	Reburning is a combustion modification technology which removes NO_x from combustion products by using fuel as a reducing agent

In this Table II it may be noted that the data collected presents a large variation, because the two-day period that comprised the data measurement did not suffice to operate the boiler within a pre-determined regime; in fact, the monitoring was carried out according to a routine boiler operation by adjusting them to the process needs. However, it was possible to analyze the values by setting five similar operational ranges corresponded to 35, 41, 55, 63 and 72% of average air excess. These values were obtained through an average among the ranges of 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 and 1.7 of the air excess coefficient.

For the fuel consumption and flow gases calculation, it becomes necessary the knowledge of the characteristics of the bagasse, such as:

- Ultimate analysis: is the determination of carbon (C), hydrogen (H), sulphur (S), oxygen (O), nitrogen (N), moisture (W) and ash (A). However the bagasse moisture varies between 48 - 52%. Then this composition can be expressed in different basis: 'wet basis' (it refers to the composition of 1 kg of fuel with the moisture it is burned with), 'analytical basis' (it refers to the composition of 1 kg of fuel with the moisture it has at the moment when its composition is determined in the laboratory), 'dry basis' (no moisture - this is the most general data for the bagasse and the biomass in general, for the amount of ashes are approximately constant) and 'fuel basis' (no moisture nor ashes). For the bagasse burned in the Monte Alegre Mills, the data of the 'wet basis' composition is: 48.0% of C, 6.2% of H, 0.1% of S, 43.0% of O, 0.2% of N, 50% of W and 2.5% of A.
- Fuel heating value: the heat liberated by the complete and rapid burning of a fuel per unit weight or volume is its heating or calorific value. The heat value can be expressed referring to the different bases, as described in the previous item, for the fuel composition. For fuels that contain moisture and hydrogen there are higher and lower heating. The higher heating value - HHV consider that water steam present in the combustion gases condensed, while the lower heating value - LHV consider that water steam don't condensate, then the latent heat of the fuel moisture evaporation isn't considered. The LHV of the

bagasse depends on the moisture and sucrose content that the bagasse presents. In this paper, the bagasse LHV considered is 7,867.7 kJ·kg^{-1}, which was established for 1.7% of sucrose and 50.0% of moisture.

Table II. Boiler Operational Data during the Sampling

N°	Steam flow [t·h^{-1}]	Steam pressure [bar]	Steam temperature [°C]	Feed water temperature [°C]	O_2 concentration [%]	NO_X concentration [mg·Nm^{-3}]	Air excess coefficient
1	39.7	20.2	296.0	111.0	5.7	108.0	1.37
2	43.6	19.7	296.0	112.0	5.4	99.0	1.35
3	42.5	20.3	296.0	110.0	4.9	134.0	1.30
4	44.3	20.0	296.0	110.0	5.5	161.0	1.36
5	40.3	20.0	296.0	112.0	5.2	100.0	1.33
6	42.2	19.6	293.0	109.0	5.8	110.0	1.38
7	44.4	19.6	295.0	113.0	7.5	148.0	1.56
8	44.0	20.9	296.0	109.0	7.2	169.0	1.53
9	41.1	20.9	302.0	110.0	7.7	188.0	1.58
10	36.0	19.3	292.0	111.0	8.6	173.0	1.70
11	43.9	19.6	295.0	110.0	8.2	145.0	1.64
12	41.2	20.6	295.0	109.0	8.4	140.0	1.68
13	46.2	20.7	296.0	115.0	8.6	135.0	1.70
14	45.7	19.6	295.0	109.0	7.1	116.0	1.51
15	44.8	19.7	292.0	114.0	7.3	122.0	1.54
16	41.1	19.7	294.0	110.0	8.1	139.0	1.63
17	44.7	19.7	292.0	109.0	7.7	105.0	1.58
18	45.0	19.8	295.0	113.0	7.2	103.0	1.52
19	45.4	19.2	288.0	109.0	7.4	158.0	1.55
20	45.7	19.9	294.0	113.0	7.6	96.0	1.57
21	44.3	19.6	295.0	109.0	7.5	88.0	1.56
22	45.8	20.2	298.0	113.0	5.7	112.0	1.37
23	40.3	21.2	296.0	108.0	7.5	159.0	1.56
24	37.7	19.6	300.0	115.0	7.8	137.0	1.60
25	34.0	20.0	298.0	108.0	8.9	158.0	1.74
26	45.0	20.4	296.0	114.0	6.1	118.0	1.41
27	34.5	19.5	292.0	109.0	8.8	153.0	1.73
28	40.3	19.6	298.0	112.0	7.8	137.0	1.59
29	37.4	19.8	298.0	113.0	8.1	144.0	1.64

Then, the fuel consumption (m_{fuel}) for each measurement was calculated according to the Equation 1, being the boiler efficiency considered η_b = 85%, and the data of steam flow (m_s), as well as of the steam (h_s) and feed water (h_w) enthalpies, relative to the steam pressure and temperature and of the feed water temperature, respectively, taken of the Table II.

$$m_{fuel} = \frac{\eta_b \cdot m_s \cdot (h_s - h_w)}{LHV} \tag{1}$$

4- Total NO_X Emission Prediction Model

There are some models in the technical literature that enable us to quantify the NO_X emissions whenever solid fuels are burned. This work used Equation 2 to calculate the total concentration of NO_X, according to Sigal (1988).

$$C_{NO_X} = 0.48872 \cdot A \cdot d_e^{0.8} \cdot Q_v^{0.5} \cdot \alpha_h^3 \quad (2)$$

where:
A- proportionality constant and equal 0.17;
d_e- equivalent diameter of the furnace squared section, [m], equal to four times the squared section area divided by the perimeter;
Q_v- furnace volumetric heat release, [$GJ \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$];
α_h- air excess coefficient at the furnace outlet.

This formula was obtained in the base of experiments in laboratories and corrected considering tests in 104 boilers, which results are relatives to the furnace exit. In this study, thus, corrections in data were made to consider air infiltrations. The measured data were taken in the boiler outlet, while calculated data are relative to the furnace outlet. In that way it considered an infiltration of $\alpha = 0.3$, to correct the concentration of nitrogen oxides.

The type of the boiler assessed is one of burning on a fixed bed on a grate, whose dimensions of the furnace are: 5.9 m of length, 3.5 m of width and 9.8 m of height. This way, the value of the furnace equivalent diameter is of 4.39 m. The furnace volumetric heat release was calculated as the bagasse consumption [ton per hour] times the bagasse low calorific value [GJ per ton] divided by the furnace volume [m^3]. Notice that the bagasse consumption is variable, because the produced steam varies during the sampling. Then, to calculate the nitrogen oxides concentration of according to the model, it was considered this variation, and an average value is of 0.45 [$GJ \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$].

5- Results and Discussion

Figure 1 displays the relationship among the air excess coefficient and the boiler load and the measured values of NO_X in gram per ton of bagasse. One may conclude that the parameter that sets the NO_X concentration is the air excess coefficient, whereas the load influence is little. The measurements whose air excess coefficient range was set to the minimum limit (35%) correspond to a load of 43 t/h and a bagasse consumption of 12 t/h, while maximum limit (72%) correspond to a load drop up to 38 t/h and a bagasse consumption of 10 t/h; therefore, a furnace flame temperature reduction took place due to less fuel burning. Consequently, it is experimentally demonstrated that the “fuel mechanism” overcome the others in the NO_X formation.

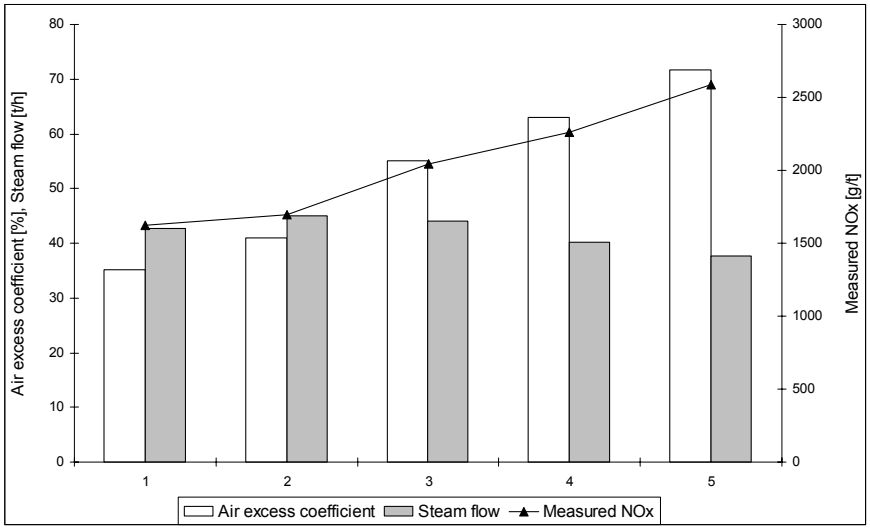


Figure 1. Influence of the boiler operational parameters in the formation of NO_X within the assessed ranges

Refer to Figure 2 in order to assess the mathematical modeling for the total NO_X emissions calculation. First, the model did not suit for those values within the air excess coefficient minimum limit. However, for the ones that ranged from the maximum values, which correspond to the regular operational range with optimum air excess coefficient, the model suit properly; in fact, the error between the measured and calculated values was lower then 10%, reaching for the value of 72% of excess of air an error of 4%. Figure 2 also shows that the NO_X emissions increase as the air excess coefficient value is enhanced and the fuel consumption is decreasing.

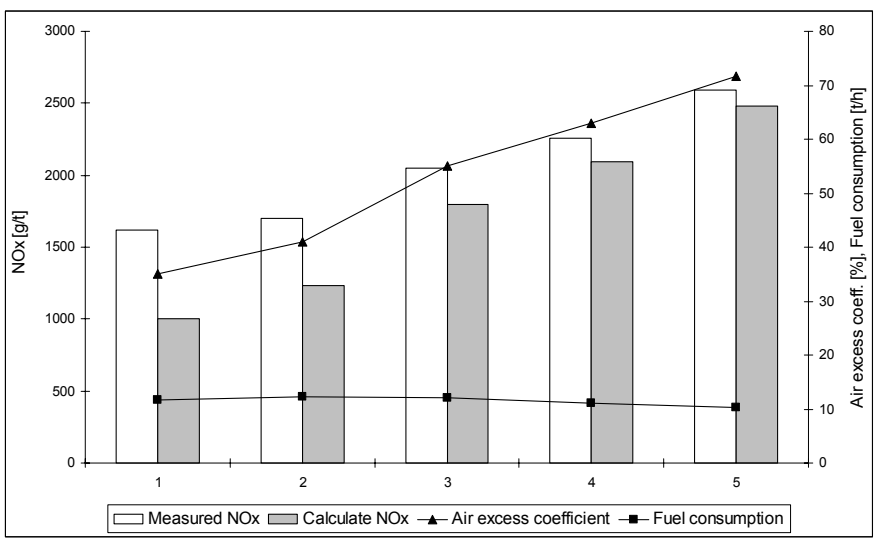


Figure 2. Comparison between measured and calculated NO_X emission values according to the used model

Finally, Figure 3 shows the relationship between the measured NO_X values and the oxygen content (O_2) in the gases. The linear relationship between the NO_X concentration in the exhaust gases and the O_2 concentration corroborates what was previously stated.

6- Conclusion

The values of the concentration of oxides of nitrogen measured in the Monte Alegre Mills are in agreement with the values of the literature, and they assist the emission standards demanded in the European Community.

The increase of nitrogen oxides concentration with the reduction of the boiler load and the fuel consumption allows concluding that the principal mechanism of formation is related to the "fuel mechanism", as other authors had already ended.

Finally, the mathematical modeling for the total NO_X emissions calculation presented in this work is suitable for air excess coefficient in the regular operational range of bagasse boiler.

Acknowledgements

We would like to acknowledge the Monte Alegre Sugar and Alcohol Mill staff (Monte Belo - MG/Brazil), in special the Industrial Manager, Eng. Luiz Fernando Pereira Alves, for the assistance, information provided, in loco measurement permission and data disclose. Also the Coordination of Qualification Improvement of High Education Center Teaching Personal (CAPES) is thanked for the financial support.

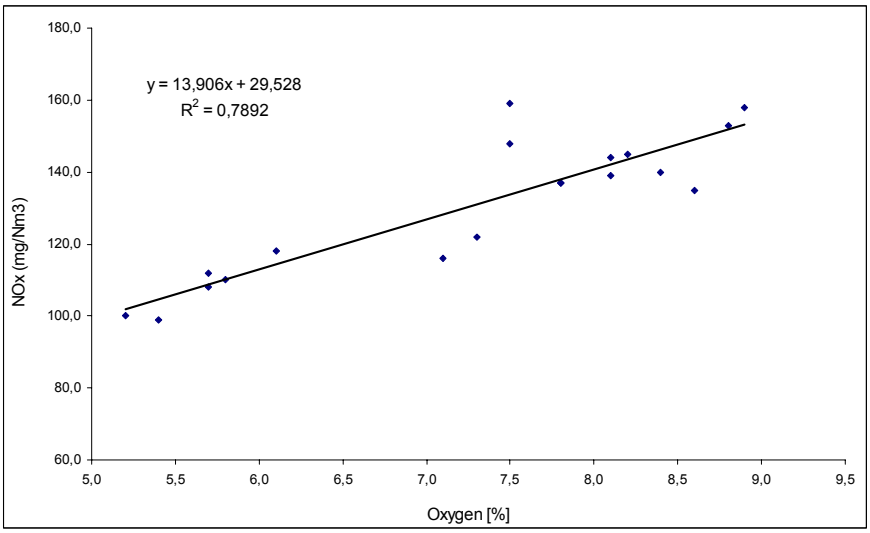


Figure 3. Relationship between the NO_X concentration and the oxygen content in the exhaust gases

References

- CENBIO (2000), "Medidas Mitigadoras para a Redução de Emissões de Gases Efeito Estufa na Geração Termelétrica", Brazilian Biomass National Reference Center - CENBIO and Electric Power National Agency - ANEEL, Dupligrafica Publishing House, Brasília, Dezembro 2000;
- Eletrobrás (1999), "Estimativa do Potencial de Cogeração no Brasil", Coordinating Group of the Electric Systems Planning - GCPS, Publish by Eletrobrás, Brazil, 1999;
- Sigal, I.YA. (1988), "Air protection during fuel", 2nd ed., Niedra Publishing House, Leningrad, (in russian), 1988;
- Lora, E. E. S. (2001), "Controlling Air Quality in the Cane Sugar Industry", Verlag Dr. Albert Bartens KG Publishing House, Berlim, 2001;

- Kucowski, J., Laudyn, D., Przekwas, M. (1997), “Energetyka a Ochrona Srodowiska”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, (in Polish), 1997;
- Resolução CONAMA N°008 de 06 de Dezembro de 1990, Brazil, 1990;
- Flood, B.W., Honey, A.S., Munro, B.M. (1974), “Emissions from bagasse-fired boilers”, Proceedings of the 15th International Society Sugar Cane Technology Congress, pp. 1680-1687, 1974;
- Marutzky, R. (1993), “Concept for an ideal wood waste and wood residue combustion system”, Proceedings of the Conference “Advances in Thermochemical Biomass Conversion", Vol. 1, Blackie Academic & Professional, p.643-655, 1993;
- Nussbaumer, T. (1993), “Wood combustion”, Proceedings of the Conference “Advances in Thermochemical Biomass Conversion", Vol. 1, Blackie Academic & Professional, p. 575-589, 1993
- Lora, E. E. S. (2002), “Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte”, 2nd ed., Editora Interciência, Rio de Janeiro, Brazil, 2002;
- Grass, S.W., Jenkins, B.M.(1994), "Biomass fueled fluidized bed combustion: atmospheric emissions, emission control devices and environmental regulation", Biomass and Bioenergy, vol. 6, No. 4, pp. 243-260, 1994;
- Latham, C.E., Engelhardt, D.A., Sommer, T.M. (1997), “Reburn Technology - A Commercial Update”, Conference Proceedings Power-Gen’ 97 International, Dallas-Texas, USA, 1997;

APLICACIÓN DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA MAXIMIZAR EL REUSO DE AGUA EN LA INDUSTRIA

ON THE APPLICATION OF AN OPTIMIZATION MODEL FOR MAXIMIZATION OF WATER REUSE IN SUGAR INDUSTRY

Autores: * Ribas M., Sabadí R., Hurtado R., de Armas C., Valdés E., Pastor R.
* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
P. O. Box 4026, Habana 10400, Cuba. Fax: 53-7-988243. e-mail: mauro@icidca.edu.cu.

RESUMEN

En este trabajo se aplica un modelo de optimización matemática para minimizar el consumo de agua fresca y la descarga de agua residual. Este modelo tiene en cuenta el balance de masa en cada unidad de producción, límites en la concentración de contaminantes en el agua suministrada al proceso, asume que toda el agua enviada a las unidades de tratamientos se transforma en agua tratada y el tratamiento de agua produce una reducción en la concentración de contaminantes.
La función objetivo incorporada es de tipo económica y minimiza el costo asociado al consumo de agua fresca, el costo del tratamiento de agua residual y los impuestos que se pagan por la descarga de agua residual al medio ambiente.
El modelo matemático fue implementado en GAMS 20.7 y en el trabajo se presentan algunos resultados de un caso de estudio en una fábrica de azúcar donde a cada corriente de agua se le midió la demanda química de oxígeno (DQO), temperatura (T), PH y conductividad.
Los resultados obtenidos a partir del caso de estudio muestran una significativa reducción en el consumo de agua fresca y una mejor estrategia de reuso y reciclo de agua.

ABSTRACT

In this paper a mathematical model for optimization of water consumption and wastewater discharge in the sugar cane industry is applied. This model takes into account mass balance in each production unit, limits on contaminants concentration in water supplied to the processes. The model assumes that all water sent to treatment is transformed into treated water and the water treatment produces a reduction in the concentration of contaminants.
The objective function looks for the minimum cost associated to fresh water supply, the minimum cost of wastewater treatment and minimum discharge taxes.
The model was implemented in GAMS 20.7 and some results about the case study in a sugar factory are described. In each water stream Chemical Oxygen Demand (COD), Temperature (T) , pH and conductivity are observed.
Results obtained from industrial case study indicate a substancial reduction in fresh water consumption and find the better reuse and recycling water strategy.

Palabras Claves: agua fresca, agua residual, modelación matemática, optimización, fábrica de azúcar.

Keywords: freshwater, wastewater, mathematical modelling, optimization, sugar factory.

INTRODUCCIÓN

Muchos procesos industriales, entre ellos el de producción de azúcar, requieren grandes volúmenes de agua, siendo este producto un recurso escaso sujeto a regulaciones ambientales. Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesario el desarrollo de estrategias que contribuyan a disminuir el empleo agua fresca y la descarga de agua residual. También se pueden establecer alternativas de reutilización de aguas dentro de la industria y tratamiento de aguas residuales para disminuir su carga contaminante y reutilizarlas en el proceso.

De las estrategias señaladas, la reutilización de las aguas en la industria azucarera tiene un mayor potencial debido a las limitaciones existentes en el suministro de agua fresca y los elevados costos asociados al tratamiento de aguas residuales.

La presencia de este problema en muchas industrias ha originado el desarrollo de dos iniciativas científicas, con aplicaciones prácticas, para el diseño sistemático de la reutilización y regeneración del agua de proceso.

Estas iniciativas se definen como:

- Metodología de diseño basada en la Tecnología Pinch.
- Metodología de diseño basada en la programación matemática.

La metodología de diseño basada en la tecnología pinch permite la representación gráfica de las corrientes de una planta y la localización del punto Pinch para determinar el consumo mínimo de calor y frío necesarios para satisfacer los requerimientos de la planta. Esta es una metodología diseñada fundamentalmente para el ahorro de energía en procesos y plantas y se fundamenta en los principios de la termodinámica. Fue aplicada al problema de minimización del consumo de agua y regeneración de efluentes por El-Halwagi y Manousiouthakis, 1990.

El segundo enfoque consiste en el desarrollo de modelos de optimización matemática que permiten representar situaciones reales cuyo objetivo fundamental consiste en minimizar el consumo de agua y el reuso de efluentes. Este enfoque tiene en cuenta restricciones relacionadas con la presencia de múltiples contaminantes, fuentes de abastecimiento de agua, sistemas de regeneración y sistemas receptores. La desventaja que podría presentar el mismo tiene que ver con la necesidad de contar con algoritmos de optimización no lineal en gran escala.

En el siguiente trabajo se escribe un modelo de programación matemática utilizando el segundo enfoque y se desarrolla un caso de estudio real proveniente de una industria productora de caña de azúcar.

El modelo fue implementado en ambiente GAMS 20.7 para Windows y los principales resultados obtenidos son presentados.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El esquema típico de producción de azúcar de caña consiste en uno o dos tandem de (4 – 7 molinos) donde entra la caña como materia prima fundamental, se le añade agua de imbibición en el orden de un 30% del peso en caña y se extrae la mayor cantidad de jugo posible. El bagazo en muchas ocasiones es enviado como combustible para las calderas y el jugo extraído pasa a un proceso de purificación con lechada de cal. En el proceso de purificación se utilizan filtros al vacío que requieren un agua de lavado y en algunos casos la torta de cachaza obtenida se mezcla con agua para ser descargada.

El jugo clarificado, obtenido del proceso anterior, con una concentración de 14-15 grados brix se envía al área de calentamiento y evaporación para concentrarlo hasta 60-67 grados brix. El proceso de concentración de jugo necesita de un sistema de evaporación de múltiple efecto donde el vapor producido por la evaporación del jugo es aprovechado en el siguiente efecto de evaporación. Por otro lado este sistema genera vapor condensado que puede ser aprovechado en la industria y el vapor producido por el último efecto es enviado a un condensador barométrico para condensarlo y por lo tanto necesita de un flujo de agua de inyección.

La meladura obtenida en el último efecto de evaporación es enviada al área de cocción-cristalización-centrifugación donde se produce el azúcar comercial con un 98 - 99 % de pureza y la miel final con una pureza que varía en dependencia de la eficiencia del proceso, las características de la materia prima y otros factores. Un esquema clásico de fabricación en esta área consiste en producir tres masas cocidas con simple semilla (PRES2002). El área de cocción-cristalización-centrifugación consume agua para el lavado de las centrifugas y disolución de mieles, agua para el lavado de los cristales en los tachos, agua para el enfriamiento de los cristalizadores y agua de inyección para los condensadores barométricos necesarios para condensar el vapor que sale de cada tacho.

Otra área importante dentro de la industria es la de generación de vapor esta área se caracteriza porque necesita de un agua blanda que no tenga presencia de sales inorgánicas y otros contaminantes para evitar problemas de incrustaciones y deterioro de los tubos fluses.

Otros usos importantes del agua dentro de la industria tienen que ver con el agua para el enfriamiento de los equipos tales como: bombas de vacío, compresores, turbinas, sellos de bombas, turbogeneradores, cristalizadores.

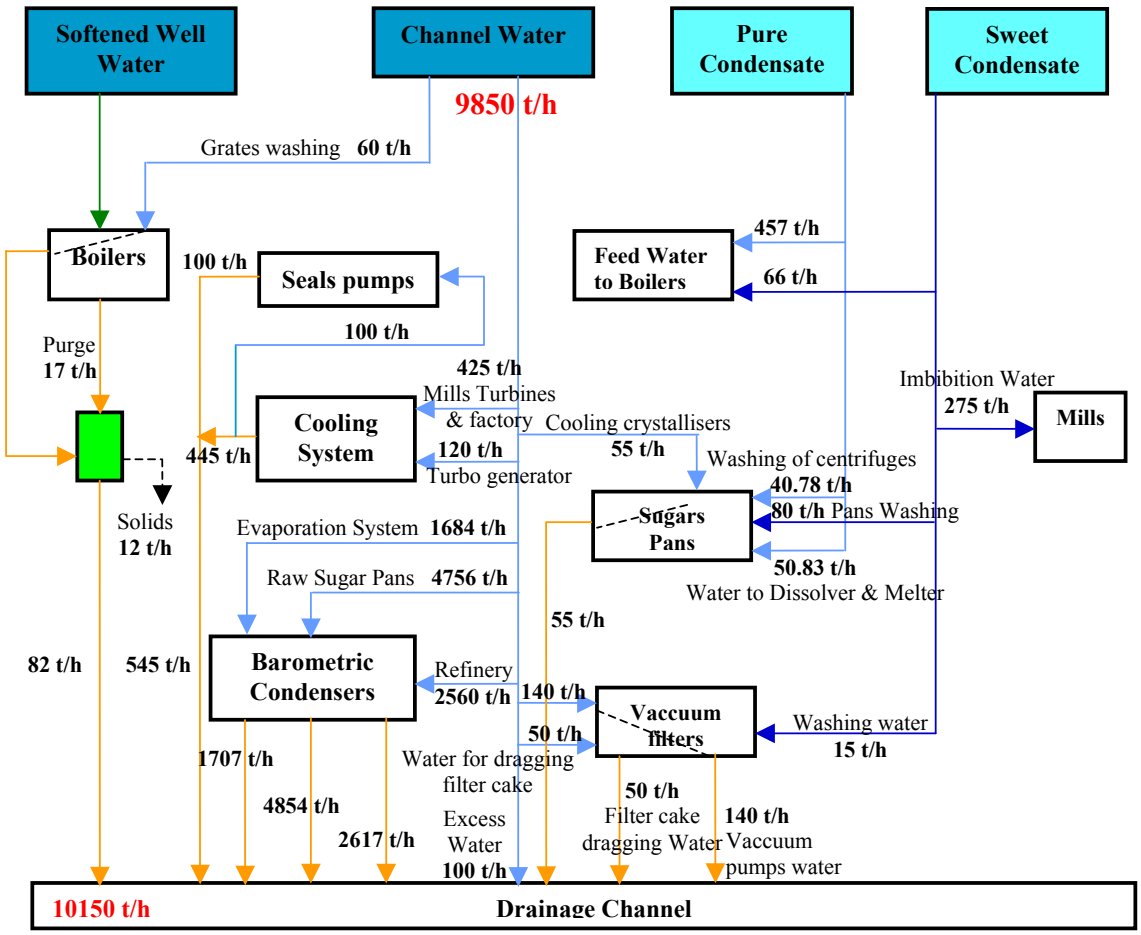
El ingenio azucarero puede tener incluida una refinería para producir azúcar refino el esquema clásico consiste en producir cuatro masas cocidas (PRES 2002) y se obtiene un azúcar con una pureza de 100%. En la refinería se utiliza agua para el lavado de las centrifugas, agua de disolución y agua de los tachos. También se genera vapor que es enviado a los condensadores barométricos y los mismos necesitan agua de inyección. La refinería produce vapor condensado que puede ser utilizado en otras unidades de proceso.

El caso de estudio desarrollado en este trabajo corresponde a un ingenio de azúcar de caña con refinería y tiene un esquema de distribución de aguas como el que se presenta en la figura 1. El mismo tiene cuatro fuentes de abastecimiento de agua a las unidades del proceso: Fuente de agua blanda, Fuente de agua fresca, Fuente de condensado puro y Fuente de condensado dulce. Se incluye las principales catorce unidades de proceso que utilizan agua y se representa el canal de drenaje que en este caso es un río como sistema receptor de las aguas residuales.

El ingenio representado muele 891 t/h de caña y consume alrededor de 9850 t/h de agua fresca para un índice de consumo de 11.05. Este índice de consumo está altamente influenciado por la cantidad de agua de inyección a los condensadores barométricos que está en el orden de 9000 t/h.

Otro aspecto a evaluar en este esquema es la descarga de agua residual al rio 10150 t/h. Este valor está grandemente influenciado por el agua de rechazo de los condensadores barométricos 9178.0 t/h.

Figura. 1. Diagrama de distribución de agua en una industria de la caña de azúcar.



DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo desarrollado para el caso de estudio se basa fundamentalmente en restricciones de balance de agua a la entrada de cada unidad de proceso, restricciones de balance de agua a la salida de cada unidad de proceso, restricciones para controlar la calidad del agua que entra a cada unidad de proceso. Adicionalmente tiene en cuenta diferentes fuentes de abastecimientos de agua, incluye algunas restricciones propias del proceso tecnológico y permite evaluar desde el punto de vista de los balances totales, de DQO y energía el empleo de un Enfriadero para la reutilización del agua de rechazo de los condensadores barométricos.

El modelo obtenido es un modelo de programación lineal y las ecuaciones del mismo son:

Función Objetivo

$$Min \quad \sum_{f}\sum_{i} AF_{f,i} \tag{1}$$

Balance de Materia a la entrada de la unidad i

$$\sum_{f} A_{f,i} + \sum_{i'} AR_{i',i} = AE_i \qquad \forall_i \tag{2}$$

Balance de Materia a la salida de la unidad i

$$\sum_{s} AD_{i,s} + \sum_{i'} AR_{i,i'} = AS_i \qquad \forall_i \tag{3}$$

Balance por componente (Criterio para satisfacer la calidad del agua y la cantidad de contaminantes presente en ella)

$$\sum_{f} A_{f,i} * C^{A}_{c,f} + \sum_{i'} AR_{i',i} * C^{S}_{c,i'} \leq AE_i * C^{\max}_{c,i} \qquad \forall_{c,i} \tag{4}$$

Retricciones propias del proceso

a) Se asume que toda el agua enviada para el funcionamiento de las calderas debe ser suministrada por la fuente de abastecimiento de Agua Blanda. Esta restricción se impone teniendo en cuenta que el funcionamiento de las calderas requiere de un agua que no contenga sales inorgánicas para así evitar incrustaciones y deterioro de los tubos fluses, lo que implica el consumo de productos químicos para el tratamiento interno de las calderas y el empeoramiento de la eficiencia energética.

$$\sum_{f} A_{f,"FuncCald"} = A_{"AguaBlanda","FuncCald"} \tag{5}$$

$$\sum_{i} AR_{i,"FuncCald"} = 0.0 \tag{6}$$

b) Se asume que la fuente de abastecimiento de agua blanda solamente suministra agua para el funcionamiento de las calderas y otros usos como laboratorios etc. No se emplea en otra unidad de proceso. Esto se hace teniendo en cuenta el alto costo que tiene el tratamiento de esta agua.

$$\sum_{i} A_{"AguaBlanda",i} = A_{"AguaBlanda","FuncCald"} \tag{7}$$

c) Se asume que toda el agua que sale después de ser utilizada en los sellos de las bombas debe ser descargada a un sistema receptor. Esta es un agua altamente contaminada con grasas y aceites y no es posible reutilizarla en el proceso.

$$\sum_{i} AR_{"SellosBombas",i} = 0.0 \tag{8}$$

d) Toda el agua utilizada para el lavado de las parrillas de las calderas debe ser descargada a un sistema receptor. Esta agua se caracteriza por tener altas concentraciones de cenizas y bagazo por lo tanto no puede ser reutilizada en otra unidad de proceso.

$$\sum_i AR_{"LavParrCald",i} = 0.0 \tag{9}$$

Balances en el Enfriadero

Balance total de agua

$$\mathrm{AF}^{\mathrm{Repo}} + A_{cond}^{\mathrm{Re}ch} = A^{Arras} + A^{\mathrm{Re}s} + A^{Iny} + A^{Evap} \tag{10}$$

Balance de DQO

$$AF^{\mathrm{Re}po} * DQO^{\mathrm{Re}po} + A_{Cond}^{\mathrm{Re}ch} * DQO^{\mathrm{Re}ch} = A^{Arras} * DQO^{Enf} + A^{\mathrm{Re}s} * DQO^{Enf} + A^{Iny} * DQO^{Enf} \tag{11}$$

Balance de Energía

$$AF^{\mathrm{Re}po} * H^{\mathrm{Re}po} + A^{\mathrm{Re}ch} H^{\mathrm{Re}ch} = A^{Arras} H^{Enf} + A^{\mathrm{Re}s} H^{\mathrm{Re}s} + A^{Iny} H^{Iny} + A^{Evap} H^{V} \tag{12}$$

Balances en los condensadores barométricos

Balance total de agua

$$F_{Cond}^{Vapor} + A_{cond}^{Iny} = A^{\mathrm{Re}ch} \tag{14}$$

Balance de energía

$$F_{Cond}^{Vapor} * H^{V} + A_{cond}^{Iny} H^{Iny} = A^{\mathrm{Re}ch} H^{\mathrm{Re}ch} \tag{15}$$

Balance de DQO

$$F_{Cond}^{Vapor} * DQO^{V} + A_{Cond}^{Iny} * DQO^{Iny} = A_{Cond}^{\mathrm{Re}ch} * DQO^{\mathrm{Re}ch} \tag{16}$$

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Antes de comenzar a explicar los principales resultados obtenidos con la aplicación del modelo anterior al caso de estudio es necesario exponer algunos pasos metodológicos a seguir para resolver adecuadamente un problema de este tipo.

1. El primer paso consiste en construir un diagrama de flujo de agua del ingenio donde aparezcan identificadas todas las corrientes de aguas del ingenio sus flujos, valores de DQO, temperatura, PH, Conductividad y otros. En este esquema deben aparecer representadas todas las unidades de proceso, fuentes de abastecimiento de agua del ingenio, sistemas receptores y sistemas de tratamiento de agua.

2. El segundo paso consiste en resolver un modelo de balance de agua del ingenio para obtener información de los valores de flujo de cada una de las corrientes. A partir de aquí se conoce el agua que entra y sale de cada unidad de proceso.

3. El tercer paso consiste en obtener información de los costos asociados al consumo de agua fresca, costos por vertimiento de agua residual, costos del tratamiento de agua y costos del reuso/reciclo de agua entre unidades de proceso.

4. A partir de la información anterior se debe construir un modelo matemático cuya función objetivo permita minimizar todos los costos asociados y las restricciones tengan en cuenta los requisitos de calidad del agua para ser utilizada en una unidad de proceso, la eficiencia de los sistemas de tratamientos y los balances en cada unidad del proceso.

5. Utilizar una herramienta de software como GAMS, MATLAB para resolver el modelo anterior y obtener los resultados.

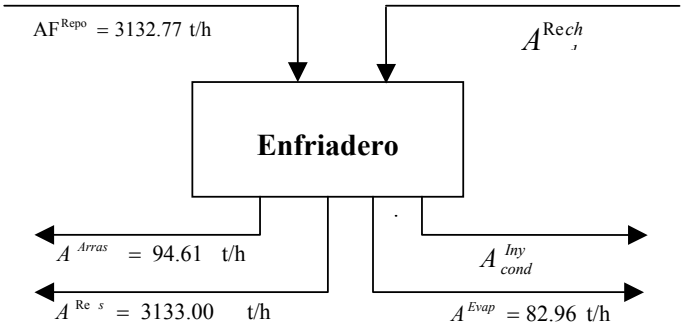
6. Dar una interpretación correcta de los resultados que no entre en contradicción con la física del problema. Si esto ocurriera se debe ir al paso anterior y tratar de expresar mediante relaciones matemáticas un mejor acercamiento del modelo a la realidad.

Para aplicar el modelo matemático al caso de estudio se reunió información de las concentraciones de DQO y temperatura de cada una de las corrientes de agua del ingenio y se decidió minimizar el consumo total de agua fresca.

En la figura 2 se reflejan los principales resultados obtenidos después de la aplicación del modelo matemático. Al comparar ambos esquemas se observa que en la figura 1 el índice de consumo de agua fresca es de 11.05 mientras que en el esquema optimizado de la figura 2 este índice es de 0.55. Por otro lado los valores del agua de descarga disminuyen un 67 % entre un esquema y otro.

El esquema de la figura 2 incluye el cálculo de un Enfriadero para reciclar el agua de rechazo de los condensadores barométricos y esto es un factor importante para disminuir el consumo de agua fresca y la descarga de agua residual.

Para el cálculo del Enfriadero se consideró que la DQO de salida del Enfriadero es $(DQO_{Enf}^{Sal} = 200 mg/l)$ y la temperatura de salida $(T_{Enf}^{Sal} = 40^{o}C)$.Se asumió una perdida de 0.8 % por arrastre de agua. Los principales resultados fueron:



La otra unidad de proceso que sale calculada dentro del modelo es los condensadores barométricos. En este caso se supone conocido el flujo de vapor que entra a los condensadores F_{Cond}^{Vapor} = 177.79 t/h , la

temperatura a que entra este vapor $T_{Cond}^{Vapor} = 61.5^{o}C$ y la concentración de DQO a la salida $DQO^{Rech} = 250mg/l$.

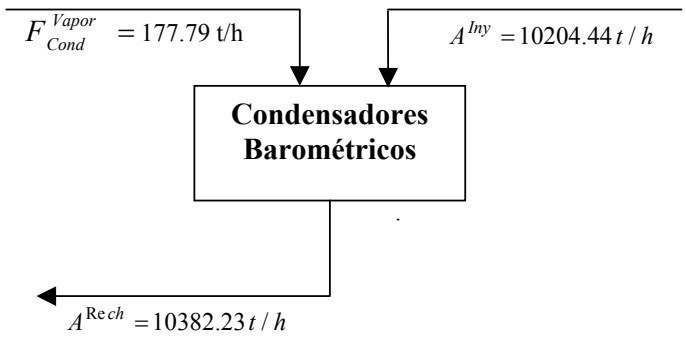
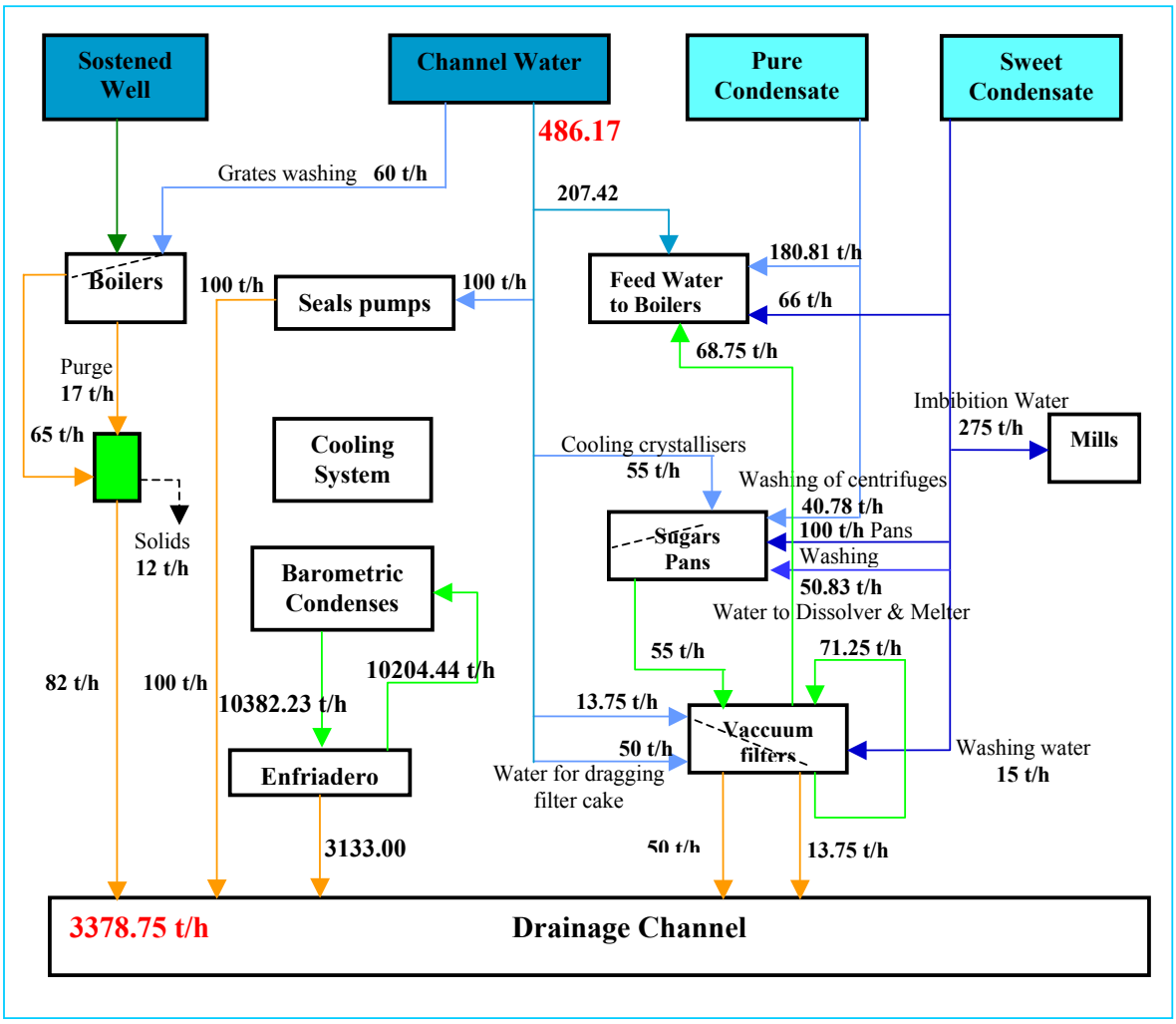


Figura # 2: Diagrama optimizado de distribución de agua de un ingenio azucarero.



CONCLUSIONES

- Se implementó un modelo de programación matemática que permite identificar estrategias para la optimización del consumo de agua, la disminución del agua residual y el máximo aprovechamiento del agua de reuso/reciclo.

- Se expuso una metodología de trabajo para resolver el problema.

- Se identificó un caso de estudio relacionado con el consumo de agua en la industria azúcarera. Se elaboró los diagramas de flujos, se midió la DQO y la temperatura a la entrada y salida de cada corriente y se seleccionaron un total de catorce unidades de proceso y cuatro fuentes de abastecimiento de agua.

- Los resultados de la aplicación del modelo al caso de estudio muestran una reducción significativa del índice de consumo de agua fresca a 0.55 y la descarga de agua residual disminuyó en un 67 %. Esto se traduce en una disminución de los costos de agua fresca y los impuestos que se paga por verter al río y dañar el medio ambiente.

- La incorporación de un Enfriadero para disminuir la temperatura del agua de rechazo de los condensadores y reusar esta agua, muestra un efecto importante en la disminución del consumo de agua fresca y la descarga de agua residual.

REFERENCIAS

1. Almato M., Sanmartí E., Espuña A., Puigjaner L., (1998). A Software tool to achieve minimum water demands in batch process industry. AIChE Annual Meeting, Miami.
2. Galán B., Grossman I.E., (1999), Optimization Strategies For The Design and Synthesis of Distributed Wastewater Networks, Comp. Chem. Eng. Sup., pp. S161-S164.
3. Hurtado R., Ribas M.,Sabadí R., De Armas C., Rostgaard L., (2002) Análisis of sugar production flowsheets. Part II: Software tool and case study. PRES2002
4. Ribas M., Hurtado R., Sabadí R., De Armas C., Rostgaard L., (2002) Análisis of sugar production flowsheets. Part I: Mathematical modelling. PRES2002.
5. Rossiter A. P., (1995). Waste Minimization Through Process Design, Edit. McGraw-Hill, New York.
6. Sabadí R., Ribas M., Hurtado R., De Armas C., Rostgaard L., (2002) Análisis of sugar production flowsheets. Part III: Balances at equipment and operation level. PRES2002.
7. Takama, N., Kuriyama, T., Shiroko, K., Umeda, T,(1981) On the formulation of optimal water allocation problem by linear programming , Comp. Chem. Eng., 5(..)119-121.
8. Wang, I., R. Smith., (1994). Design of distributed effluent treatment. Chemical Engineering Science, 49: 3127-3145.
9. Wang, I. P., Smith R. (1994) Wastewater Minimisation. Chem. Eng. Sci., 49, pags. 981-1006.

NOTACION

$A_{f,i}$: Flujo de agua que entra a la unidad i de la fuente de abastecimiento f (t/h).

$AR_{i',i}$: Flujo de agua de reuso de la unidad i' en la unidad i (t/h).

AE_i : Flujo de agua total que entra a la unidad i (t/h).

AS_i : Flujo de agua total que sale de la unidad i (t/h).

$C^A_{c,f}$: Concentración del contaminante c en el agua suministrada por la fuente de abastecimiento f (mg/l).

$C^S_{c,i}$: Concentración del contaminante c a la salida de la unidad i (mg/l).

$C^{\max}_{c,i}$: Máxima concentración permitida del contaminante c a la entrada de la unidad i (mg/l).

AF^{Repo} : Flujo de agua de reposición del enfriadero (t/h).

DQO^{Repo} : Concentración de DQO de reposición del enfriadero (mg/l).

H^{Repo} : Entalpía de reposición del enfriadero (Btu/lb).

A^{Rech}_{cond} : Flujo de agua de rechazo del condensador barométrico (t/h).

DQO^{Rech} : Concentración de DQO del agua de rechazo de los cond. Baro. (t/h).

H^{Rech} : Entalpía de rechazo de los condensadores barométricos (t/h).

A^{Arras} : Flujo de agua de arrastre del Enfriadero (t/h).

A^{Res} : Flujo de agua residual del Enfriadero (t/h).

A^{Iny}_{cond} : Flujo de agua de inyección a los condensadores barométricos (t/h).

H^{Iny} : Entalpía del agua de inyección a los condensadores baro. (Btu/lb).

A^{Evap} : Flujo de agua evaporada en el Enfriadero (t/h).

DQO^{Enf} : Concentración de DQO a la salida del Enfriadero (mg/l).

H^{Enf} : Entalpía a la salida del Enfriadero (Btu/lb).

H^{V} : Entalpía del vapor asociado al agua evaporada (Btu/lb).

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo dado al proyecto WESAP (INT/01/K07), financiado por el fondo fidiusiario Perez Guerrero del grupo de los 77 del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

INDICE DE REUSO DEL AGUA EN INGENIOS AZUCAREROS

Humberto Heluane, *Alejandra Ingaramo* , *Mauricio Colombo*, *Mario Cesca*

Departamento de Ingeniería Química- Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
Universidad Nacional de Tucumán
Av. Independencia 1800 (T4002BLR) - S. M. de Tucumán – Argentina
☎ 54-381-4364093 Int. 101- e-mail : *mcesca@herrera.unt.edu.ar*

Palabras Clave: Ciclos de re uso de agua, Industria azucarera, Medio Ambiente

Resumen

El desarrollo de nuevas técnicas que permitan el análisis y ahorro de recursos naturales limitados es indispensable. Una práctica común es realizar balances detallados y analizar diferentes configuraciones para el uso del agua en las distintas industrias. En este trabajo se presenta una metodología alternativa, mediante el cálculo de un índice que permite diagnosticar la eficiencia del uso del agua, analizar las mejoras incorporando sistemas de reuso y comparar cómo se emplea el agua en distintos ingenios. .
Para el cálculo del índice es necesario estudiar circuitos de reuso del agua. Se asumen ciertos rendimientos dentro de los ciclos de reuso planteados a los que se consideran óptimos.
A modo de ejemplo, se calculó el índice para la situación operativa y estructural del Ingenio Concepción (Tucumán, Argentina) y se analizan las mejoras relativas para las distintas estrategias de reuso del agua.

WATER REUSE INDEX IN SUGAR INDUSTRIES

Keywords: Water reuse, Minimization, Sugar industry, Environment

Abstract

The development of new techniques that allow the analysis and saving of limited natural resources is indispensable. A common practice is to carry out detailed balances and to analyze different configurations for the use of water in different industries. In this work an alternative methodology is presented, by means of the calculation of an index that allows to diagnose the efficiency of the use of water, to analyze the improvements for inclusion of reuse systems and to compare how the water is used in different geniuses. .
For the calculation of the index it is necessary to study possible circuits of water reuse. Acceptable yields of the water reuse cycles are assumed.
The index was calculated for the operative and structural situation of the Concepción Mill (Tucumán, Argentina) and the relative improvements are analyzed for the different strategies of water reuse.

Introducción

Si bien las industrias de procesamiento de alimentos no se encuentran entre las mas agresivas para el medio ambiente, éstas pueden causar una severa contaminación orgánica si son diseñadas u operadas sin una política adecuada de protección del medioambiente. Entre los problemas ambientales comúnmente asociados a la industria alimentaria se pueden mencionar alto consumo de agua, generación de efluentes líquidos con alta carga orgánica, grandes cantidades de residuos sólidos, etc.
El agua necesaria en el proceso de fabricación de azúcar puede provenir dos fuentes:

- el agua contenida en la caña de azúcar y que se obtiene en los procesos de evaporación, cocimiento de crudo y refinería, y

- el agua de cursos y pozos naturales que se consume principalmente en los condensadores barométricos, en el lavado de gases, como agua de refrigeración para las turbinas y máquinas, etc.

La filosofía de efluente cero plantea la reutilización de agua de manera de reducir lo más posible la cantidad de agua fresca alimentada al proceso de fabricación (Hsieh, et al, 1995). Esto contribuye a un ahorro económico importante y a la conservación de los recursos naturales.
Desde el punto de vista ambiental, la reutilización de agua en la industria debe ser considerada como una parte esencial de todo proceso productivo por lo que convendría definir la mayor cantidad de ciclos de reuso de agua residual que puede usarse directamente en otras operaciones siempre que las propiedades físico químicas (temperatura, contenido de contaminantes, etc) lo permitan.
Este trabajo tiene como objetivo establecer una metodología que permita determinar la eficiencia en el uso del agua de ingenios azucareros de forma tal que puedan evaluarse configuraciones alternativas de reuso de agua, y a la vez sirva de patrón de referencia para comparar distintas plantas en cuanto a la utilización de este recurso natural.. Para ello se postularon seis posibles ciclos de reuso de agua que se plantearon teniendo en cuenta el contenido de contaminantes en cada corriente. Se asumen para cada ciclo pérdidas y/ó purgas. Se define un índice que permite medir cuán cerca se está de usar la mínima cantidad de agua fresca y se lo calcula para un caso de estudio.

Ciclos de reuso de agua

Se asume en este trabajo que son seis los circuitos posibles de reuso de agua:

- De recuperación de los condensados de vapor vegetal (o agua interna (Hsieh, 1995))
- De generación de vapor de caldera
- Agua de condensadores barométricos
- De lavado de humos y grillas
- De refrigeración de máquinas motrices
- Agua de cristalización y filtros de vacío

Las características de cada uno de ellos se detallará a continuación.
El circuito 1 recupera los condensados de vapor vegetal provenientes de los evaporadores y tachos de cocimiento para utilizarlos como agua de imbibición, agua de lavado en centrífugas de crudo y refinado, agua de disolución en refinería, lavado de tachos, trapiche y filtros. Esta es una estrategia de reuso que se emplea en todos los ingenios azucareros con diverso grado de integración. Para eliminar gases incondensables es necesario realizar una purga en este circuito mediante venteo de vapores. Por otro lado el exceso de condensado arrastra azúcares y por tal motivo se lo mezcla con la purga del circuito 3 que también contiene azúcares y se lo vierte al ambiente.
El circuito 2 es el de generación de vapor de caldera. El vapor que se genera se condensa y retorna a la caldera después de ser usado. Este es un circuito que es de uso generalizado al presente. Existen algunas pérdidas de vapor ó condensado debido al goteo en las juntas, al accionamiento de válvulas de seguridad, etc. Para mantener la concentración de sólidos en el agua de la caldera es necesario purgar por medio de una corriente de agua que tiene solamente sales disueltas por lo que sería viable reusarla para el lavado de humos y grillas. El agua de reposición de la caldera es agua ablandada.
El circuito 3 es el de agua de condensadores barométricos. Esta representa el mayor volumen de agua usada en el proceso de fabricación de azúcar y puede ser reciclada empleando torres de enfriamiento u otro sistema de enfriamiento para mantener una diferencia de temperatura entre la entrada y salida del condensador. En este circuito hay pérdidas asociadas a la evaporación y al arrastre producido en el proceso de enfriamiento. Para evitar la concentración de azúcares en este circuito es necesario realizar una purga continua. Usualmente, el agua de reposición proviene de cursos de agua próximos a la fábrica.
El circuito 4 corresponde al lavado de humos y grilla . Los efluentes del limpiador de gases y parrilla pueden ser filtrados y usados nuevamente como alimentación en el sistema. En este circuito existen pérdidas por evaporación y arrastre. Para compensarlas, se alimenta al sistema agua fresca proveniente del canal y puede usarse además la purga de la caldera ya su carga de contaminantes (fundamentalmente

sales) es compatible con la circula en este sistema. El efluente resultante del sistema de filtrado es un lodo que podría ser secado y usado para acondicionar el suelo.

El circuito 5 corresponde a la refrigeración de máquinas motrices. Para poder implementarlo es necesario disponer de un sistema de enfriamiento. Además, el agua que circula arrastra aceite y grasa y por lo tanto será necesario contar con un separador. Las pérdidas por evaporación son pequeñas. El efluente en este caso es grasa y aceite y prácticamente no contiene agua.

El último circuito considerado es el 6, que permite usar nuevamente el agua utilizada para cristalización y filtro de vacío. En este caso el incremento de temperatura del agua es poco y por lo tanto las pérdidas despreciables. En los dos últimos circuitos mencionados se utiliza agua proveniente del canal.

En la Figura 1 se esquematizan los seis ciclos de reutilización de agua propuestos.

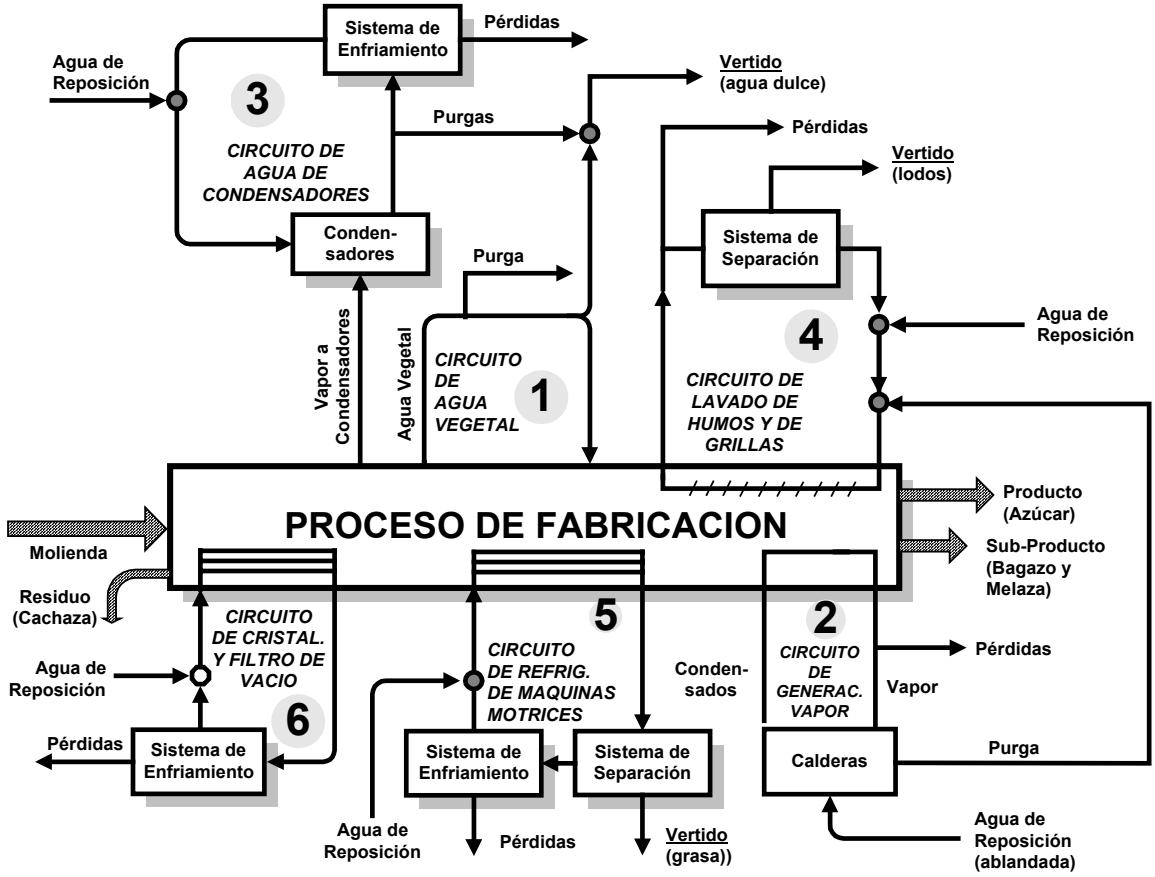


Figura 1: Circuitos de reuso de agua

Indice de reuso de agua

Para medir la eficiencia con la que se utiliza el agua en un ingenio azucarero se define un Indice de Reuso de Agua (*IRA*) como:

$$IRA = \frac{Agua\ Real\ Consumida - Agua\ Mínima}{Agua\ Máxima - Agua\ Mínima}$$

donde,

Agua real consumida: es la cantidad de agua externa (fresca) cada 100 toneladas de caña molida que se debe suministrar al proceso.
Agua Mínima: se define como la mínima cantidad de agua externa por cada 100 toneladas de caña que se debe proporcionar al proceso suponiendo que se reusa el agua usando los 6 circuitos planteados en la Figura 1 con niveles óptimos de rendimiento en los distintos ciclos.
Agua Máxima: la cantidad de agua externa que se debe introducir en el proceso por cada 100 toneladas de caña si no se hace ningún reuso de agua, como se muestra en la figura 2.
El índice (*IRA*) puede tomar dos valores extremos: cero cuando el agua externa es la mínima necesaria para el proceso de fabricación y 1 cuando el agua que consume es la máxima .

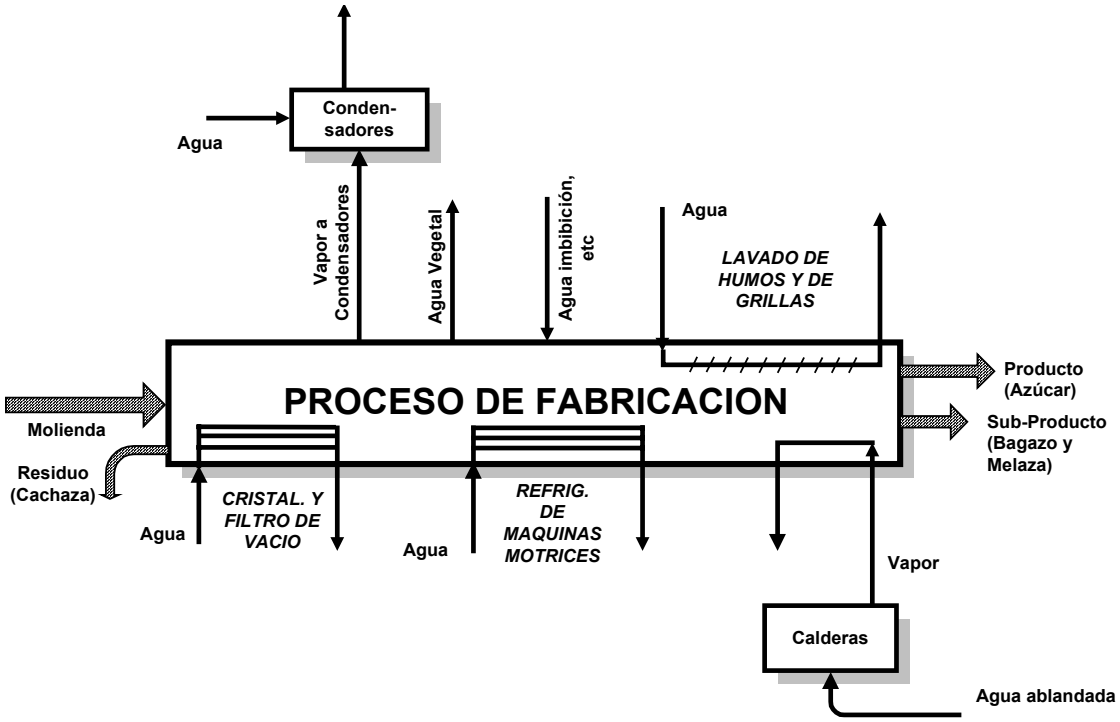


Figura 2: Proceso sin incluir ningún reuso de aguas.

La metodología para poder calcular el índice de reuso de agua (*IRA*) es la siguiente:

- Se esquematiza el proceso de fabricación detallando los flujos de agua que ingresan ó salen a través de las fronteras de todo el proceso de obtención de azúcar de manera de poder calcular el agua externa real consumida.
- Se calcula el Agua Máxima mediante la siguiente ecuación:

$$A_{Máx} = \sum Agua\ en\ productos - Agua\ en\ caña + \sum Pérdidas\ máximas$$

- Se calcula el Agua Mínima considerando la existencia de los 6 circuitos en el proceso (ver Figura 1), cada uno de ellos trabajando con eficiencias optimas y adoptando las mínimas pérdidas y purgas posibles. Se usa la siguiente ecuación:

$$A_{Min} = \sum Agua\ en\ productos - Agua\ en\ caña + \sum Pérdidas\ mínimas + \sum Purgas\ mínimas$$

Los criterios que definen los niveles óptimos de rendimiento para cada circuito se detallan en la Tabla I.

- Se calcula el índice (*IRA*).

Tabla I: Valores de pérdidas y purgas postulados para el cálculo de Agua Mínima.

Corriente	*Valor*
Circuito 1	
Purga	2% del vapor vegetal generado
Perdidas	Se calculan a partir del balance de masa
Circuito 2	
Purga	Para mantener los valores límites de sólidos solubles suspendidos de acuerdo con la presión de generación de vapor (Kemmer,1988a)
Pérdidas	4% del vapor generado en la caldera
Circuito 3	
Purga	Valor que asegure concentración de azúcares en el agua que ingresa a las torres sea 10 veces la del vapor que condensa
Pérdidas	Evaporación en las torres: 1% del caudal circulante por cada 10 ºF de disminución de temperatura. (Kemmer,1988b). Arrastre en las torres: 0.2% del caudal circulante.(Ludwig, 1964)
Circuito 4	
Lodos	2.6 t/100t caña (Hsieh, 1995)
Pérdidas	Evaporación y arrastre 3 t/100 t de caña (Hsieh, 1995)
Circuito 5	
Pérdidas	0.9 % del agua de refrigeración que circula

Caso de estudio

Se aplicará la metodología propuesta para calcular el índice (*IRA*) del ingenio Concepción ubicado en Tucumán (Argentina). Esta fábrica que produce el 20% del total de azúcar producido en Argentina, es un complejo agroindustrial alcoholero-azucarero y tiene una capacidad de molienda de 24.000 toneladas de caña por día. Los productos que genera son: 272.000 t/año de azúcar refinado para mercado interno y para exportación, 48.000 t/año de azúcar crudo para exportación y 30.000.000 lt/año de alcohol. La zafra en Tucumán corresponde a un período de bajas precipitaciones por lo que sería deseable reducir el consumo de agua externa.
El agua máxima se calculó considerando que no existe ningún circuito de reuso de agua (Figura 2) y los caudales de agua de las corrientes que resultan en este caso se muestran en la Tabla II.

Tabla II: Flujos de agua para el proceso del Ingenio Concepción sin ningún circuito de reuso

Corriente	*Caudal de agua (t / 100 t caña)*
Caña	68
Cachaza	3
Azúcar	0
Bagazo	18
Melaza	0.4
Agua vegetal generada	77.4
Agua de imbibición, lavado de trapiche, lavado en centrífuga de crudo y refinado, lavado de tachos crudo y refinado y filtros	55.2
Vapor vivo generado	61.2
Agua de reposición ablandada	61.2
Agua para condensadores barométricos	794
Agua de lavado de humos y grilla	75.2
Agua de enfriamiento para máquinas(molinos y turbogenerador)	61.2
Agua de cristalizadores y filtro de vacío	21.9

Para calcular el valor del agua mínima, en base a información relevada, se determinaron los flujos de agua de las corrientes correspondientes a la Figura 1 y se calcularon las pérdidas y purgas (mínimas) como se indicó en la Tabla I. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla III.

Tabla III: Flujos de agua para el proceso del Ingenio Concepción con máximo reuso

Corriente	*Caudal de agua (t / 100 t caña)*
Caña	68
Cachaza	3
Azúcar	0
Bagazo	18
Melaza	0.4
Circuito 1	
Agua vegetal generada	77.4
Agua vegetal re-utilizada	55.2
Purga	1.5
Agua vertida al ambiente	20.7
Circuito 2	
Vapor vivo generado	61.2
Purga	1.9
Pérdidas	1.1
Agua de reposición	3
Circuito 3	
Vapor a condensadores	24.3
Alimentación al condensador	794
Purga	2.4
Pérdidas	23.1
Agua de reposición	1.2
Circuito 4	
Agua de lavado de humos y grilla	75.2
Lodos	2.6
Pérdidas	3.0
Agua de reposición	3.7
Circuito 5	
Flujo de agua de refrigeración de máquinas	61.2
Pérdidas	0.2
Agua de reposición	0.2
Circuito 6	
Agua de cristalizadores y filtro de vacío	21.9
Agua de reposición	0
Pérdidas	0

En este momento el Ingenio Concepción tiene implementado solamente dos circuitos de reuso de agua como se muestra en la Figura 3.

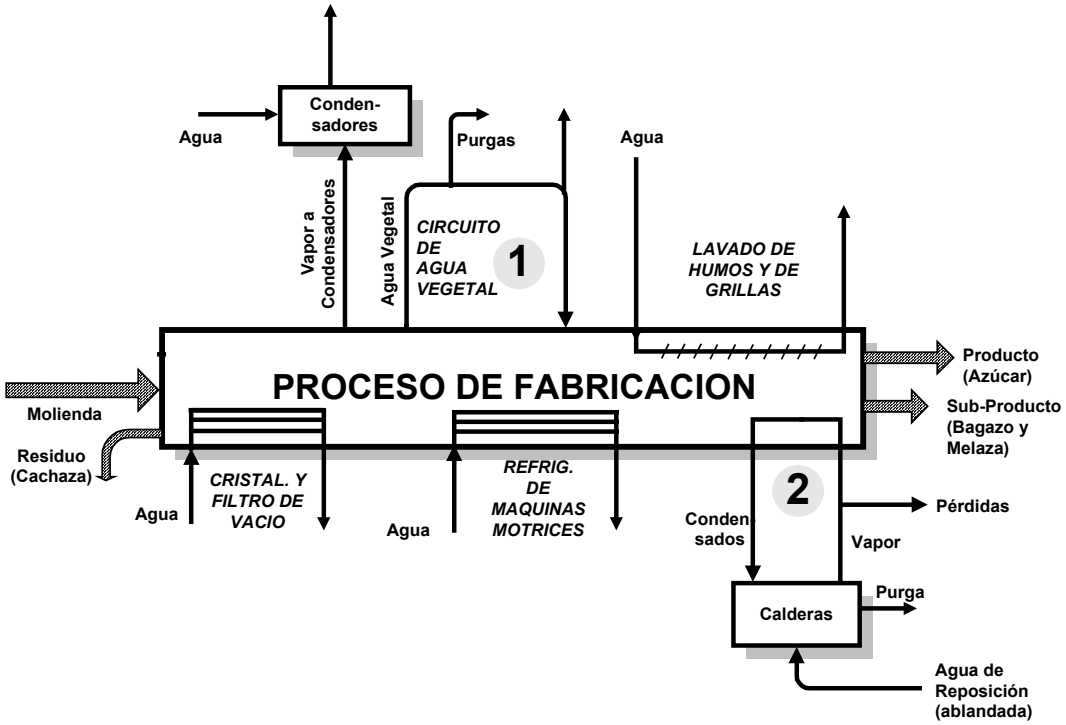


Figura 3: Circuitos de reuso de agua en el Ingenio Concepción.

En base a las ecuaciones, los valores y diagramas mostrados, se calcularon el agua mínima, agua máxima, agua real consumida e *IRA* como se muestra en la Tabla IV.

Tabla IV: Valores calculados para el Ingenio Concepción.

Agua Mínima	8.1
Agua Máxima	1068
Agua Real consumida por Ing. Concepción	955.3
IRA	0.89

Si el ingenio implementara los otros 4 ciclos y trabajara en con la más alta eficiencia, disminuiría el consumo de agua externa de 955.3 a 8.1 t por cada 100 t de caña molida lo que permitiría un ahorro importante. El índice (*IRA*) que da 0.89 indica que hay grandes posibilidades de reuso de agua. Si a la estructura actual que posee el ingenio se le agrega el ciclo de lavado de humos y grilla el valor del índice disminuye de 0.89 a 0.83, mientras que agregando a la estructura actual sólo el ciclo de condensador barométrico baja el *IRA* de 0.89 a 0.15. Esto muestra la importancia relativa de implementar este circuito ya que el índice *IRA* es muy sensible a la presencia ó no del circuito 3. La Tabla IV muestra los distintos valores del índice *IRA* según los ciclos considerados en el ingenio Concepción.

Tabla IV: Valores calculados para Ing. Concepción con diferentes estructuras de reuso de agua

Circuitos de reuso	*IRA*
1 y 2	0.89
1, 2 y 4	0.83
1, 2 y 3	0.15

El ingenio en cuestión puso en práctica una recirculación directa de agua de salida en los condensadores barométricos, que sería una implementación del circuito de reuso 3, con lo que se logró disminuir el consumo de agua destinada a condensadores de 794 a 750 t/t caña. De esta forma el IRA disminuyó a 0.86.

Valores de *IRA* bajos implican volúmenes de agua contaminada menores que se descargan al ambiente y una menor carga térmica. El empleo del *IRA* como indicador se debería complementar con otro índice que mida el impacto ambiental de los efluentes, de modo que la implementación de los circuitos se realice en forma sustentable.

Conclusiones

- Se definió un índice que permite analizar la eficiencia de utilización de agua en los ingenios azucareros. Dicho índice se basa en el consumo actual de agua de la fábrica respecto a dos valores de referencia.
- Se definió una metodología sistemática para calcular el índice.
- Se hizo el cálculo del índice (*IRA*) para un ingenio de la región y se mostró como emplearlo para el diagnóstico de la situación presente.
- Se constató que los mayores incentivos para reusar el agua se encuentran en el circuito de agua de condensadores que llevaría el *IRA* de 0.89 a un valor límite de 0.15.

Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado en el marco de los Proyectos WESAP (INT/01/K07 - financiado por The Perez Guerrero Trust Fund of the Group of 77 a través del Programa de la Naciones Unidas Para el Desarrollo (PNUD) e Ingeniería de Sistemas de Procesos (auspiciado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán). Esta investigación no podría haber sido llevada adelante sin la invalorable cooperación del personal técnico del Ingenio Concepción.

Referencias

Hsie, W., H Sheen and C. Chen (1995). "An Approach to Zero Effluent in Cane sugar Factories", *Proc. XXII Congr. ISSCT*, vol. 1, pp 226-231.

Kemmer , F.N. (1988a) *The NALCO Water Handbook*, Section 38, 2nd ed., McGraw Hill, New York.

Kemmer , F.N. (1988b) *The NALCO Water Handbook*, Section 39, 2nd ed., McGraw Hill, New York.

Ludwig, E.E. (1964) *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*, Vol. 2. Gulf Publishing Co., Houston;TX, pp 194-199.

NUEVO ENFOQUE DE LA GESTIÓN AMBIENTAL EN LAS FUENTES CONTAMINANTES DE LA BAHÍA DE LA HABANA

Lic. Tamara del Castillo Pomares.
Lic. Johanna Socarrás Stable.
GTE Bahía Habana.
e-mail- gte @ transnet.cu

1. Introducción

La Bahía de la Habana representa un ecosistema costero de gran importancia desde el punto de vista marítimo-portuario, industrial, turístico recreativo y paisajístico cultural siendo una zona de alto valor económico en cuya cuenca tributaria se asientan más de 54 fuentes contaminantes, entre industrias e instalaciones de servicio, que vierten sus residuales líquidos a este cuerpo receptor a través de su cuenca hidrográfica tributaria integrada por los ríos Luyano, Martín Pérez y Arroyo Tadeo.

Los problemas de contaminación y degradación ambiental de la Bahía de La Habana se deben a un proceso acumulativo de más de 400 años, originado por un desarrollo anárquico del asentamiento poblacional, que se agudiza con el crecimiento demográfico de las últimas décadas y con el impresionante desarrollo de la actividad marítimo-portuaria, la que, dada su situación geográfica, favoreció el rápido asentamiento que lo llevó a convertirse en el puerto comercial más importante de las colonias españolas en América.

De esta manera, el desarrollo industrial, carente en la mayoría de los casos de sistemas de tratamiento adecuado para el manejo de los residuos, la acumulación de sustancias contaminantes, la baja capacidad de autodepuración natural del ecosistema, han provocado que en la Bahía de La Habana se originen problemas ambientales que se reflejan en olores desagradables, afectaciones al paisaje, agresividad al medio ambiente, deterioro sanitario y una reducción de la diversidad biológica.

La Industria cubana, involucrada en un proceso de perfeccionamiento de su gestión, y en cuyo proceso la introducción de la dimensión ambiental es de suma importancia, se interesa por optimizar su desempeño ambiental y a esos efectos se plantean estrategias ambientales que se materializan en planes de acción a corto, mediano y largo plazo, que aseguren un positivo y armónico accionar con el entorno que las rodea, garantizando una mejor imagen ante la comunidad y los clientes y mayor competitividad en el mercado, sin olvidar que una mejoría en el desempeño ambiental puede conducir a importantes beneficios económicos.

De acuerdo con lo antes expuesto, se desprende la necesidad de diseñar un nuevo enfoque de trabajo en la gestión ambiental, que permita introducir y aplicar el concepto de producción más limpia de forma integral y sistémica dentro del sector productivo, haciendo énfasis en la prevención de la contaminación, la minimización y el aprovechamiento económico de los residuales, como principales opciones para reducir las cargas contaminantes dispuestas al medio ambiente en las condiciones de nuestro país.

A pesar de la carencia de recursos financieros, existe una voluntad política, tanto a nivel local como nacional, para emprender un programa efectivo de saneamiento ambiental que a su vez permita potenciar su desarrollo y competitividad en la región.

La creación del Grupo de Trabajo Estatal para el Saneamiento, Conservación y Desarrollo de la Bahía de La Habana, como autoridad encargada de organizar, coordinar y controlar el Programa de Saneamiento y la Gestión Ambiental a nivel local; el estudio y promulgación de documentos normativos y la actualización de la Legislación sectorial y ambiental vigente; la decisión de cobrar a los usuarios de la Bahía tasas o impuestos por diferentes conceptos para por esta vía obtener un mínimo de recursos financieros locales para la implementación del Programa de Saneamiento Ambiental; el cumplimiento de medidas correctivas a corto, mediano y largo plazo por parte de las fuentes contaminantes inventariadas y la asignación por parte del sector industrial asociado y la administración local de recursos financieros

destinados a disminuir los aportes de las fuentes directas e indirectas de contaminación, son indicios claros de los cambios de tipo institucional, jurídico, administrativo, económico y financiero que se están operando.

En la Bahía de La Habana deben operarse cambios en su gestión ambiental, progresivamente orientados a la sostenibilidad de su desarrollo, para estos cambios deben operarse también en el interior de las entidades que inciden en su situación ambiental y participan en su saneamiento.

Para gestar estos cambios, además de recursos financieros y materiales, es preciso capacitar a los recursos humanos encargados de ejecutar las acciones correctivas propuestas, innovar, asimilar nuevas tecnologías y participar en un proceso continuo de perfeccionamiento de la gestión ambiental que permita pasar a formas integradas de manejo ambiental.

Fue en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), celebrada en Río de Janeiro en 1992, cuando se puso por primera vez de relieve que el sector Empresarial desempeña una función decisiva en el logro de un desarrollo sostenible. Sin embargo el gremio empresarial fue el gran ausente de Río, mientras que diez años después, en la Cumbre de Johannesburgo, este sector tuvo una representación tan decisiva e importante, que muchos consideraron este asalto empresarial a la Cumbre Sudafricana como una estrategia colectiva en política de marketing ecológico promovida fundamentalmente por lo que representa el discurso ambiental en las grandes masas de consumidores identificados con los temas ecológicos gracias, al fomento de ***La Educación Ambiental***.

La tendencia mundial actual está dirigida hacia una nueva **cultura ambiental empresarial**, *la cultura de la prevención voluntaria de la contaminación ambiental*, del manejo sustentable de los recursos naturales y de la seguridad industrial, producto de lo cual se exige cada vez con mayor fuerza, que tanto empresas como productos sean amigables con el medio ambiente, al tiempo que se desarrolla un proceso de preparación para insertarse en un mercado que cada día exige más que los procesos productivos, productos y servicios se ajusten a las exigencias que garanticen la conservación del medio ambiente.

Los últimos años han sido testigos de la evolución del sector empresarial, en torno a la incorporación de la dimensión ambiental dentro de sus estrategias de desarrollo, lo cual ha transitado del desinterés o la actitud defensiva hacia la aceptación y reconocimiento de la importancia de un adecuado desempeño ambiental, como base fundamental para alcanzar un crecimiento sostenible de los indicadores socio económicos y productivos.

El sector empresarial cubano no ha quedado al margen de estas realidades, y en los últimos años se ha ido insertando de forma gradual en un proceso de perfeccionamiento, con el objetivo fundamental de alcanzar mayores niveles de eficiencia, rentabilidad y protección ambiental.

El objetivo principal de nuestro trabajo es:

Perfeccionar los Planes de Medidas de las fuentes contaminantes de la Bahía de La Habana bajo un enfoque preventivo, logrando de esta forma un mejor aprovechamiento del agua la energía y los desechos y residuos.

2. Materiales y Métodos.

En la Estrategia Ambiental Nacional lanzada por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente en Junio de 1997, se indican "*las vías idóneas para preservar y desarrollar los logros ambientales alcanzados por la Revolución, superar los errores e insuficiencias detectadas e identificar los principales problemas del medio ambiente en el país, que requieren de una mayor atención en las condiciones actuales, sentando las bases para un trabajo más efectivo, en aras de alcanzar las metas de un desarrollo económico y social sostenible.*"

Con relación a la Caracterización de los Principales Problemas Ambientales se plantean en dicho documento los referentes a "la contaminación de las aguas interiores y marinas calificando ésta como una problemática que se ha ido agravando durante los últimos años, en lo que ha incidido, de manera especial, el estado deficiente de las redes de alcantarillado y su carácter parcial en la mayoría de los casos; el estado crítico de las plantas de tratamiento, que provoca permanezcan paradas una gran parte del año; el inoperante funcionamiento depurador de un elevado porciento de las lagunas de estabilización debido a la

falta de mantenimiento; el agravado déficit de cobertura de tratamiento de residuales en el país y los serios problemas en la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento; el decrecimiento del aprovechamiento y reuso de los residuales de la actividad agroalimentaria e industrial; y la contracción de los programas de control y monitoreo de la calidad de las aguas por falta de recursos materiales y disponibilidad financiera."

Los instrumentos para materializar la Gestión Ambiental que aplica el GTE Bahía Habana son los siguientes:

- El Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo.
- El ordenamiento Ambiental.
- La Legislación Ambiental.
- La Evaluación del Impacto Ambiental.
- La Licencia Ambiental.
- La Inspección Ambiental.
- La Investigación Científica e Innovación Tecnológica.
- Los Instrumentos de Regulación Económica.
- Los Indicadores Ambientales para la toma de decisiones.
- Proyectos de Colaboración Internacional.
- *La Educación y Divulgación Ambiental.*

A. El programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo.

En el Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo en su Capitulo 9 "Protección de los Recursos Marinos" en relación con "*Prevención, reducción y control de la degradación del medio marino por actividades terrestres"* entre las acciones se enuncian las siguientes,

- Incluir el análisis y evaluación sobre el tratamiento, manejo, reuso y disposición final de las aguas residuales en los nuevos planes de desarrollo costero, incluidos los relativos a asentamientos humanos, lo que contribuiría, además, a lograr un uso más racional del agua.
- Continuar extendiendo el aprovechamiento económico de los residuales de las principales actividades económicas y sociales con incidencia en el medio costero, como vía para reducir la contaminación del medio marino proveniente de fuentes terrestres. Promover al mismo tiempo, la introducción de producciones limpias y el reciclado.
- Promover y controlar la aplicación de medidas internas para la disminución de los volúmenes y carga de los efluentes industriales asociados al medio costero, como forma de contribuir al mantenimiento de los niveles de calidad del ambiente marino y la calidad de sus usos prioritarios.
- Mejorar los programas de vigilancia en los planos local y territorial, con el fin de controlar las descargas de efluentes contaminantes hasta los valores permisibles, así como el mantenimiento de la calidad del agua, según criterio de uso.
- Aplicar enfoques racionales para la gestión a nivel de cuencas hidrográficas, en lo que respecta al ordenamiento de las aguas residuales y desechos, así como para el control de la erosión, prácticas del uso de la tierra y desarrollo de las nuevas construcciones, con el objetivo de prevenir, controlar y reducir la contaminación y degradación del ambiente costero.

En el Capitulo 18. "Producciones limpias en la Industria y el Comercio" en sus objetivos se plantea:

- *Elevar la eficiencia en el uso de los recursos, considerando entre ellos el aumento de la reutilización y el reciclado de los desechos, reduciendo al mismo tiempo la cantidad de desechos por unidad de producción.*
- *Fortalecer el concepto de la administración responsable en la gestión ambiental y uso de los recursos naturales por las empresas.*

Entre las acciones que se orienta en nuestro trabajo recogidas en este Capitulo 18 podemos citar:

- Organizar en las entidades industriales la planificación de actividades encaminadas a aumentar la eficiencia en el uso de los recursos y las tasas de recuperación de desechos industriales, así como de metales ferrosos y no ferrosos, neumáticos, aceites, grasas lubricantes y otros desechos y subproductos recuperables.
- Promover el desarrollo, aplicación y generalización de procedimientos de producción limpia en el Sector Industrial y desarrollar las capacidades humanas e institucionales existentes con este fin.

B. El Ordenamiento Ambiental.

En nuestro trabajo de gestión se aplica el Sistema de Información Geográfica del tipo vectorial MAPINFO, en el cual los datos geográficos se representan por: puntos, líneas y áreas. (Anexo IV).

De esta forma se nos facilita el análisis de las características espaciales de las fuentes indirectas con una base de datos de las mismas, las cuales se actualizan en las visitas a las Entidades mediante Ficha Técnica. (Ver Anexo III) Contándose con una Herramienta muy útil y ágil para nuestro trabajo de gestión.

Colaboramos con el Instituto de Planificación Física con criterios técnicos en cuanto a las microlocalizaciones y macrolocalizaciones que puedan proponerse en el territorio de la cuenca hidrográfica.

C. La Legislación Ambiental.

El grupo de Gestión Ambiental hace uso continúo de la Legislación Ambiental en su trabajo con las fuentes indirectas, orientándole y entregándole los principales documentos jurídicos vigentes tales como:

- Constitución de la República. Art. #27... "el Estado protege el medio ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y el bienestar de las generaciones actuales y futuras".
- Ley # 81/1997- Ley del Medio Ambiente. Art. #13, 15, 16, 17, 28, 39, 43, 93, 95, 102,104, 106, 119, 151, 153, 155.
- Ley No. 77 De la Inversión Extranjera.
- Acuerdo del CECM #3300/1998 - Establece la creación del GTE, funciones y facultades.
- Resolución 36/1999 del MFP- Establece el pago del Impuesto sobre la utilización de la Bahía de la Habana con fines económicos, turísticos, recreativos u otros.
- Decreto Ley #200 del Consejo de Estado- De las contravenciones en materia de medio ambiente.
- Decreto Ley 272 del Consejo de Estado –Del Ordenamiento Territorial y Urbanística.
- Decreto Ley 212 "Gestión de la Zona Costera"
- Resolución No. 19/2000 Amplía las disposiciones sobre el sistema de sanciones administrativas, puestas en vigor en el Decreto-Ley 200.
- Resolución 87/99 Regulaciones para el ejercicio de las funciones de la Autoridad Nacional y Punto de Contacto del Convenio de Basilea.
- Resolución 77/ 99 Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Resolución 27:00 Sistema Nacional de Reconocimiento Ambiental.
- NC 27:99 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.

D. La Evaluación del Impacto Ambiental y la Licencia Ambiental.

Sabemos que la Evaluación de Impacto Ambiental es una herramienta de gestión ambiental preventiva que no resuelve ningún problema ambiental real que exista actualmente, por lo que su uso no es corregir problemas sino pronosticarlos conformando escenarios, aunque también se fundamenta en las experiencias pasadas.

Los gestores ambientales pueden ser consultados cuando una fuente contaminante se somete a un proceso de EIA, al conocer la problemática de la Bahía de la Habana y su Cuenca Hidrográfica tributaria de forma integral.

En las visitas a las Entidades se le exige a las mismas incluir en los Planes de Medidas las recogidas en las Licencias Ambientales emitidas por el CITMA si las hubiera y se orienta todo el proceso cuando dichas entidades se someterán a cambios tecnológicos u otros.

E. La Inspección Ambiental Estatal.

Los gestores ambientales del GTE-BH participan en Inspecciones Ambientales con el CITMA ya sean territoriales o a un Organismo en particular, tomándose el criterio de los mismos a la hora de conformar el Plan de Visitas a las Entidades, así como se revisan y se toman acuerdos en dicha inspección sobre las dificultades planteadas por las visitas del grupo.

Por otro lado en las visitas que el GTE-BH realiza cuando detecta dificultades serias en alguna Entidad, donde se considere debe aplicarse el Decreto Ley 200 coordina con los inspectores del CITMA para realizar la visita conjunta.

F. La Investigación Científica e Innovación Tecnológica.

La aplicación de la Ciencia y la Innovación Tecnológica en la solución de los problemas ambientales es una herramienta de gran utilidad que es muy utilizada por el GTE-BH existiendo un fuerte vínculo con las Unidades Ciencia y Técnica siguientes:

- Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahía y Costas. (CIMAB)
- Centro de Investigaciones del Petróleo. (CEIMPET)
- Centro Nacional de Hidrología y Calidad del Agua. (CENHICA).
- Instituto Cubano de la Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar, (ICIDCA)

También se orienta utilizar el Forum de Ciencia y Técnica como instrumento en la solución de problemas ambientales.

G. Los Instrumentos de Regulación Económica.

Con el fin de disponer de un soporte financiero estable que respalde la estrategia del GTE para el saneamiento de La Bahía, se propuso al CECM el estudio para el cobro de una tarifa por el uso de la misma, tanto por la entrada de buques, fondeo o basificación en La Bahía y ocupación de parte del perímetro de sus costas. Dicho estudio fue aprobado mediante la Resolución # 36 de1999 del Ministerio de Finanzas y Precios, imponiendo un impuesto que gestiona la ONAT y es transferido en ambas monedas al GTE. Este impuesto es empleado para el saneamiento de la Bahía y otros gastos relacionados con la misma. En el año 2000 la recaudación ascendió a $951,382 en MN y 896,100 en MLC. El estimado a recibir y gastar durante dos quinquenios permitirá sanear significativamente el acuatorio y el fondo de la Bahía.

H. Los Indicadores Ambientales para la toma de decisiones.

El cumplimiento de los objetivos se miden por Indicadores Ambientales tales como:

- Formulación e Implementación de Planes de Acción a corto, mediano y largo plazo por parte de los focos contaminantes.
- Evaluación de las cargas contaminantes de los focos (Caracterización de los residuales líquidos y gaseosos)
- Evaluación del aprovechamiento económico de los residuales.

I. La Política Ambiental Internacional.

Otro de los grandes objetivos del GTE ha sido la búsqueda de apoyo de colaboración Internacional desinteresada con el objetivo de lograr financiamiento para obras y capacitación en función de sanear la Bahía.

J. La Educación Ambiental y la Divulgación Ambiental.

En el Trabajo de Educación Ambiental que desarrolla el GTE-BH cumple con los Objetivos generales siguientes:

- Conciencia. Ayudar a los directivos, técnicos y obreros así como otros grupos sociales involucrados a adquirir mayor sensibilidad y conciencia de la necesidad del saneamiento y desarrollo de la Bahía de La Habana.
- Conocimientos. Ayudar a los directivos, técnicos y obreros así como otros grupos sociales involucrados a adquirir una comprensión básica del medio ambiente.
- Actitudes. Ayudar a los directivos, técnicos y obreros así como otros grupos sociales involucrados a adquirir valores sociales y un profundo interés por el medio ambiente, que los impulse a participar activamente en su protección y mejoramiento.
- Aptitudes. Ayudar a los directivos, técnicos y obreros así como otros grupos sociales involucrados a adquirir las aptitudes necesarias para resolver los problemas ambientales.
- Capacidad de Evaluación. Ayudar a los directivos, técnicos y obreros así como otros grupos sociales involucrados a evaluar las medidas y los programas de acción en función de los diferentes factores ecológicos, económicos, sociales, etc. que afectan el ecosistema.
- Participación. Ayudar a los directivos, técnicos y obreros así como otros grupos sociales involucrados a que desarrollen su sentido de responsabilidad y a que tomen conciencia de la urgente necesidad de prestar atención a los problemas del medio ambiente, para asegurar que se adopten medidas adecuadas al respecto.

Para cumplir con estos objetivos se realizan Talleres con las empresas contaminantes para elevar la Educación Ambiental de directivos y técnicos de dichos focos y se prepara un trabajo para la realización de Diagnósticos Participativos y aplicación de encuestas entre otros instrumentos de investigación social.

En estos momentos se aplica una encuesta con el propósito de evaluar el estado actual de La Cultura Ambiental Empresarial de los directivos, coordinadores ambientales y obreros las fuentes contaminantes indirectas de la Bahía de La Habana haciendo énfasis fundamentalmente en la identificación de las principales dificultades existentes en cuanto a conocimientos en lo que refiere al medio ambiente en las fuentes contaminantes indirectas de la Bahía de La Habana, con el objetivo de promover diferentes modalidades de Educación Ambiental dentro de este sector para finalmente proponer diferentes metodologías de conocimientos generales dirigidos a directivos, responsables de medio ambiente y obreros de las fuentes contaminantes indirectas de la Bahía de La Habana.

Como ejemplo significativo se diseñó un curso sobre Producciones Más Limpias en coordinación con el ICIDCA (Punto focal de la Red Nacional de Producción Más Limpia) donde han participado más de 30 fuentes contaminantes, pudiendo conocer las herramientas que permiten el enfoque de PREVENCION en la Industria.

Además se participa y colabora con el Proyecto Comunitario de Rehabilitación del Barrio de San Isidro.

En cuanto a la Divulgación se han impreso y distribuido afiches, plegables, almanaques y otros en los diferentes focos a fin de que se conozca el trabajo que se desarrolla por el GTE-BH.

CONCLUSIONES:

1.- El Grupo de la Bahía de La Habana aplica los diferentes instrumentos de Gestión Ambiental en su trabajo con las fuentes contaminantes dándole una importancia relevante a la Educación Ambiental como vía idónea de elevar la Cultura Ambiental Empresarial.

2.-Las fuentes contaminantes deben perfeccionar sus Planes de Medidas aplicando enfoque de PREVENCION, para solucionar los daños que causan al Medio Ambiente.

5. BIBLIOGRAFÍA.

1. Camacho Aurora y Ariosa Liliana. Diccionario de Términos Ambientales. Publicaciones Acuario.La Habana, Cuba. 30, 39, 40, 50, págs.2000.

2. Centro de Información, Divulgación y Educación Ambiental. (CIDEA). Agencia del Medio Ambiente. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo. Primera Edición.57-60 y 88-90 págs 1995.

3. González Teresita; García I. Legislación, una herramienta. Editorial Academia. La Habana, Cuba 8-41 págs. 1999.

4. Legislación Ambiental:
- Ley No. 81/97, " Ley de Medio Ambiente".
- Decreto Ley No.200/00," De las Contravenciones en Materia Medio Ambiente.

5. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Cuba, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, a 10 años de la Cumbre de Río de Janeiro. " Río + 10 ";
20-22 págs. 2001.

6. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. Estrategia Ambiental Nacional. 2, 14-15, 19-27 Págs. Junio 1997.

7. Novo María. La Educación Ambiental. Bases éticas, conceptuales y metodológicas. Editorial Universitas SA. Madrid, España. 246-248 págs. 1996.

8. Cabrera, G. Hacia un Desarrollo Sostenible, Proyecto Formación de Formadores, CEDEM.

9. Cabrera, G. Población, Educación Ambiental, Consumo y Desarrollo. ¿Nuevas Interrogantes a viejos problemas?. 2002

10. Manual de Diagnóstico Ambiental: Experiencias de acción participativa en el Parque Metropolitano de la Habana. Colectivo de Autores, 2001.

11. Corujo, M/Fernández, M. Manual Con Educación y Participación sanearemos la Bahía de La Habana. JICA-GTE BH, 2003.

ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUALES LIQUIDOS DEL CENTRO DE BIOACTIVOS QUIMICOS

ANALISYS OF ALTERNATIVES FOR THE TREATMENT OF THE RESIDUAL LIQUIDS FROM THE CHEMISTRY BIOACTIVES CENTER

Autores: MsC. Silvio Freddy Pérez Perera, Dr.Elena Rosa Domínguez, Dr.Josefina Jover de la Prida, Osvaldo Fernández Ariz, Mirtha Mollinedo Pérez

Universidad Central de Las Villas, Facultad de Química-Farmacia, Centro de Bioactivos Químicos
E-mail: jjover@qf.uclv.edu.cu.

Resumen

El presente trabajo aborda la problemática de la contaminación ambiental para residuales líquidos en la Industria Química Farmacéutica. Para la solución de la misma se comienza con una caracterización de todas las corrientes por talleres que se generan en la producción de Principios Activos, así como la unión de las mismas conformando el residual mezclado o afluente que será procesado, posteriormente se proponen Alternativas de Tratamientos utilizando diferentes agentes coagulantes y el mismo auxiliar y los resultados son analizados con el fin de proponer Tratamientos Físicos - Químicos y Biológicos donde la etapa de coagulación floculación sedimentación sea eficiente, y donde los microorganismos sean capaces de adaptarse, reproducirse y biodegradar la materia orgánica presente en el residual. En la propuesta de Alternativas de Tratamientos de las aguas residuales farmacéuticas se determina la eficiencia del agente coagulante, así como su dosis adecuada y rangos de pH.

Desde el punto de vista técnico económico se selecciona la mejor alternativa de acuerdo a los resultados obtenidos y se propone en el sistema de tratamiento instalado remodelaciones o creación de nuevos sistemas auxiliares con el objetivo de hacer más factible las operaciones y obtener efluente con mejor calidad, preservando el medio ambiente.

Palabras claves: Alternativas de tratamientos, tecnología, contaminación ambiental

Summary

The present work approaches the problematic one of the environmental contamination for residual liquids in the Pharmaceutical Chemical Industry. For the solution of the same one he begins himself with a characterization of all the currents by factories that are generated in the production of Active Principles, as well as the mixed residual union of the same ones conforming or the affluent one that will be processed, later set out. Alternatives of Treatments using different coagulating agents and the same aid and the results are analyzed with the purpose of proposing Physical Treatments - Chemical and Biological where the coagulation stage flocculation sedimentation is efficient, and where the microorganisms are able to adapt, to reproduce and to biodegradar the organic matter present in the residual one.

In the proposal of Alternatives of Treatments of pharmaceutical residual waters one determines the efficiency of the coagulating agent, as well as its suitable doses and ranks of pH. From economic the technical point of view the best alternative according to the obtained results is selected and it sets out in the system of installed treatment remodelings or creation of new auxiliary systems with the objective to conduct the operations more feasible and to obtain efluente with better quality, preserving the medio.ambiente.
Key words: Alternatives of treatments, technology, environmental contamination.

Introduccion

Desde edades tempranas el desarrollo de la humanidad el hombre ha depositado sobre el medio natural los residuos de su actividad vital y productiva. En la actualidad con la rápida aceleración del desarrollo científico técnico se depositan cantidades cada vez mayores de estos residuos sobre el medio natural, corriéndose el riesgo de sobrepasar la capacidad autodepuradora de la naturaleza y con ello el rompimiento hombre - naturaleza considerándose que el deterioro acelerado y creciente del mundo es hoy en día posiblemente el peligro a largo plazo más grave que enfrenta toda la especie humana en su conjunto, demostrando que los hombres deben aprender a servirse del medio y no combatirlo necesitando trabajar fuertes y unidos para asegurar el bienestar de la humanidad y el disfrute de los derechos básicos incluyendo el derecho a la vida según lo expresó Fidel en el Mensaje a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, concluyendo que una importante especie biológica está en riesgo de desaparecer por la rápida y progresiva liquidación de sus condiciones naturales de vida " El Hombre " .

La Industria Química Farmacéutica y la Biotecnología comienza a tomar auge en nuestro país en la década de los 80 donde se comienza a construir centros de investigación y nuevas plantas de producción para la obtención de nuevos medicamentos, vacunas, creación de nuevas entidades moleculares entre otras, dentro de las que se encuentra el Centro de Bioactivos Químicos, el cual es objeto de estudio para realizar dicho trabajo. El mismo se dedica a la producción investigación comercialización donde se producen Bioactivos de amplios espectros, fungicida - bactericida y en estos momentos se encuentra en las áreas productivas el taller para la formulación del Vitrofural utilizado como esterilizante químico en Vitroplantas. Por la necesidad de medicamentos existente en nuestro país se hace necesario en el Laboratorio de Producción de dicho centro, profundizar en el perfeccionamiento de los procesos tecnológicos y elevar la calidad de producción debido a la importancia que revisten los Principios Activos en la sustitución de importaciones y el ahorro de divisas. Algunos de estos productos han sido utilizados para la elaboración de medicamentos aplicados en la medicina veterinaria, medicina humana y sanidad vegetal.

El objetivo fundamental de este trabajo es proponer Alternativas de Tratamiento o variantes que pueden ser implantados en el Centro de Bioactivos Químicos para reducir o eliminar la contaminación ambiental, haciendo un uso racional de los recursos disponibles y obteniendo resultados que permitan obtener un efluente de alta calidad para posteriormente ser vertido a alcantarillado.

Materiales y métodos

Primeramente se realiza una caracterización físico químico por cada taller de los residuales del CBQ, para ello es necesario tener en cuenta los contaminantes específicos de dichas producciones, los volúmenes y el grado de contaminación que este aporta para la selección de una tecnología adecuada en función de las necesidades del proceso productivo, además se debe realizar un análisis de otros parámetros generales que sean necesarios y brinden la información exacta a la hora de tomar decisiones como es el muestreo, teniendo en cuenta como se realiza y la homogeneidad de dicho residual, el rango de pH de acuerdo al agente coagulante utilizado, para que se logre una efectividad en la etapa de coagulación floculación sedimentación.

Para comenzar a efectuar dicha caracterización, se comienza por conocer con profundidad todas las corrientes residuales que tributan al efluente total por talleres, así como la composición de las mismas en cuanto a los contaminantes químicos fundamentales o indicadores propios de este estudio.
Se realiza a escala de cada taller una determinación de cuantas síntesis se realizan en un día de trabajo, comprobándose que sólo se trabajaría en el Taller de Materia Prima una vez a la semana con todos los equipos llenos, en los Talleres de Síntesis Orgánica para obtención de Principios Activos se trabaja con un reactor por taller de capacidad 6 litros cada uno y estarían en función de estos los Talleres de Purificación, Control de Procesos, Control Analítico de Residuales, así como el Taller de Vitrofural que no fueron objeto de estudio para la caracterización, pues solo aportan aguas de lavado, se realiza un estudio del consumo de agua de lavado por taller y de esta forma se estima el volumen total de los residuales líquidos del CBQ. Se realizan tres corridas por taller y el promedio de estas es utilizado para el estudio de caracterización de cada taller de producción. El Furfural y Nitrometano se cuantifica por Cromatogafía Gaseosa y el G-0, G-1 y la Piridina por HPLC. Los demás análisis se hacen por las técnicas convencionales que existen.
Para caracterizar el residual mezclado se realiza como se describe a continuación: para formar la muestra de residual mezclado se realizaron tres corridas experimentales por taller de producción cuantificando los principales contaminantes y la dilución real, después se unieron todos los residuales de los diferentes talleres llevados a un volumen total de 1L por taller para formar dicha muestra homogénea, fue evaluada analíticamente por Cromatografía Gaseosa y HPLC. El promedio de las tres corridas con el residual mezclado y su evaluación es quien define su composición y volumen, que es realmente el residual almacenado en cisterna de la Planta de Tratamiento del CBQ. El residual mezclado por su composición es un residual altamente contaminante de carga orgánica alta y la concentración de las diferentes sustancias que intervienen en los procesos productivos es diversa dada por las corrientes residuales que se mezclan.

Alternativas de tratamiento para los residuales líquidos del CBQ.

Agentes coagulantes utilizados:

0. Sulfato Férrico al 3 %.
1. Sulfato Ferroso al 2,5 %.
2. Sulfato de Alúmina al 4 %.
3. Cloruro Férrico al 1,5 %.

Como auxiliar de la coagulación se utilizó el óxido de calcio al 3 B^{o}e.

Análisis de Alternativas

En el análisis de alternativas se utiliza un diseño de experimentos: Diseño factorial 2^2.

Variables/Alternativas		0	1	2	3
1. Agente coagulante	nivel máx.	40	50	50	87,5
	nivel mín.	30	40	40	78
2. Auxiliar de la coagulación	nivel máx.	15	12	12	15
	nivel mín.	10	8	10	8

Resultados y discusión

Caracterización por Talleres de los Residuales Líquidos del CBQ:

Taller de Recuperación de Materia Prima.

<u>Características Físico-Químicas:</u>

Color: amarillo - carmelita Conductividad= 823 S

Olor: irritante - penetrante
pH= 2,18
SF= 1899,33 mg/L
Turbidez= 957,9 NTU
Color= 5333,33 U
Furfural= 9137,43 mg/L
NM= 281,76 mg/L
G-1= 11,28 mg/L

ST= 5722,33 mg/L
SV= 3823,0 mg/L
H_tCL= 798,1 mg/lts
Detergente= 151,66 mg/L
DQO= 163283,66 mg/L
H_tBr= 1806,85 mg/L
G-O= 52,36 mg/L
Piridina= 716,78 mg/L

Taller de Síntesis de G-O

Características Físico-Químicas:

Color: Carmelita claro
pH= 7,6
DQO= 1671,9 mg/L
ST= 374,33 mg/L
SF= 184,00 mg/L
G-O: no se detecta
Furfural= 10,76 mg/L
Detergentes= 55,0 mg/L

Olor: irritante - poco penetrante
Ht CL= 61,4 mg/L
Turbidez= 123,51 NTU
SV= 190,33 mg/L
Color 944,66 U
Conductividad = 403 S
Nitrometano: no se detecta

Taller de Síntesis de G-1

Características Físico-Químicas:

Color: amarillo claro
pH= 6,35
DQO = 1413, 86 mg/L
HtBr= 167, 06 mg/L
SV= 265,66 mg/L
Turbidez= 59,73 NTU
G-1= 1,74 mg/L
Piridina= 24.21 mg/L

Olor: irritante
Conductividad = 400 S
H_tCL = 74, 06 mg/L
ST= 481, 33 mg/L
SF= 215,66 mg/L
Color= 100 U
Detergentes= 56 mg/L

Caracterización de los Residuales Mezclado del CBQ.

Características Físico-Químicas:

T ^oC = 23^oC
pH = 4,22

Conductividad = 663, 33 S

H_tCL= 254, 1 mg/L

H_tBr = 559, 93 mg/L

DQO= 32770, 66 mg/L

$(DBO)_5$= 110,7 mg/L

ST= 1613,33 mg/L

SV= 923,66 mg/L

SF= 689,66 mg/L

Color: carmelita - naranja

Olor: penetrante - irritante

Turbidez= 610,6 NTU

Detergentes= 61,66 mg/L

Piridina= 145,28 mg/L

G-O= 128,19 mg/L

G-1= 40, 33 mg/L

Furfural= 1736, 04 mg/L

Nitrometano= 207,50 mg/L

Color= 3400 U

V total = 5,62 m^3/L

Tabla I. Análisis de Alternativas

Ciclo/Parámetro	0	1	2	3
pH	7-7,95	7,7-8,75	7-8,1	6,5- 6,9
Conductividad.	1500-1650	1000-1450	1900-2000	1000-1110
Color	2500-3000	2000	2000	1750
DQO	7840-12413	6586-10868	12240-18200	19760-23500
Turbidez	194-272	149-165	202-223	153-191
Piridina	44-64	19-49	79-105	125-143
G-0	0,81-1,31	0,36-1,07	28-95	1,15-139
G-1	0-0,22	0-0,27	0-0,41	0-14,41
Furfural	629-1106	0-1034	1142-1484	944-1205
Nitrometano	0-179	0-57	0-44	22-53

Aunque se seleccionó como mejor alternativa la No. 1, (Tabla I) el efluente obtenido no cumple con los requisitos para ser vertido al alcantarillado, por lo que se propone realizar un tratamiento biológico adicional al tratamiento físico-químico.

Este tratamiento esta comprendido como una aireación prolongada por el tiempo de retención y la unión del micro organismo con el sustrato, además el factor de carga se encuentra en el rango establecido según este tipo de aireación, y se logra como parámetro fundamental remover la piridina como indicador de más lenta o difícil biodegradación. En las tablas II y III se muestran las características del lodo utilizado y del lodo adaptado.

De las cuatro alternativas de tratamiento propuesta se obtienen altos por ciento de remoción en la alternativa con Sulfato férrico y Sulfato ferroso en cuanto a Furfural, Nitrometano, G-O, G-1, Isobutilamina, Color, turbiedad, todas por encima del 80% no siendo así la DQO, la piridina y los sólidos siendo necesario utilizar un tratamiento biológico, adaptar la cepa y comprobar su reproducción a medida que iba disminuyendo la materia orgánica expresada como DQO, en los tres ciclos de operación como puede observarse en la Tabla IV se logra degradar la materia orgánica en un tiempo de 168 horas hasta un valor de 8.36 mg/l, en 216 horas hasta 7.82 mg/l y con 264 horas hasta 2.72mg/l, demostrando que los microorganismos degradan el compuesto de más lenta biodegradación en un determinado tiempo, hasta niveles permisibles según norma de vertimiento.

Tabla II. Características del lodo utilizado

PH (U)	Conduct. (S)	DQO (mg/L)	$(DBO)_5$ (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SSF (mg/L)	M.O /ml
8,2	560	413,8	110	3900	1450	1400	➢ $1x10^5$ Hongo $1x10^5$ bacterias

Tabla III. Características del lodo adaptado

PH (U)	Conduct. (S)	DQO (mg/L)	$(DBO)_5$ (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SSF (mg/L)	M.O/ml
7,4	400	1392,2	80	4000	3200	800	$1x10^6$ hongos y bacterias

Tabla IV. Resultados por ciclos de operación

Ciclo/Parámetro	1	2	3
pH	7,6	7,7	7,8
Conductividad	1250	1200	1100
DQO	688,8	695,6	675,8
DBO5	103,5	210,3	125
SST	3550,5	3250,05	4525
SSV	3380,3	2650,5	2922
SSF	670,2	599,5	1103
MO/mL Bacterias	$> 10^6$	$> 10^6$	$> 10^6$
MO/mL Hongos	$> 10^6$	$> 10^6$	$> 10^6$
Piridina	8,36	7,82	2,72

Conclusiones

1. El residual del Centro de Bioactivos Químicos es sumamente ácido tendiendo a ser el proceso de coagulación floculación lo mas eficiente posible a pH ligeramente alcalinos.
2. Se logra remover por procesos de coagulación floculación sedimentación los principales contaminantes que aporta al laboratorio a niveles relativamente bajos, según los diferentes Alternativas propuestas, incluyendo Furfural, Nitrometano, G-O, G-1 y Piridina entre otros.
3. De acuerdo a las Alternativas de Tratamiento propuesta se escoge como la más idónea la alternativa No.1 pues se logra obtener parámetros intermedios muy buenos, siendo necesario para realizar un vertimiento adecuado, utilizar un Tratamiento Biológico Aeróbico capaz de biodegradar la mayoría de los compuestos químicos presentes en ese residual.
4. Los microorganismos presentes en el lodo de la línea de retorno del Combinado Textil Desembarco del Granma son capaces de adaptarse y reproducirse en presencia de los residuales químicos farmacéuticos.

Referencias

1. Gelman, P. (1990), Introducción a la digestión de los residuos industriales tóxicos y peligrosos. *Afinidad* 52, 67-72.
2. Hernández, A. (1994), Depuración de Aguas Residuales (Paraninfo S.A. ed.) Madrid, pp.154-160.
3. Menéndez, C. (1982), Transferencia de oxígeno en sistemas biológicos. *Ingeniería Hidráulica* 2, 15-21.
4. Alabaster, J. (1991), Waste water Engineering. Treatment disposal and Reuse (Mac Graw H. ed.). Metcalf and Eddy Inc, New York, pp 45-56.

PRODUCTOS PARA LA AGRICULTURA

INDICE
PRODUCTOS PARA LA AGRICULTURA

097 IFOPOL[s] un producto formulado para elevar y proteger la calidad de la caña

027 Nuevas tendencias en el desarrollo de bioherbicidas para combatir malezas que atacan cultivos de interés

019 Potencialidades de la cromatografía de placa delgada (TLC) en la identificación de metabolitos utilizados para el control biológico.

016 Perspectivas del VERTICID y el NEMATICID para el control biológico de plagas

007 Proyecto para la producción nacional del incesticida DAZOMET

009 Análisis económico del biofungicida GLUTICID en su uso fitosanitario en el control biológico de semillas botánicas de la caña de azúcar y de otros cultivos

190 Aplicaciones de ETHREL-480 en las variedades C1051-73 de caña de azúcar. Efecto sobre las poliaminas y los carbohidratos

191 Efecto del ETHREL-480 en la maduración de la caña de azúcar. Relación con el metabolismo del carbono y del nitrógeno

051 Efecto del bioestimulante FITOMAS E en el cultivo del tomate

064 Efecto del bioestimulante FITOMAS E en cultivos seleccionados

233 Produccion de biopesticidas aislados de compostas de la agroindustria de la caña de azucar

033 Caracterización química del NEMACID mediante el empleo de técnicas de avanzada.

IFOPOL^S
UN PRODUCTO FORMULADO PARA ELEVAR Y PROTEGER LA CALIDAD DE LA CAÑA

Ravelo S., Ramos E. L., Sandra G.

ICINAZ, elramos@icinaz.co.cu

RESUMEN

Palabras Claves: IFOPOL, caña, D-Xilosa, Lactosacarosa, calidad

Se ha desarrollado en los laboratorios del ICINAZ un nuevo producto de la familia IFOPOL, que resulta más activo (más de 20 veces) que el conocido tradicionalmente en la industria, el que se ha nombrado IFOPOL^S. No obstante, este posee una propiedad adicional que lo distingue del primero pues actúa sobre el sistema enzimático de la caña viva modificando su composición de carbohidratos solubles. En este trabajo se describen los resultados obtenidos al evaluar sus propiedades como inhibidor de las enzimas invertasa, amilasa y dextransucrasa. Se hallan valores de las constantes (Ki) del inhibidor para cada enzima de 88, 5 y 101 µM respectivamente. Este último valor es mucho mejor que el obtenido con el IFOPOL tradicional de 0.65 mM para la dextransucrasa. Se muestran las bondades del IFOPOL^S para la preservación de la caña y sus jugos.

IFOPOL^S
A PRODUCT FORMULATED FOR THE IMPROVEMENT AND PROTECTION OF THE SUGAR CANE QUALITY

Ravelo S., Ramos E. L., Gutiérrez S.

ICINAZ, elramos@icinaz.co.cu

ABSTRACT

Key words: ifopol, cane, quality, D-Xylose, Lactosucrose

Recently a new IFOPOL product 20 times more effective than the traditional one has been developed. Nevertheless, this product that has been named as IFOPOL^S encloses an additional property which make it even more useful for augmenting the efficiency of the sugar cane industry: it works on the sugarcane enzymatic system changing the carbohydrate composition of cane juice. In this paper the properties of IFOPOL^S product as inhibitor of enzymes like invertase, amilase and destransucrase are shown. Values of the Ki constants of 88, 5 and 101 µM for each of these enzymes were found. The last Ki value is significantly lower than 0.65 mM observed for the traditional IFOPOL for dextransucrase.

As it has been established treating 8 varieties of standing sugar cane with IFOPOL^S solutions it is possible to reduce around 50 % the total juice content of those sugars, which has been demonstrated diminish the sugar factory efficiency, namely D-Xylose, 1-Kestose and lactosucrose. Treatment of standing sugar cane with IFOPOL^S guarantee an additional protection of the cane

quality in the span between cane cutting and milling if it is harvested before 72 h after the treatment.
IFOPOL^S could be added in the 5th mill in order to protect the juice quality in the milling station, using concentration levels of this product in mixed juices lower than 10 ppm.

INTRODUCCIÓN

Según estudios recientes sobre la calidad industrial de la caña se han podido esclarecer que los principales componentes de los jugos causantes frecuentes disminuciones de la eficiencia de la fábrica de azúcar son la D-Xilosa, la 1-Kestosa y la Lactosacarosa (trisacárido que hemos hallado por primera vez en la caña), Ramos(2000); Ramos(2001); Ramos(2002); Ramos(2003); Ramos(2002a). Estos azúcares pueden aparecer en la caña fresca, acentuándose su presencia durante el deterioro de la caña entre el corte y la molida. Por otra parte su contenido en la caña fresca depende de la variedad y edad de la misma, época del año y la acción de agentes externos.
Según estos resultados para lograr un mejoramiento notable en la eficiencia industrial debe no sólo reducirse la formación de estos Azúcares (de bajo peso molecular) que Impurifican la Sacarosa(AIS) entre el corte y la molida, sino debe contarse con variedades de bajo contenido de AIS en su momento óptimo de madurez. Para lograr esta última condición es indispensable incluir en los procedimientos de selección de variedades y programación de corte la determinación de los anteriormente mencionados AIS en la caña y contarse con medios o productos que permitan alterar la composición de carbohidratos favorablemente en la caña viva, de manera de mejorar su calidad industrial, Ramos(2004).
La presencia de los AIS en los jugos causa una disminución notable de la velocidad de crecimiento del cristal de sacarosa y su deformación con la aparición de los "cristales aguja", fenómenos que provocan un aumento de los tiempos de retención de los productos en la fábrica, el escape a las mieles de microcristales elevando sus purezas y la pérdida de calidad de los azúcares crudos al resultar mas coloreados y difíciles de refinar, Ravelo(2003); Ramos(2002) .
Como se ha demostrado, ya existe la posibilidad de usar inhibidores de las enzimas para reducir la transformación de la sacarosa, por la acción de las enzimas de los microorganismos, en AIS. En este sentido la aplicación de las soluciones de IFOPOL a la caña luego del corte o durante su preparación para la molida, en dosis de 2-4 Kg/1000 t de caña, ha demostrado ser efectiva para disminuir la formación de AIS entre un 70 y un 90 % y producir ahorros de un 5 a un 9 % de la sacarosa originalmente presente en caña, ya a las 24 horas de atraso, Ramos(1998); Ravelo(2000). No obstante, se hace necesario contar con inhibidores de las enzimas más potentes que puedan ser usados para inhibir las enzimas de la propia caña antes de la cosecha de manera de elevar la calidad de la caña.
En este artículo se presenta los resultados del desarrollo y evaluación como inhibidor de varias enzimas de un nuevo producto IFOPOL, el que hemos llamado IFOPOL^S, 20 veces más efectivo y capaz de alterar la composición de carbohidratos de la caña y mejorar su calidad industrial inmediatamente antes de la cosecha.

MATERIALES Y METODOS

El IFOPOLS usado en las diferentes determinaciones y pruebas en campo se obtuvo a escala de laboratorio.

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL IFOPOL^S COMO INHIBIDOR DE LAS ENZIMAS.

SOLUCIONES DE LOS SUSTRATOS: se prepararon para el estudio de cada enzima (sacarosa y almidón) en soluciones buffer al pH de óptima actividad de las enzimas, cubriéndose un rango de concentración entre 0.2 y 5 Km a través de diluciones de 1/3, 1/5, 1/7, 1/9, 1/11 en el propio buffer.

SOLUCIONES DE LAS ENZIMAS: Se prepararon por dilución de la enzima en el buffer apropiado de manera de tener las unidades de actividad necesaria por mililitro para lograr en un tiempo dado la transformación necesaria del sustrato (menos de un 10 % de su concentración original).

SOLUCIONES DEL INHIBIDOR: las soluciones del inhibidor de las enzimas IFOPOL^S se prepararon en los respectivos buffer usados con cada enzima, cubriéndose un rango de concentración entre 0.2 Ki y 2 Ki. Las concentraciones se fijaron tomando en consideración la siguiente expresión:
(I, mM)= (concentración IFOPOL en ppm x % reductores x 1000)/400

METODOS DE ANÁLISIS

La cinética de la reacción se siguió en los casos de la invertasa y la amilasa a través de la determinación colorimétrica de la formación de azúcares reductores usando ácido 3,5-dinitrosalicílico y en el caso de la dextransucrasa por la determinación de las dextranas formadas a través de la separación cromatográfica de las mismas por filtración por gel (Sephadex G-50) y su determinación colorimétrica en las fracciones recogidas en un volumétrico, usando el método colorimétrico de antrona-sulfúrico, Leal(1972).

PROCEDIMIENTO, Todhunter(1979):

Un cm^3 de la solución de sacarosa, de la enzima y el inhibidor, previamente incubada en un baño termostato a 30º C, se mezclan en un tubo de ensayo de 5 cm^3 de capacidad (se consideró el efecto de la dilución al mezclar), seguidamente se mantiene la mezcla durante un tiempo determinado a la misma temperatura. Pasado ese tiempo se introduce el recipiente en un baño hirviente por 2 minutos.
Se realizaron corridas por triplicado (para disminuir los errores), usando cada concentración del sustrato, en las que se empleó el buffer como concentración 0 del IFOPOL y cada una de las soluciones preparadas con este inhibidor.
Seguidamente se muestra para cada enzima una primera figura, donde aparecen los inversos de las velocidades iniciales 1/V graficadas contra el inverso de las concentraciones molares de las soluciones del sustrato, para cada concentración del inhibidor (I), y seguidamente una segunda figura donde los valores de la concentración molar de cada una de las soluciones del inhibidor se colocan en un gráfico contra el valor respectivo del intercepto de cada rectas obtenida en la primera figura, para cada concentración del inhibidor. El valor negativo del intercepto de la recta en esta última figura, refleja el valor de la constante Ki en unidades de concentración µM.

EMPLEO DEL IFOPOL EN TRATAMIENTO DE LA CAÑA Y SUS JUGOS INDUSTRIALES

Las diferentes variedades de caña estudiadas pertenecían a un jardín de variedades que estaban localizadas en los terrenos ferralíticos aledaños al ingenio "Pablo Noriega". Las cañas todas eran planta, sembradas en primavera(12 meses de edad), seleccionándose tallos primaros sanos de las sepas seleccionadas, durante el mes de Abril.
Las cañas de dos plantones se fumigaron, usando una mochila, hasta mojar sus hojas y tallos con una solución de IFOPOL^S a 100 ppm. La selección de las muestras se realizó aleatóriamente de plantones cercanos a los fumigados y de estos últimos a las 0 (antes de fumigar), 24, 48 y 72 h. A las muestras de caña se les determinó su contenido de AIS, Ravelo(1995), Compuestos de Mediano Peso Molecular(CMP), Rodríguez(1984) y dextranas, Ramos(2000). Adicionalmente las cañas troceadas en pedazos de aproximadamente 25 cm de largo se dejaron deteriorar a la intemperie por 48 y se les determinó igualmente el cambio en su composición de carbohidratos.
Para determinar la concentración mínima de IFOPOL^S en que se obtiene la máxima inhibición de las pérdidas de sacarosa, formación de AIS y dextranas en la caña troceada, los trozos se mojaron

con las soluciones del producto por uno de sus extremos y al siguiente día se determinó la diferencia de concentración de los azúcares anteriores entre ambas mitades de los trozos.
El efecto inhibidor del IFOPOL^S sobre la formación de AIS, CMP y dextranas en el jugo se determinó según el método de fermentación espontánea, Hernández(1983). A una porción de jugos industriales seleccionados durante la zafra se le ajustó la concentración del inhibidor a 10 ppm y se comparó el cambio en su composición de carbohidratos con el ocurrido en los jugos no tratados a las 5 horas de incubación.
La aplicación del IFOPOL^S en la canal del 5to molino se realizó continuamente durante una hora usando una bomba dosificadora, de tal manera de que su concentración en el jugo mezclado alcanzara como promedio las 10 ppm. El producto se diluyó 5 veces con aguas para facilitar su dosificación. Durante las corridas se tomo muestras de jugo primario y del quinto molino simultáneamente cada 20 minutos, antes, durante y luego de la dosificación del producto

DISCUSIÓN

La aparición del inhibidor de las enzimas IFOPOL brindó la primera vía práctica y económica en la industria azucarera cañera de disminuir las pérdidas de sacarosa por deterioro de la caña entre el corte y la molida. Las soluciones de este producto al aplicarse sobre la superficie de la caña permiten inhibir las enzimas de los microorganismos que están involucradas en la hidrólisis de la sacarosa, la formación de los AIS y las dextranas, Ramos(1998). No obstante, los AIS pueden aparecer en los jugos de cañas frescas a niveles de concentración perjudiciales para el proceso de fabricación del azúcar, en dependencia de las características de la variedad, la propia edad de la caña, la época del año y la acción de agentes externos, Ramos(2004); Ramos(2002). Según estas evidencias se hace necesario, además incluir en los métodos de selección de variedades y de programación de corte la determinación de los AIS, contar con inhibidores de las enzimas más poderosos que el IFOPOL que hoy se comercializa, que permitan actuar sobre el sistema enzimático de la caña para reducir su contenido de estos azúcares.
El estado actual del conocimiento sobre la reacción Maillard, Schumacher(1996) nos ha permitido emplearla para la preparación de inhibidores de las enzimas dentro de un nuevo enfoque, en el que se parte del uso de vías sintéticas que ofrezcan mezclas de azúcares o sus derivados con la mayor variedad de estructuras posibles, Malet(1997). En estas mezclas luego puede optimizarse la presencia de aquellas de mayor actividad como inhibidor de determinadas enzimas. Finalmente al caracterizar los compuestos más activos, estos se usan en la preparación de nuevas generaciones de inhibidores a través de su ulterior derivación.
Estudiando la actividad de las mezclas de producto obtenidos a través la degradación por catálisis amínica de los azúcares (reacción Maillard), se pudo desarrollar ya en la pasada década, determinadas mezcla de reacción que hemos llamado IFOPOL, las que poseen una alta actividad inhibidora de una transferasa asociada con la síntesis de un glucano, la dextransucrasa.
A través de la caracterización de los compuestos más activos, usando separaciones cromatográficas por filtración por gel, resinas iónicas y de la determinación de la actividad inhibidora de las diferentes fracciones obtenidas, fue posible determinar que los compuestos más activos en la mezcla de reacción resultan de características neutras, bajo peso molecular (400 ua) y que presentaban grupos carbonílicos en su estructura. Estos resultados permitieron diseñar experimentos que permitían optimizar la presencia en la mezcla de estos compuestos. Siguiendo la síntesis por su actividad inhibidora de la dextransucrasa, la invertasas y la amilasa fue posible hallar las condiciones óptimas para que las mezclas fueran capaces de interactuar con las principales enzimas asociadas con la transformación de la sacarosa en otros azúcares que pueden disminuir la eficiencia de la industria azucarera.
Variando las condiciones de reacción entre el azúcar y varias aminas fueron optimizadas las actividades inhibidoras de las mezclas de manera de obtener un producto con un alto poder inhibidor de la invertasa, la amilasa y la dextransucrasa y por ende con alta probabilidad de poder inhibir en pequeñas dosis la formación de los AIS en la caña unos días antes del corte. De esta

manera variedades de baja calidad industrial podrían mejorarse inmediatamente antes de la cosecha.
Las propiedades inhibidoras de la mezcla de reacción obtenidas con relación a la invertasa y la amilasa constituyen a su vez un primer paso en la preparación de un potente inhibidor que pueda ser usado en el control de la asimilación de la sacarosa y el almidón, el que podría usarse en la preparación de alimentos de bajo poder calórico.
En todos los ensayos preliminares sobre las propiedades del inhibidor se obtuvieron dependencias lineares entre los inversos de las velocidades iniciales y las concentraciones usadas del inhibidor lo que indicó que no estábamos en presencia de un inhibidor parcialmente competitivo.

INHIBICIÓN DE LA INVERTASA

FIGURA 1

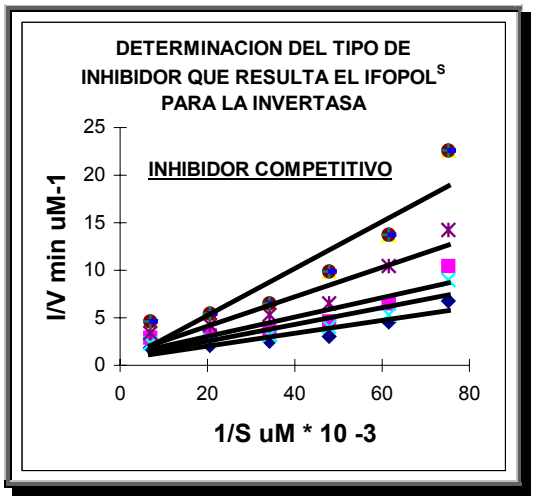
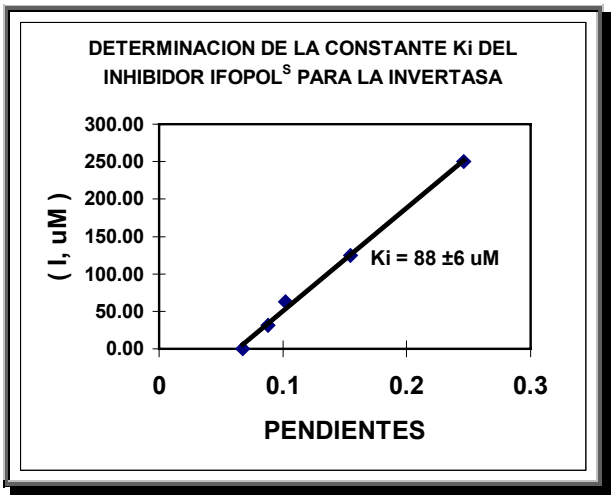


FIGURA 2



INHIBICIÓN DE LA DEXTRANSUCRASA

FIGURA 3

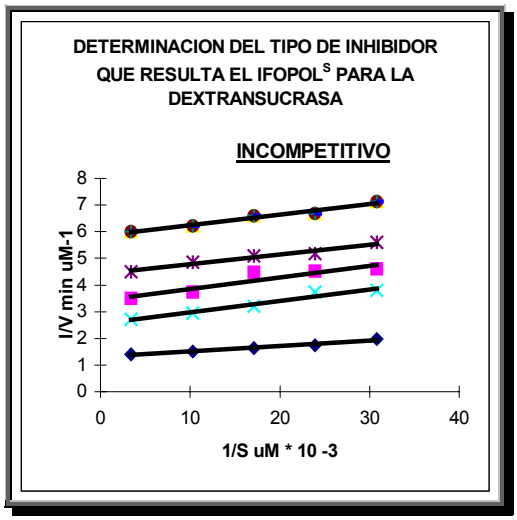
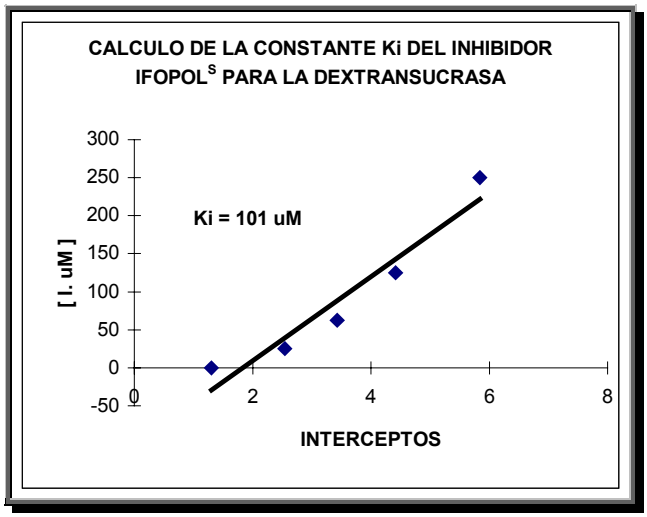


FIGURA 4



Las Figura 1,3,5 muestran para cada enzima el tipo de inhibidor que resulta el nuevo IFOPOL, así como las Figuras 2,4,6 permiten estimar el valor de la constante Ki del IFOPOL para cada enzima. Como se puede apreciar el producto desarrollado posee valores de Ki igual a 88, 101 y 5 µM para las enzimas invertasa, dextransucrasa y amilasa, respectivamente. En particular el poder inhibidor del IFOPOL^S resulta notablemente mayor sobre la dextransucrasa que el observado con el IFOPOL tradicional, el que posee una Ki de 0.65 mM.
El mayor poder como inhibidor del nuevo IFOPOL permite suponer una mayor capacidad del producto para actuar sobre las enzimas presentes en la caña, en especial las fructotransferasa involucradas en la hidrólisis de la sacarosa y la formación de las Kestosas, las glucotransfersas asociadas a la formación de oligo- y polisacáridos tipo poliglucanos y posiblemente las galactotransferasa involucradas en la formación de la Rafinosa y la Lactosacarosa.

INHIBICION DE LA AMILASA

FIGURA 5

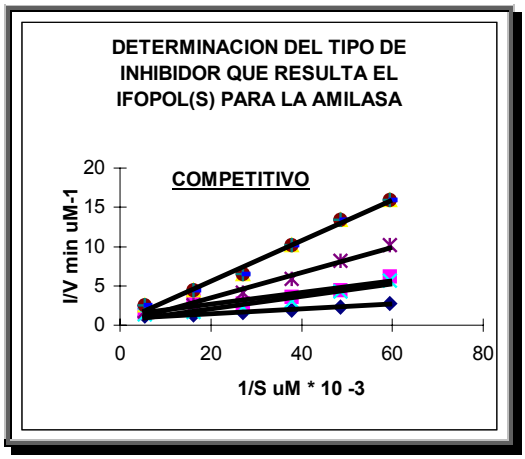
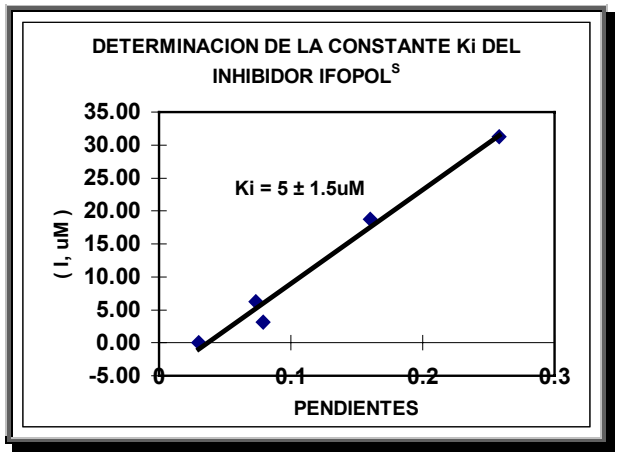


FIGURA 6



EFECTO DEL TRATAMIENTO CON IFOPOL^S EN LA COMPOSICION DE LOS JUGOS DE CAÑAS EN PIE (Sol. 100 ppm, <2.5 Kg/Hectárea, 24 h)					
VARIEDAD	EFECTO INHIBIDOR, % de reducción				
	POLISAC.	CMP	D-Xilosa	Lactosacarosa	AIS
Co997	44	53	38	42	43
C85-102	0	28	37	46	41
C187-68	42	84	56	42	53
C86-503	45	69	50	50	32
C86-456	50	55	65	65	67
B77-418	76	60	63	62	51
Ty70-17	43	43	32	63	52
C128-83	51	59	66	55	40
MEDIA	43.8	56.3	50.8	53.1	47.4

De esta manera las variedades de baja calidad industrial podrían mejorarse en el momento de la cosecha. En la Tabla, se pude observar el efecto de la fumigación con soluciones de IFOPOLS

sobre la composición de carbohidratos de 8 variedades de cañas. Adicionalmente, se pudo observar que la caña cortada dentro de los tres días luego de la fumigación queda protegida en el período entre el corte y su molida, lográndose una inhibición entre un 80 y un 90 de la formación de todos los AIS presentes en la caña.

FIGURA 7

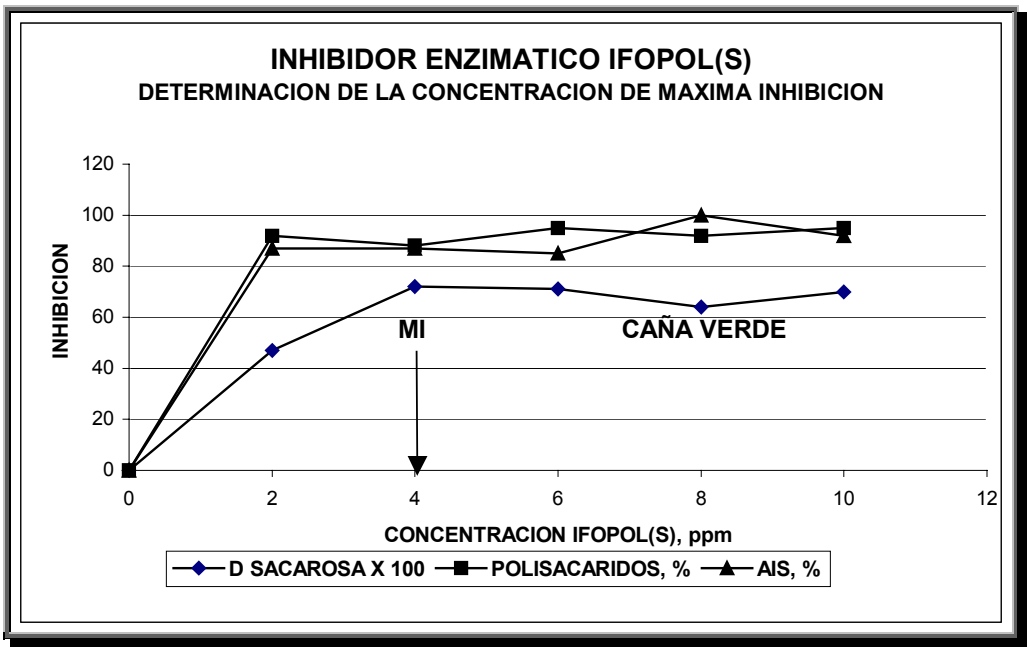
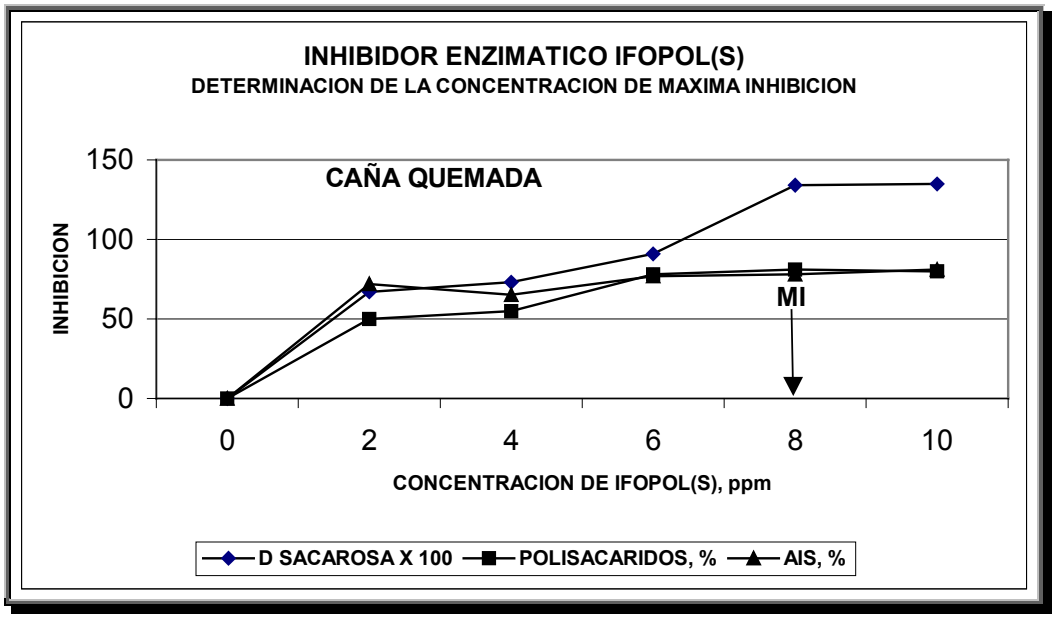


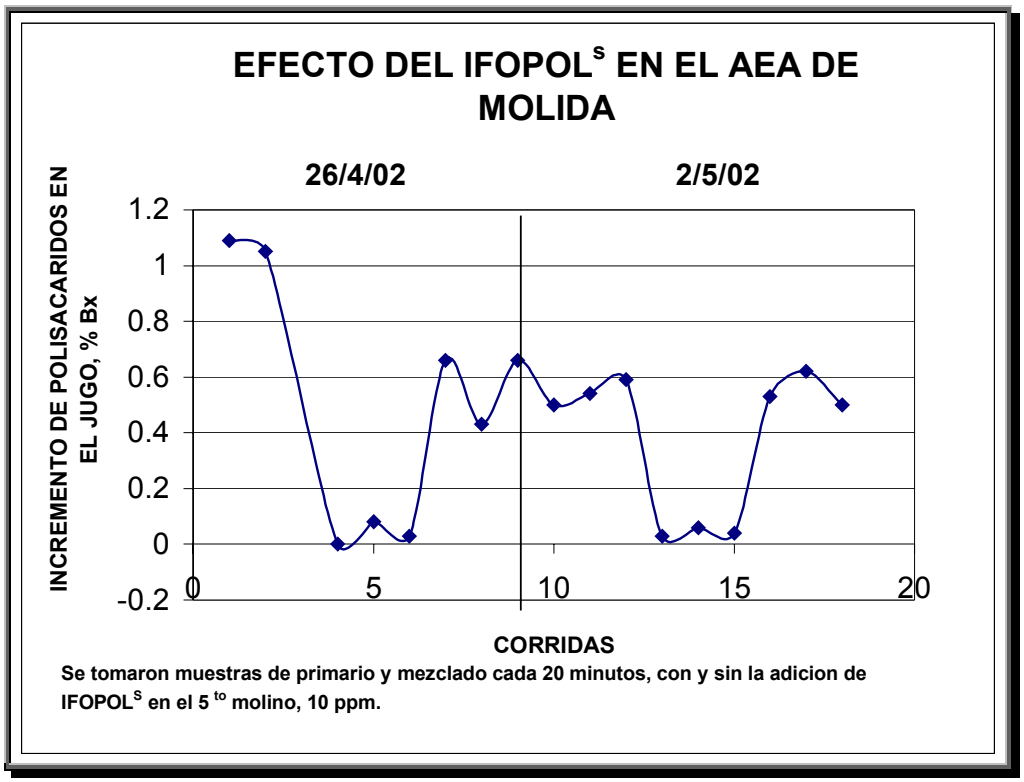
FIGURA 8



El IFOPOLS se puede obtener según una tecnología altamente reproducible que no emplea materias primas tóxicas ni produce residuales. Por otra parte al año de preparado el inhibidor conserva su actividad inicial. Dado el alto poder inhibidor de las enzimas asociadas a la inversión de la sacarosa y la formación de AIS y dextranas, el producto se puede usar además, a concentraciones menores de 10 ppm, para la protección de la caña luego del corte y durante la

extracción de los jugos. Vea las Figuras 8 y 9 donde se puede observar que las concentraciones de las soluciones de IFOPOL^{S} necesarias para lograr la máxima inhibición(MI) de las pérdidas de sacarosa o de la formación de AIS y Dextranas en cañas troceadas verdes o quemadas, resultan de 4 y 8 ppm respectivamente.

FIGURA 9



La adición del IFOPOLS a jugos industriales, esta vez un año después de su preparación, produce una sensible inhibición de las pérdidas de sacarosa así como de la formación de dextranas y azúcares de mediano peso molecular. Este efecto se pudo evidenciar industrialmente al adicionar en el 5to molino del ingenio "Pablo Noriega" cantidad suficiente de IFOPOLS para lograr una concentración aproximada de 10 ppm en el jugo mezclado. La Figura 3 muestra su aplicación en dos momentos de la zafra durante una hora. En ambos casos el incremento de la concentración de dextranas entre el jugo primario y el mezclado se redujo dramáticamente durante la adición del producto.

CONCLUSIONES

- **El producto IFOPOL desarrollado a través de la reacción Maillard posee una potente actividad para la inhibición de las enzimas invertasa (Ki = 88 µM), la dextransucrasa (Ki = 101 µM) y la amilasa (Ki = 5 µM).**
- **Se ha desarrollado un producto de la familia IFOPOL, el cual es capaz de actuar sobre el sistema enzimático de la caña viva disminuyendo la concentración de los AIS en sus jugos, mejorando así la calidad industrial de las cañas.**
- **El producto resulta 20 veces más efectivo que el tradicional y puede usarse efectivamente a concentraciones menores de 10 ppm para proteger la calidad de la caña entre el corte y la molida**

- **El IFOPOL^{S} se obtiene según una tecnología altamente reproducible que no emplea materias primas tóxicas ni produce residuales. Por otra parte al año de preparado el inhibidor conserva su actividad inicial.**

REFERENCIAS

1. **Hernandez M. T. and et al (1983) Proc. XVIII Cong. ISSCT 3, 1138 -1155**
2. **Leal J. E y Kara-Murza S. (1972) ICIDCA. 6, (2), 25-30**
3. **Mallet C. and Hinds Gaul O. (1997) Carbohydrate Research 303, 51-65**
4. **Ramos E. L., Ravelo S. Gutiérrez (2002) Revista ATAC. Julio/Dic (2), 13-19**
5. **Ramos E. L., Ravelo S. Gutiérrez S. (2000) Cuba-Azúcar. XXIX, (1-4), 38-41, 62-64, 52-55, 58-62**
6. **Ramos E. L., Ravelo S. Gutiérrez S. (2001) Cuba-Azúcar. XXX, (1-2), 12-15, 16-19**
7. **Ramos E. L., Ravelo S. Muñoz E. (2002a) Cuba-Azúcar XXXI, (1), 16-18**
8. **Ramos E. L., Ravelo S. Pino S. * Gutiérrez S. (2004) DIVERSIFICACION'2004, Habana, Cuba**
9. **Ramos E. L. y Col. (1998) Revista Cuba-Azúcar. XXVII, (1), 25-28**
10. **Ramos E. L. y col (2003) Cuba Azúcar XXXII, (3), 31-34**
11. **Ravelo S., Ramos E. L. Gutiérrez S. (2000) Revista ATAC 61, (1), 2-4**
12. **Ravelo S., Ramos E. L. Gutiérrez S. (2003) Revista Cuba-Azúcar XXXII, (2), 39-41**
13. **Ravelo S., Ramos E. L. Torres B. (1995) ISSCT Congreso Cartagena de Indias, Colombia. (XXII)**
14. **Rodríguez C. y Col. (1984) Memorias del 44 Congreso de la ATAC. Póster de Agricultura-Biología. Ciudad de la Habana, Cuba, Edited by Dpto. de Divulgación y Reproducción del ICINAZ, Habana. 283-291**
15. **Schumacher, D. and Kroh L. W. (1996) Z. Sep 35, 213-25**
16. **Todhunter A. J. (1979) Methods in Enzymology Vol 63A, 383-411**

NUEVAS TENDENCIAS EN EL DESARROLLO DE BIOHERBICIDAS PARA COMBATIR MALEZAS QUE ATACAN CULTIVOS DE INTERÉS

NEW TENDENECY IN BIOHERBICIDE DEVELOPMENT AGAINST WEEDS ON BEHALF CROPS

Me Díaz de Villegas, MA González, J Bourdon
Instituto Cubanode Investigaciones de los Derivados de la caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca No 804 Y Ctra. Central. C. Habana, Cuba
E-mail: villegas@icidca.edu.cu

Resúmen

El control de las malezas resulta de vital importancia para poder maximizar la producción agrícola. Para combatir las mismas se emplean diferentes métodos entre los que se encuentra el uso de herbicidas químicos, que si bien es efectivo, la tendencia es hacia su disminución debido a la contaminación ambiental y daños al hombre que producen, por lo que la tendencia en el mundo es hacia el desarrollo de un programa integrado de malezas donde se incluye el control biológico.

Los bioherbicidas son agentes de control biológico aplicado a las malezas en forma similar a los herbicidas convencionales. El ingrediente activo en este caso lo constituyen organismos vivos (insectos, hongos y bacterias).

Mientras que los hongos patógenos de plantas han sido ampliamente investigados como agentes de biocontrol de malezas, las rizobacterias nocivas que inhiben selectivamente el crecimiento de las mismas sin afectar el cultivo, han cobrado mayor interés recientemente y ofrecen una nueva estrategia efectiva para el manejo de estas plantas indeseables.

La actividad de la mayoría de las rizobacterias, se debe a la producción de fitotoxinas, las que juegan un importante papel en el desarrollo de los bioherbicidas los cuales pueden estar constituidos por estos metabolitos solamente y no por los organismos vivos.

El objetivo del presente trabajo es mostrar la tendencia actual que existe hacia el desarrollo de productos biológicos entre los que se encuentran los bioherbicidas, que nos permitan adquirir mayor conocimiento de estos novedosos productos.
Palabras claves: *Pseudomonas aeruginosa,* bioherbicidas, fitotoxinas, control biológico de malezas

Las malezas, llamadas también, malas hierbas, adventicias, indeseables, etc., es toda planta superior, que por crecer junto o sobre las plantas cultivables, perturban o impiden el desarrollo normal, encarecen el cultivo, merman su rendimiento o la calidad del mismo (Pérez y col.2000) compitiendo por nutrientes, agua y luz.

El control de las malezas resulta de vital importancia para poder maximizar la producción agropecuaria ya que en Cuba las pérdidas directas de rendimientos que ocasionan las mismas en áreas enyerbadas todo el ciclo, pueden ascender a valores tan altos como 66 % en papa, 70 % en maíz, más del 94 % en ajo cebolla entre otros (Pérez y col., 2000), mientras que las necesidades de alimentos para la población han aumentado permanentemente.

Los bajos rendimientos en los cultivos con la consiguiente afectación en la alimentación de la población debido a las plagas, enfermedades y malezas que los atacan, han dado lugar a la búsqueda de alternativas

para su mejoramiento, por lo que se están produciendo actualmente profundas transformaciones que contrastan con el modelo clásico de la agricultura moderna y convencional.

Para combatir las malezas se emplean diferentes métodos entre los que se encuentran: la quema de las mismas, deshierbe manual o mecanizado y el uso de herbicidas químicos, con todos los cuales se obtienen resultados parciales, por lo que la combinación de ellos en un programa de manejo integrado de malezas aparece como la mejor opción para su control, mientras que el uso excesivo de herbicidas químicos se considera menos favorable (Charudattan, 2001; Kennedy y Kremer, 1996).

En el caso de los herbicidas químicos, su empleo, está cada vez más cuestionado debido a los efectos negativos sobre el medio ambiente y el hombre (Wyse, 1994; Liebman y Gallandt, 1997). Cada año en el mundo se reportan miles de casos de accidentes fatales por envenenamiento con pesticidas dentro de los que se encuentran algunos herbicidas. El uso extensivo de herbicidas y otros pesticidas ha dado como resultado la contaminación de las reservas de agua y el uso de algunos herbicidas está asociado con ciertos tipos de cáncer (Hoar y col., 1986).

Adicionalmente a través de los años el costo de estos productos ha ido en ascenso con un incremento aproximado de un 40 %, lo cual dificulta su adquisición por parte de países con menos ingresos entre los que se encuentra Cuba.

Una de las alternativas al uso de herbicidas químicos, es el control biológico empleando patógenos de plantas (Charudattan, 2001; Kennedy, 1999).

Los bioherbicidas son agentes de control biológico aplicado a las malezas en forma similar a los herbicidas convencionales. El ingrediente activo pueden ser organismos vivos (hongos y bacterias) y/o las fitotoxinas que ellos producen (Li y col., 2003; Kremer, 1998)) Cuando estos organismos son hongos, se emplea el término micoherbicidas (Auld y Mcrae, 1997, Watson, 1993).

Mientras que los hongos patógenos de plantas han sido ampliamente investigados como agentes de biocontrol de malezas, las rizobacterias nocivas que inhiben selectivamente el crecimiento de las mismas, están siendo objeto de interés desde los años 90 ya que ellas ofrecen una nueva estrategia efectiva para su manejo (Kennedy y Kremer, 1996; Kremer y Kennedy, 1996).

Las rizobacterias nocivas, conocidas como Deleterious Rizobacterias (DRB), colonizan la superficie de las raíces de las plantas y son capaces de inhibir el crecimiento de las mismas, sin parasitarlas, por lo que se consideran exopatógenas (Skipper,Ogg, Kennedy, 1996).

Entre las ventajas que presentan las bacterias en comparación con los hongos se encuentran: corto período de crecimiento, técnicas de fermentación simples y procesos de producción sencillos (Li y col., 2003).

Los bioherbicidas se pueden clasificar según su constitución en:

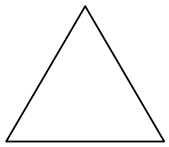
- Los constituidos por los microorganismos patógenos de plantas
- Los constituidos por las fitotoxinas producidas por los microorganismos patógenos de plantas

Constituidos por los microorganismos patógenos de plantas

Es una preparación de un inóculo del patógeno vivo, formulado y aplicado de forma análoga a los herbicidas químicos.

Su efectividad se basa en principios epidemiológicos fundamentales de la patología de las plantas, donde la enfermedad es el resultado de la interacción

Medio ambiente



Planta hospedera Patógeno

Principales desventajas de su empleo:

- Hay peligro de escape a cultivos susceptibles vecinos, lo que no ocurre con las fitotoxinas.
- Deben ser genéticamente estables y producir abundante inóculo.
- La mayoría de los patógenos de plantas que atacan malezas son muy específicos, atacando solamente una o muy pocas especies, pero debido a que en un cultivo pueden estar presentes diferentes especies de malezas, el control de una maleza determinada resulta de poco interés por parte de los agricultores, lo que no ocurre con las toxinas que generalmente tienen un espectro de acción mayor que el patógeno que las produce.
- Requieren de condiciones de almacenamiento especiales de temperatura y humedad.
- Generalmente tienen períodos limitados de viabilidad, requerimientos específicos en el campo como temperatura y riego para establecer la infección, por lo que se hace difícil alcanzar su establecimiento antes de que se controlen las malezas

Estudios recientes ponen de manifiesto que la acción herbicida de algunos hongos, bacterias y actinomicetos se debe a las fitotoxinas que los mismos producen (Li y col., 2003, Igarashi y col., 1997, Zhang y Watson, 2000).

Fitotoxinas:
Son metabolitos de bajo PM producidos por patógenos de plantas (hongos, bacterias) que son activas a bajas concentraciones y juegan un papel importante en la expresión de enfermedades de las plantas. Provocan daños en las mismas de muy amplio espectro, tanto fisiológicos como bioquímicos tales como: clorosis, necrosis, inducen crecimiento anormal y marchitamiento (Cazorla, en línea).

El término bioherbicida generalmente no incluye las fitotoxinas producidas por estos microorganismos, sin embargo las mismas juegan un importante papel en el desarrollo de estos bioproductos (Watson 1989), por lo que existe un considerable interés en el mundo comercial en el empleo de las fitotoxinas de los microorganismos mas que en el uso de los microorganismos vivos por las limitaciones que tienen su empleo y que frecuentemente hacen impracticable su uso con las tecnologías actuales como se vio. anteriormente (Rojas y Gámez, 2002; Abbas y Duke, 1995).

La actividad de la mayoría de las bacterias, se debe a la producción de fitotoxinas (Souissi y Kremer, 1994; Kremer, 1998). Se ha reportado que la *Pseudomonas fluorescens* D-7, produce compuestos fitotóxicos que inhiben el crecimiento de *Bromus tectorum* en sistemas hidropónicos en ausencia de la bacteria (Tranel y col. 1993, Gurusiddaiah y col., 1994)).

La bacteria *Streptomyces viridochromogenes* produce por fermentación el metabolito Bialaphos, comercializado en Japón bajo la marca Herbiace (Auld y Mcrae, 1997).

Las *Pseudomonas* spp., producen una gran variedad de fitotoxinas , dentro de ellas han sido bien caracterizadas en cuanto a su mecanismo de acción, biosíntesis y regulación las producidas por las *Pseudomonas syringae*. Syringomicinas, syringopeptina, coronatina, faseolotoxina y tabtoxina (Bender y col., 1999).

A pesar de las numerosas e intensas investigaciones que se llevan a cabo en el mundo desarrollado fundamentalmente, así como los agentes de biocontrol que se han reportado, en el presente hay muy pocos productos comerciales como puede verse en la Tabla 1. Esto es debido a diferentes razones entre las que se encuentran: dificultades en encontrar nuevos microorganismos adecuados, limites tecnológicos en su aplicación, almacenamiento y formulación, restricciones medioambientales para su aplicación, almacenamiento y formulación de los organismos y costos del registro producción entre otros.

No obstante lo antes expuesto, el desarrollo de la Biotecnología y la Biología Molecular abren nuevas perspectivas al uso de microorganismos en el biocontrol en general y a los bioherbicidas en particular.

La Tabla 1 presenta la relación de los principales bioherbicidas que se encuentran en el mercado

Tabla 1 Principales herbicidas biológicos presentes en el mercado

Agente de control biológico (ACB)	**Tipo de ACB**	**Actúa sobre**	**Productos comerciales**
Pseudomonas syringae pv tagetis	Bacteria	*Cirsium arvense*	NA (Encore Technologies)
Xanthomonas campestris pv *poacea*	Bacteria	*Poa annua*	Camperico (Japan Tobacco)
Phytophtora palmivora MWV	Hongo	*Morrenia odorata*	DeVine (Abbott)
Colletotrichum gleosporiodes	Hongo	*Cuscuta sp., Grammica sp., Hakea sericea*	Luboa II (Ningxia Region), NA (Plant Protection Research Inst.- S. Africa)
C. gleosporiodes fs malvae	Hongo	*Malva pusilla*	Mallet W. P. (Encore Technologies)
C. gleosporiodes fs aeschynomene	Hongo	*Curly indigo*	Collego (Encore Technologies)
C.coccodes	Hongo	*Abutilon theophrasti*	Velgo
C. truncatum	Hongo	*Sesbania exalta*	Coltru (Tektran)
Alternaria cassia	Hongo	*Senna obtusifolia*	CASST (Mycogen Corp.)
P. fluorescens A 506	Bacteria		BlightBan A506 (Plant Heahlt Technologies)
Metabolito Bialaphos a partir de *Streptomyces viridochromogenes*	Bacteria		Herbiace (Japón)
Cylindrobasidium laeve	Hongo		Stumpout (S. Africa)
Chondosterum purpureum	Hongo		Biochon (Europa y Canadá)

En Cuba, nuestro grupo de trabajo del ICIDCA y del Instituto Nacional de Sanidad Vegetal (INISAV), hemos venido trabajando en el desarrollo de un herbicida microbiano constituido por las fitotoxinas producidas por la *Pseudomonas aeruginosa* PSS con resultados promisorios en el control de malezas. La

aplicación foliar del mismo a una concentración entre 40-50 mg/ml, en aspersiones al follaje, produjo síntomas de marchitamiento y necrosis en las hojas de las malezas: estudiadas como aparece en la Tabla 2 (Díaz de Villegas ME).

Tabla 2 Relación de malezas sobre las que el Bioherbicida una concentración de 40-50 mg/ml Produjo marchitamiento y necrosis en las hojas

Maleza sobre la que actúa	
Nombre científico	Nombre vulgar
Eleusyne indica	Pata de gallina
Amaranthus dubius	Bledo
Oxalis violacea	Oxalis
Portulaca oferacea	Verdolaga
Parthenium hysterophorus	Escoba amarga
Lantana camara	Filigrana
Dychrostachis cinerea	Marabú
Oxalis martiana	Vinagrillo

Este bioherbicida parece tener un efecto de contacto muy rápido lo que indica que se podría estar en presencia de un preparado con características de un bioherbicida con efecto de contacto muy similar a los efectos producidos por las sustancias de origen hormonal.

Conclusiones

El desarrollo de los herbicidas microbianos presenta grandes perspectivas por las ventajas que ofrecen en la preservación del medio ambiente y el gran avance que han tenido la biotecnología y la genética, lo que permitirá poder contar con tecnologías de producción mas eficientes de estos bioproductos .

Referencias

Abbas H K; Duke S O (1995). Phytotoxins from plant pathogens as potential herbicides. J. Toxicol-Toxin Reviews 14: 523-543.

Auld BA; Mcrae C (1997). Emerging Technologies in Plant Protection- Bioherbicides. The New Zealand Plant Protection Society Incorporated.

Bender C L; Alarcón-Chaidez F; Gross DC (1999). *Pseudomonas syringae* Phytotoxins: mode of action, regulation, and biosynthesis by peptide and poliketide synthetases. Microbiology and Molecular Biology Riviews, 63: 266-292.

Cazorla F . Factores de virulencia en bacteria patógenas.
http://www.ciencias.uma.es/publicaciones/encuentros34.html

Charudattan R (2201). Biological control of weeds by means of plant pathogens. Significance for integrated weed management in modern agro-ecology. Biocontrol 46: 229-260.

Díaz de Villegas ME (2003). Informe anual del proyecto 00300165 " bioherbicida para el control de Malezas", ICIDCA, INISAV.

Gurusiddaiah, S; Gealy DR; Kennedy AC; Ogg jr. AG (1994). Isolation and characterization of metabolites from Pseudomonas fluorescens D7 for control of downy brome *(Bromus tectorum*). Weed Sci. 42: 492-501

Hoar SK, Blair A, Holmes FF. Agriculture herbicide use and risk of lymphome and soft tissue sarcoma. Journal of American Medical Association 256: 1141- 47.

Igarashi, M; Kinoshita N; Ikeda T; Kameda M; Hamada M; Takeuchi T (1997). Resormycin, a novel herbicidal and antifungal antibiotic produced by a strain of *Streptomyces platensis*. The Journal of Antibiotics. 50:1020-1025.

Kennedy AC (1999). Soil microorganisms for weed management. Journal of Crop Production 2: 123-138

Kennedy AC, Kremer RJ (1996). Microorganisms in weed control strategies. Journal of Production Agriculture 9: 480-485.

Kremer RJ (1998). Microbial interactions with weed seeds and seedling and its potential for weed management . En J L Hatfield, D D Buhler, B A Steward (eds). Integrated Weed and Soil Management. Sleeping Bear Press. pp 161:179.

Kremer RJ; Kennedy A C (1996). Rhizobacteria as biocontrol agents of weeds. Weed Tech. 10: 601-609.

Li Y; Sun Z; Zhuang X; Xu L; Chen S; Li M (2003). Research progress on microbial herbicides. Review. Crop Protection 22: 247-252.

Liebman M; Gallandt ER (1997). Many little hammers: Ecological approaches for management of crop-weed interactions. In Ecology in Agriculture, ed. L.E. Jackson. San Diego CA: Academic Press pp 291-343.

Pérez E; Paredes E; García R (2000). Manejo integrado de malezas. CISAV 2000, 26-30 Junio.

Rojas M; Gámez N (2002). Hebicidas de origen natural. Ciencia UANL. Vol V Abril-Junio: 80-84.

Rosskopf EN, Charudattan R (1999)) Biological control of weeds an alternative to methyl bromide. X International Symposium Biological Control of Weeds. Boyenan, Montana, USA. July 4-14, 1999. Abstract P158.

Skipper HD, Ogg AG JR, Kennedy AC (1996). Root biology of grasses and ecology of rhizobacteria for biological control. Weed Technology 10:610-620.

Souissi T; Kremer RJ (1994). Leafy spurge (*Euphorbia esula*) cell culture for screening rhizobacteria. Weed Sci. 42:310-315.

Tranel PJ, Gealy DR, Kennedy AC (1993). Inhibition of downy brome (*Bromus tectorum*) root growth by a phytotoxin from *Pseudomonas fluorescens* strain D7. Weed Technol. 7:134-139.

Watson AK (1993**)**. Current status of boherbicide development and prospects for rice in Asia. Food & Fertilizer Technology Center. Extension Bulletin No. 365. ISSN 0379-7597.

Watson AL (1989). Current Advances in Bioherbicide Research. http://eap.mcgill.ca/_private/vl_head.htm

Wyse DL (1994). New technologies and approaches for weed management in sustainable systems. Weed technol. 8:403-407

Zhang W, Watson AK (2000). Isolation and partial characterization of phytotoxins produced by *Exserohilum monoceras*. 125 Proceedings of the X International Symposium on Biological Control of Weeds 4-14 July 1999, Montana State University, Bozeman, Montana USA Neal R. Spencer (ed). Pp 125-13

POTENCIALIDADES DE LA CROMATOGRAFÍA DE PLACA DELGADA (TLC) EN LA IDENTIFICACIÓN DE METABOLITOS UTILIZADOS PARA EL CONTROL BIOLÓGICO.

POTENTIALITY OF THIN LAYER CROMATOGRAPHY (TLC) FOR METABOLITES IDENTIFICATION USED FOR A BIOLOGICAL CONTROL.

Autor: A. Brown, P. Villa, V. Carabeo.

ICIDCA, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Apartado Postal 4026, Vía Blanca 804, San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana, Cuba. E-Mail: adob icidca.edu.cu

Resumen.

El biofúngicida GLUTICID obtenido por vía biotecnológica a partir de Pseudomonas aeruginosa, cepa PSS, esta constituido por diferentes metabolitos que pueden ser utilizados para el control biológico. En este trabajo se identifica por cromatografía de placa delgada (TLC) la presencia de dos de ellos en el producto objeto de estudio: el ácido salicílico y la fenacína. También se pudo demostrar la ausencia del floroglucinol en los sistemas estudiados para las muestras analizadas.

Abstract.

The fungicide GLUTICID obtained in the process of biotechnology to set out of Pseudomonas aeruginosa PSS is constituted for different metabolites that can be utilized for the biological control. In this work we identify for thin layer chromatography (TLC) the presence of two of them in the product study object: salicylic acid and phenazine. Also we can demostrated the absence of 2,4 diacetylphoroglucinol in the system studied for the analized samples.

Palabras claves: pseudomonas, cromatografía, fenacína, ácido salicílico, floroglucinol.

Key words: pseudomonas, chromatography, phenazine, salicylic acid, 2,4 diacetylphoroglucinol

Introducción.

En la actualidad existe todo un trabajo investigativo encaminado a disminuir el empleo de pesticidas químicos en la agricultura buscando así una protección más eficiente del medio y del hombre (Altieri, M.A,1995 y Cook, R.J.,1993). Entre los microorganismos que se muestran con estas potencialidades para el biocontrol se estudian los del género Pseudomonas, las cuales basan su mecanismo de acción en los metabolitos que producen (Shanahan, P.D. y otros, 1992; Stefanova, M. y otros, 1992). En nuestro país, es prioridad la obtención de biopreparados donde los metabolitos sean los principales agentes en el biocontrol.
La cromatografía de placa delgada (TLC) como técnica analítica nos resulta de gran utilidad para establecer el control durante el desarrollo de las síntesis. Permite además definir la relación de componentes de una mezcla y la formación eventual de colas. Su bondad radica en la posibilidad de elegir cualquier fase estacionaria entre las disponibles en el mercado, así como la libertad de

modificar la fase móvil en busca de mejores resultados. En el presente estudio, el comportamiento de elución para las sustancias separadas estará dado por los valores de R_f. Esta técnica permitirá identificar primero y cuantificar después con la ayuda del HPLC el grado de pureza de los metabolitos, los cuales, suelen tener en dependencia de las condiciones de fermentación de las Pseudomonas, función bactericida, fungicida o fitotóxica (Budzikiewicz, H., 1997 ; Bagnasco, P. y otros, 1998). Los materiales adsorbentes más utilizados en TLC han sido la sílica gel, alúmina, tierra de diatomeas y celulosa pulverizada entre otras (Espi, L., 1988). Diferentes factores pueden afectar el valor de R_f entre los que pueden mencionarse la calidad del sorbente, espesor de la capa, actividad de ésta, cantidad de muestra aplicada, temperatura, humedad relativa y equilibrio líquido-vapor de la cámara.

Como objetivo de este trabajo tenemos el estudio del antifúngico foliar Gluticid por TLC para identificar y cuantificar la presencia de metabolitos producidos a partir de la pseudomona aeruginosa PSS (Díaz de Villegas, M.E. y otros, 2001). El ácido salicílico se presenta como una mancha color púrpura en diferentes muestras asociado a un R_f de 0.6 en el sistema de solvente tolueno:acetona (80:20). Se estudió su comportamiento en diferentes sistemas de solventes como fase móvil y después de identificarlo se utilizó la cromatografía de placa delgada preparativa con vistas a obtener suficiente cantidad de producto aislado y cuantificarlo por HPLC.

Materiales y métodos.

Muestras patrones: ácido salicílico, fenacína y 2,4 diacetil floroglucinol (Firma SIGMA).
Muestras: Lotes 1, 2, 3 y 4 de Gluticid producidos en la Planta Piloto de Fermentaciones de Quivicán en el 2003.

Cromatografía de placa delgada (TLC)

Cámaras: cubetas de vidrio 21x21x9cm
Fase móvil: se probaron varias fases [benceno/ácido acético 95:5; cloroformo/ acetona 90:10; tolueno/acetona 80:20; cloroformo/metanol/agua/ácido acético 65:25:3:4]
Fase estacionaria polar: Silica gel G-60
Proceso cromatográfico: absorción.
Disolvente: mezcla 1:1 metanol /acetona
Placas de 20x20cm

Se utilizó una técnica ascendente monodimensional con desarrollo simple. Se pesaron en balanza microanalítica 5 mg de muestra y se disolvieron primero en 1ml de acetona analítica para una concentración de 5 mg/ml y después en una mezcla 1:1 metanol/acetona. Se aplicaron 5µl x muestra. Para la identificación de las manchas se utilizó una Lámpara Universal CAMAG UV con posibilidad de hacer observaciones de fluorescencia a 254 y 366nm.

El valor de R_f viene dado por la siguiente expresión:

$$R_f = L_1/L_2$$

donde:
L_1: distancia recorrida desde el punto de aplicación por la muestra analizada.
L_2: distancia recorrida desde el punto de aplicación por el compuesto de referencia o patrón.

Discusión de los resultados

En los inicios de este trabajo, los resultados alcanzados para el sistema cloroformo: ácido acético: etanol (90:5:2,5) utilizando como soporte sílica gel G-60 permitieron detectar por HPLC concentraciones de ácido salicílico de alrededor de $5.2x10^{-6}$ mg/g de muestra. El valor alcanzado resultó insuficiente para registrar el producto, siendo esta la razón que nos condujo a la prueba de nuevos sistemas de solventes y a tratar de identificar otros metabolitos con actividad para el control biológico que pudiesen estar presentes en mayores concentraciones en los lotes de GLUTICID, (Díaz de Villegas, M.E. y otros, 2002). Se recurrió al cambio en la composición de la fase móvil conjuntamente con la polaridad de los sistemas hasta el momento empleados.

La Figura 1 muestra el comportamiento de los patrones utilizados en un sistema benceno-ácido acético (95:5) utilizando 0.1ml de acetona como disolvente. Como puede observarse, el punto de aplicación (3) correspondiente al 2,4 diacetilfloroglucinol se quedó en la zona de aplicación y la separación lograda para el caso del ácido salicílico (1) y la fenacína (2) fue mínima, por lo que fue necesario escoger un sistema más adecuado e incluso un cambio del disolvente inicial de la muestra

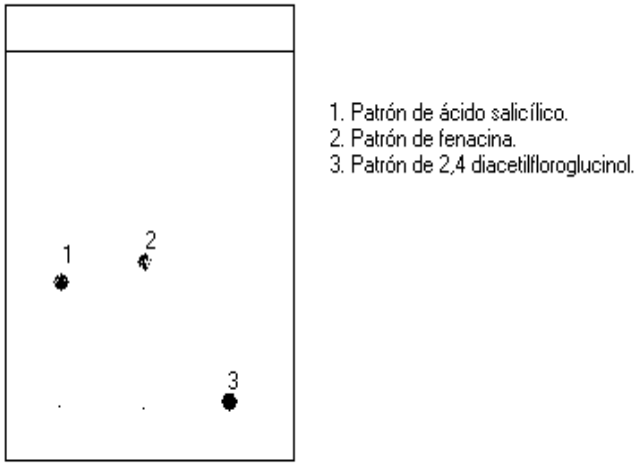
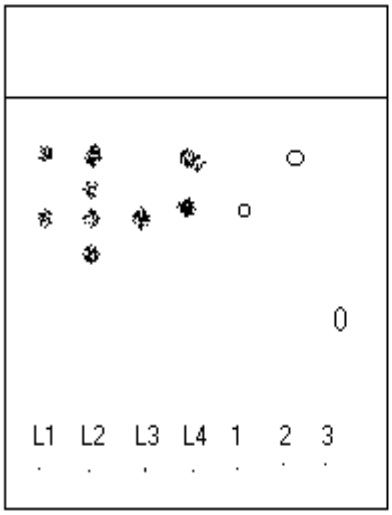


Fig.1 TLC de los patrones

antes de su aplicación buscando una mayor eficiencia en el proceso de separación e identificación.

Se aplicaron cuatro muestras de diferentes lotes de GLUTICID (L1; L2; L3; L4) y se analizaron los resultados alcanzados en la zona de aparición de los patrones probados. Las pruebas realizadas en los sistemas de solventes antes mencionados no permitieron una eficiente separación de los metabolitos hasta llegar al análisis en el sistema cuaternario cloroformo:metanol:agua:ácido acético (65:25:3:4). Este sistema nos dio la posibilidad de separar los patrones entre si y las muestras, tal y como se reporta a continuación en la Figura 2.



L1: Lote 1 de gluticid.
L2: Lote 2 de gluticid.
L3: Lote 3 de gluticid.
L4: Lote 4 de gluticid.
1: patrón de ácido salicílico.
2: patrón de fenacina.
3: patrón de 2,4 diacetilfloroglucinol.

Sistema: cloroformo/metanol/agua/ácido acético (65:25:3:4)

Fig. 2. Lotes y patrones por TLC.

Bajo estas condiciones es posible el cálculo eficiente de los valores de R_f. La Tabla I muestra el comportamiento de los metabolitos patrones en el sistema cuaternario según lo apreciado en la Fig.2 bajo el sistema de solvente cuaternario antes mencionado.

TABLA I: Metabolitos presentes en el GLUTICID identificados por TLC.

Patrones	Valor de R_f	UV 254 y 366nm
Acido salicílico	0.8	Color violeta a 254 y 366 nm.
Fenacína	0.9	Color amarillo-naranja a 366nm.
2,4 diacetil floroglucinol	0.56	Color púrpura a 254nm

En el caso de los lotes 2 y 4 se presentaron dos manchas amarillas a la altura de la fenacína (R_f=0.88 y 0.9) que fluorecen a 366nm y pequeñas concentraciones de ácido salicílico (R_f=0.8 y 0.79) que coinciden con la zona y la coloración a la que fluorece el patrón. El lote 3 (L3) no muestra presencia alguna de fenacina y el L1 pequeñas trazas que solo se aprecian en UV. No se aprecia para ninguno de los lotes estudiados presencia del 2,4 diacetil floroglucinol.

El grado de reproducibilidad o concordancia mostrado para una serie repetitiva de aplicaciones por TLC sobre una misma muestra aportó los resultados que se reportan en la Tabla II.

Tabla II. Reproducibilidad de las aplicaciones durante 5 días consecutivos.

Metabo-litos	**R_f 1er día**	**R_f 2do día**	**R_f 3er día**	**R_f 4to día**	**R_f 5to día**	**Media**	**Desv. St.**	**CV(%)**
Ác.sali-cílico	0.8	0.79	0.8	0.79	0.8	0.796	0.0055	0.69
Fenaci-na	0.88	0.89	0.9	0.9	0.9	0.894	0.0089	0.1

Como puede apreciarse no existen diferencias significativas en los valores de R_f obtenidos para cada aplicación con el método empleado. Para productos terminados se aceptan como buenos coeficientes de variación (CV) entre 4-5% para ensayos de reproducibilidad. Esto nos indica que los resultados obtenidos para ambos metabolitos han sido satisfactorios. El CV máximo aceptable de un método analítico en función de los límites de aceptación del resultado y del número de réplicas nos indica que para n=5 y en un intervalo entre 98.5-101.5%, el CV máximo aceptable es de 1.30%(Castro C. M. y otros,1989)

Conclusiones.

- Se comprobó por TLC la presencia del metabolito fenacína y se ratificó la de ácido salicílico en los lotes estudiados.
- Se logró aislar la fenacína cambiando la polaridad del sistema.
- Se encontró un sistema de solvente capaz de desplazar del punto de aplicación al 2,4 diacetilfloroglucinol, comprobándose que en los lotes estudiados no hay o existe en muy poca concentración este metabolito, por debajo de los límites de detección de este método.
- El estudio de reproducibilidad aporto valores satisfactorios dentro de los intervalos permitidos.

Recomendaciones.

Implementar una técnica preparativa para la posterior cuantificación por HPLC de las fracciones aisladas de fenacína con vistas a poder garantizar el registro del producto a partir de un componente mayoritario.

Referencias bibliográficas.

Altieri, M.A. (1995). El estado del arte de la agroecología y su contribución al desarrollo rural en América Latina. Reader de Agroecología. Concepto y práctica. De Berkeley, California, p. 2-10.
Cook, R.J (1993). Making Greater use of introduced microorganism for biological control of plant pathogens. Annv. Re. Phytopathol 31 p. 53-80.
De Freitas, J.R and Germida, J.J (1991). Pseudomonas cepacia and pseudomonas putida as winter wheat inoculants for biocontrol of Rhizoctonia Solani. Candian Joornal of Microbiology, V. 37, N 10, p. 780-784.
Shanahan, P.D; O′Sullivan, D.J; Simpson, P.; Glennon, J.D and O′Gara, F. (1992). Isolation of 2,4 diacetylphloroglucinol from a fluorescent pseudomanad and investigation of physiological parameters influencing its production. Appl. Environ Microbiol. 58: 353-358.
Stefanova, M.; Muiño, B.; Espino, M.; Pérez, I. (1995). Efecto de un biopreparado de Pseudomas SP sobre patógenos foliares en tabaco, papa, tomate y pimiento. Avances en biotecnología moderna II 37. Biotecnología Habana 5.
Budzikiewicz, H. (1997). Siderophores from fluorescent Pseudomonas. Studies in natural products chemistry, Atta-ur-Rahman (ed). Vol.19, p. 793-835.
Bagnasco, P.; De La Fuente, L.; Gualteiri, G.; Noya, F.; Aris, A. (1998). Fluorescent Pseudomonas SPP as biocontrol agents against forage legume root pathogenic fungi. Soil, Bio. Biochem. 30 p. 1317-1322.
Espilacomba, N. (1988). Métodos de separación y concentración. Tomo II, Universidad de la Habana, Facultad de Química. ENPES.
Díaz De Villegas, M.E.; Bell, A.; Lorenzo, M.; Villa, P.; Antigua, M.; Redondo, D.; Guerra, M. (2001). Caracterización parcial de los metabolitos antifúngicos del producto biológico GLUTICID. ICIDCA, Sobre los Derivados , Vol. 35.
Díaz De Villegas,M.E.; Villa, P.; Frias, A. (2002). Evaluation of the siderophores production by Pseudomonas aeruginosa PSS. Rev. Latinoamericana de Microbiología.

PERSPECTIVAS DEL VERTICID Y EL NEMACID PARA EL CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS.

PERSPECTIVES OF VERTICID AND NEMACID FOR THE BIOLOGICAL CONTROL OF PESTS.

Autores: Alvarez R.M. , Gómez E , Zayas M.A* y San Juan A.N.
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICIDCA-CUBA-10).Vía Blanca 804 y Carretera Central. P.O. Box 4026, Ciudad de la Habana, Cuba.
*** Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales de Agricultura Tropical.**

Resumen

El desarrollo vertiginoso de la producción agrícola urbana en nuestro país, debido a la necesidad de suministrar alimentos frescos que contribuyan al balance dietético de la población, sin peligro de los efectos contaminantes no sólo al ambiente, sino también a la salud humana, promueven el incremento de uso de los bioplaguicidas y la reducción de las dosis empleadas como fertilizantes y plaguicidas químicos; es por eso que muchos investigadores han realizado estudios sobre el posible efecto adverso que pudieran provocar los productos químicos sobre los biológicos, ya que en la actualidad existe la tendencia de utilizar diferentes métodos de control mediante la lucha integrada, cuyo ejemplo más extendido es la combinación de plaguicidas químicos y biológicos. El objetivo del presente trabajo se encamino a evaluar la compatibilidad del **VERTICID** (formulado en polvo del hongo ***Lecacillium lecanii***), así como del producto obtenido de los efluentes, **NEMACID**, frente a algunos plaguicidas y bioplaguicidas que se emplean frecuentemente en los cultivos hortícolas. Los resultados obtenidos mostraron que de los plaguicidas químicos estudiados solamente el Endosulfan resultó inofensivo al **VERTICID**, por lo que es compatible con él; Dicofol, Maneb, Mancozeb, Metalaxil y Pirinicarb fueron sumamente tóxicos a este, mientras que el Zineb y Oxicloruro de cobre resultaron ligera y moderadamente tóxicos. Por otro lado, *Trichoderma viride* resultó incompatible con el **VERTICID**, mientras que el *B. subtilis* fue ligeramente compatible con el mismo. El **NEMACID** es compatible frente a *Trichoderma* y ligeramente compatible con *Azotobacter.*

Palabras claves: *Lecanicillium lecanii*, mosca blanca, nematodos.

Summary

The vertiginous development of urbane agricultural production in our country, due to the necessity of fresh food suplies for the maintainig of dietetical balance in our population, without risks for human health and the emvironment, increase the use of biopesticides and the reduction of the employed doses as fertilizants and chemical pesticides. For that reason many researchers have studied the adverse effect of chemical products against biological, because there is a tendency to employ different methods by the combination of chemical and biological pesticides. The objetive of this paper is the evaluation of the compatibility of **VERTICID (** formulated powder of the fungus *Lecacillium lecanii*), as will as the product obtained from the effuents, **NEMACID**, against several chemical and biological pesticides that are frecuently used in horticulture. Results obtained showed that only Endosulfan was inoffensive to **VERTICID**, so it is compatible; Dicofol, Maneb, Mancozeb, Metalaxil and Pirinicarb were extremely toxics, while Zineb was low toxic and Copper Oxicloride was moderate toxic. By other hand, *Trichoderma viride* was incompatible with **VERTICID** and *B. subtilis* was lightly incompatible. **NEMACID** was compatible with *Trichoderma* and lightly compatible with *Azotobacter.*

Key words: *Lecanicillium lecanii*, whitefly, nematodes.

Introducción

El desarrollo vertiginoso de la producción agrícola urbana en nuestro país, debido a la necesidad de suministrar alimentos frescos que contribuyan al balance dietético de la población, sin peligro de los efectos contaminantes no sólo al ambiente, sino también a la salud humana, promueven el incremento de uso de los bioplaguicidas y la reducción de las dosis empleadas como fertilizantes y plaguicidas químicos. Es por eso que muchos investigadores han realizado estudios sobre el posible efecto adverso que pudieran provocar los productos químicos sobre los biológicos, ya que en la actualidad existe la tendencia de utilizar diferentes métodos de control mediante la lucha integrada, cuyo ejemplo más extendido es la combinación de plaguicidas químicos y biológicos. **(**Cárdenas y Torres, 1998) La combinación de estos métodos ha demostrado las potencialidades de control de plagas, lo que ha conducido al estudio de la compatibilidad entre ambos, ya que los plaguicidas químicos pueden ejercer efectos negativos a tal punto de inhibir su actividad. (Del Pozo, 1983)

Desde 1989 la mosca blanca constituye uno de los problemas fitosanitarios más importantes de las hortalizas en Cuba. Para su control, se han ensayado diversos insecticidas químicos, así como cepas de hongos entomopatógenos, entre las que se destacan las del hongo *Lecanicillium lecanii*, el cuál es considerada por diferentes investigadores como un eficiente control biológico de la misma. (Hoffman y Frodshan, 1993; Delgado, 2000; Alvarez y otros, 2002). Por otro lado, dentro de las especies parásitas de plantas que más serios daños económicos causan a las cosechas agrícolas en todo el mundo se encuentran los nemátodos del género *Meloidogyne,* ya que ellos pueden infestar casi todo tipo de cosechas: vegetales, frutas, flores, árboles y arbustos. (Devidas y Crovetti,1990; Gómez y otros, 2002)

El objetivo del presente trabajo se encamino a evaluar la compatibilidad de un formulado en polvo del hongo *Lecanicillium lecanii* (**VERTICID**) efectivo para el control de la mosca blanca; así como del producto obtenido de los efluentes (**NEMACID**) para el control de nemátodos, frente a algunos plaguicidas y bioplaguicidas que se emplean frecuentemente en los cultivos hortícolas.

Materiales y métodos

Producción del VERTICID.

El producto es un formulado en polvo, obtenido mediante fermentación sumergida del hongo *Lecanicillium lecanii* en medio compuesto por miel final de caña y fosfato dibásico de amonio, de acuerdo al procedimiento descrito por Alvarez y otros (2004). El producto tiene una titulación del orden de 10^9 esporas/g y una humedad menor del 10%.

Producción del NEMACID.

El NEMACID es un producto en polvo constituido principalmente por proteasas alcalinas (Gómez y otros, 2004) y se obtiene a partir de los efluentes de la fermentación del hongo, mediante evaporación y secado en presencia de sulfato de amonio de acuerdo al procedimiento descrito por Gómez y otros (2002).

Pruebas de compatibilidad del VERTICID.

El producto fue evaluado frente a 9 plaguicidas químicos (Endosulfan, Metamidofos, Dicofol, Maned, Mancozeb, Oxicloruro de cobre, Zined, Metalaxil y Pirinicarb) y dos biológicos (*Trichoderma viride* y *Bacillus subtilis*) mediante estudios microbiológicos en placas de agar-papa-dextrosa (PDA).
Para el caso de los productos químicos se emplearon concentraciones de 50, 100 y 1000 mg de ingrediente activo/L de medio, se distribuyeron en placas petri y posteriormente se inoculó con 1 mL de suspensión del producto a una concentración del 1%. La toxicidad del producto se evaluó de acuerdo a los criterios establecidos en la Organización Internacional de lucha biológica (OIL).

El biopreparado de *B. subtilis* se colocó en la autoclave por 15 minutos a 1.5 atmósfera y posteriormente al medio PDA se le añadió 3 mL del mismo por cada 60 mL de medio, se vertió en placas petri a razón de 20 mL/placa y se inoculó con suspensión al 1% de **VERTICID**. Para el caso de *T. viride*, el medio de PDA se distribuyo en las placas, se inoculó con 1 mL de la suspensión del biopreparado y en el centro de cada placa se colocó un disco de micelio de *Trichoderma* de 5 mm de diámetro. Se conformaron 3 réplicas por variante y un testigo, realizándose las observaciones a los 7 días. El porcentaje de inhibición se determinó mediante la fórmula de Molera (1994).

% de inhibición = Co –Ct/Co . 100

Ct: media del número de colonias crecidas en 3 réplicas del tratamiento.

Co: media del número de colonias crecidas en

Pruebas de compatibilidad del NEMACID.

El producto fue evaluado con *Trichoderma viride* y Azotobacter (bacteria fijadora de nitrógeno). Se empleo medio agar nutriente conteniendo una suspensión del producto al 0.1%. Después que el medio se solidifica, para el caso de la bacteria se realizan diluciones seriadas desde 10^{-1} hasta 10^{-5}, los que luego se sembraron a razón de 0.1 mL/placa. Para el caso de *Trichoderma viride*, se colocaron en las placas un disco de micelio de 5 mm de diámetro. Las observaciones se realizaron al cabo de 24 horas para la bacteria y a los 5 días para el hongo

Para ambos productos se tomó como criterio de compatibilidad lo siguiente: >50% inhibición incompatible, entre 49 – 20% ligeramente compatible y < de 20% compatible.

Resultados y discusión

Como se observa en la tabla I el plaguicida que provocó la menor afectación al **VERTICID** fue el Endosulfan, el cuál a la mayor concentración solamente provocó un 20% de inhibición, por lo que puede considerarse que este producto es inofensivo al microorganismo y por tanto compatible. Cárdenas y Torres (1998) reportaron compatibilidad entre *P. fumosoroseus* y Endosulfan, planteando que los mismos se podían mezclar, con lo que se obtenía un efecto sinérgico en el control de *B. tabaci*. El Metamidifos fue ligeramente compatible con un 50% de inhibición. Los fungicidas Maneb, Metalaxil y Pirinicarb, provocaron un 100% de inhibición, resultando tóxico para el microorganismo y por tanto incompatible. El Zineb lo afectó en un 70% y el Oxicloruro de cobre en un 62% para la dosis más alta, por lo que consideramos estos productos como moderadamente y ligeramente tóxicos. Es importante destacar que a pesar de que existe una ligera compatibilidad entre el **VERTICID** y estos productos, los mismos no deben mezclarse a la hora de la aplicación, por lo que deberán esperarse como mínimo 3 días entre las aplicaciones. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Del Pozo (1987), Mártinez y Peña (1990) y Fernández-Larrea (1994) con los hongos entomopatógenos *V. lecanii* y *Mertahizium anisoliae*, los cuáles encontraron incompatibilidad con efectos tóxicos marcados para Maneb, Zineb y Metalaxil, no así para Oxicloruro de cobre, el cuál lo reportaron compatible con *V. lecanii*. Resultados similares reportaron Muiño y Larrinaga (1998) al estudiar la compatibilidad existente entre la cepa Y-57 de *V. lecanii* y algunos plaguicidas químicos.

Tabla I. Efecto de diferentes plaguicidas químicos sobre el VERTICID.

Plaguicidas	% de Inhibición de VERTICID a diferentes concentraciones		
	50 (mg i.a/L)	100(mg i.a/L)	1000(mg i.a/L)
Endosulfan	10.0	12.5	20.0
Metamidofos	35.6	42.5	50.0
Dicofol	100.0	100.0	100.0
Maneb	100.0	100.0	100.0
Mancozeb	100.0	100.0	100.0
Oxicloruro de cobre	40.5	53.8	62.6
Zineb	32.8	45.6	70.0
Metalaxil	100.0	100.0	100.0
Pirinicarb	66.3	75.6	90.5

Por otro lado, en la tabla II se muestra que el hongo *T. viride* provocó un 100% de inhibición sobre el hongo, ya que creció completamente en el medio de cultivo, demostrando su poder antagonista al no dejar crecer ninguna de las colonias del hongo entomopatógeno, por lo que lo consideramos incompatible con éste. En cuanto al *B. subtilis* la inhibición fue de 31.9% en el crecimiento del hongo, por lo que resulto ligeramente compatible.

Tabla II. Efecto de *T. viride* y *B. subtilis* sobre el VERTICID.

Bioplaguicidas	% de inhibición de VERTICID	Compatibilidad
T. viride	100.0	Incompatible
B. subtilis	31.9	Lig. compatible

En la tabla III se muestran los resultados obtenidos en cuanto a la compatibilidad del **NEMACID** con el *Azotobacter*, la cuál es una bacteria fijadora de nitrógeno. Como puede apreciarse los porcientos de inhibición son menores del 50%, lo que indica que el producto se considera ligeramente compatible con esta bacteria de uso común en los cultivos.

Tabla III. Pruebas de compatibilidad del NEMACID frente a *Azotobacter.*

Dilución	Testigo No. de colonias	Producto No. de colonias	% de inhibición
10^3	65	46	29%
10^4	54	31	42%
10^5	44	24	46%

Por otro lado, la evaluación frente a *Trichoderma viride* (hongo antagonista de suelo), el diámetro de las colonias en el medio envenenado siempre resultó igual al testigo, por lo que consideramos al microorganismo compatible con el producto ensayado. (Tabla IV)

Tabla IV.- Pruebas de compatibilidad del NEMACID frente a *Trichoderma viride..*

No. Exp.	Diámetro colonia Trichoderma frente al producto (mm)	Diámetro colonia Trichoderma (testigo) (mm)	Inhibición (%)
1	80	80	--
2	80	80	--
3	80	80	--

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que:

- De los plaguicidas químicos estudiados solamente el Endosulfan resultó inofensivo al **VERTICID**, por lo que es compatible con él, mientras que el Metamidifos fue ligeramente compatible con un 50% de inhibición
- Dicofol, Maneb, Mancozeb, Metalaxil y Pirinicarb fueron sumamente tóxicos al hongo. Por otro lado, Zineb y Oxicloruro de cobre resultaron ligera y moderadamente tóxicos al **VERTICID**.
- De los productos biológicos ensayados, Trichoderma viride resultó incompatible con el producto, mientras que el *B. subtilis* fue ligeramente compatible con el mismo.
- La evaluación de la compatibilidad del **NEMACID** mostró que el mismo es compatible frente a *Trichoderma viride* (hongo antagonista del suelo) y ligeramentecompatible con *Azotobacter* (bacteria nitrofijadora)

Referencias

1. Alvarez, R.M., San Juan, A.N., Gómez, E., Zayas, M. A., Hernández, Y., Lemes, T., Reyes, I., Croche, G. (2002), VII Congreso Internacional sobre Azúcar y derivados de la Caña. Ciudad de la Habana, Junio 2002. Tomo 2: 365-367.

2. Alvarez, R.M., San Juan, A.N., Zayas, M.A., Gómez, E., Hernández, Y., Lemes, T. (2004), Patente Cubana. No. Solicitud 2004-0009.

3. Cárdenas, E.H.M., Torres, S.E. (1998), Panorama Agropecuario 77, 14 – 16.

4. Delgado, H.A. (2000), Mosca Blanca (Bemisia sp): Plan Regional de Manejo Integrado. (II Parte)
5. Del Pozo, E.M. (1983), Tesis de Grado. ISCAH. La Habana, pp. 125.

6. Devidas, P., Crovetti, A.J. (1990), European Patent EP 0363897.

7. Fernández-Larrea, O., Fraga, M., Cabrera, T. (1994), Resúmenes III Simposio de Zoología, II Congreso Latinoamericano de Teriología. Ciudad de la Habana. Cuba, pp. 164.

8. Gómez, E., Alvarez, R.M., Zayas, M.A., Cruz, X., Hernández, Y., Lemes, T., San Juan A.N., Fraga, R., Fernández, I., Croche, G. (2002), Patente Cubana, No. Solicitud 2002-0312.

9. Gómez, E., Alvarez, R.M., Fraga, R., Reyes, I., Hernández,Y., Lemes , T., San Juan, A. N. (2004), Biotecnología Aplicada 21,(2).

10. Hoffman, M.P., Frodshan, A.C. (1993), Cooperative Extension, Cornell University, Ithaca, New York , pp. 63.

11. Martínez, R., Peña, M., Annelis, F. (1990), Trabajo de Diploma. Instituto de Química Mártires de Girón. Ciudad Habana, pp. 35.

12. Molera, A. (1994), Workshop. Edic. Copyright, pp. 99 –113.

13. Muiño, B.L., Larrinaga, L. (1998), Fitosanidad, 2, 33 – 35.

PROYECTO PARA LA PRODUCCIÓN NACIONAL DEL INSECTICIDA DAZOMET

PROJECT FOR THE NATIONAL PRODUCTION OF THE INSECTICIDE DAZOMET

Autores: Ing. Maribel Herryman Munilla (CI: 46041600378)
Dra. Gladys Blanco Carracedo (CI: 42060927717)
MSc. Laura Lami Izquierdo (CI: 51040809194)

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel
Correo electrónico: *maribel@icidca.edu.cu*
gladysb@icidca.edu.cu
llami@icidca.edu.cu

Resumen

El bromuro de metilo, eficaz fumigante para combatir distintas plagas, está entre las sustancias consideradas como detractoras de la capa de ozono, por lo que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha recomendado su sustitución progresiva. Por esta razón, autoridades agrícolas y medioambientales de muchos países se han planteado proyectos de investigación para encontrar agroquímicos sustitutos, entre los que se encuentra el Dazomet, desinfectante de suelos y semillas conocido también como Basamid.

En el trabajo se realiza una evaluación técnico económica preliminar de un proyecto para la producción de Dazomet en nuestro país con los resultados tecnológicos de las investigaciones desarrolladas en el ICIDCA. La misma evidenció indicadores económicos y financieros muy favorables y un ahorro de divisas con respecto a la importación del producto, lo que hace atractiva su ejecución.

Abstract

Methyl bromide, efficient insecticide for the control of different plagues, is one of the substances considered as harmful to the ozone layer, so the United Nations Organization (UNO) has recommended its progressive substitution. For this reason, agricultural and environmental authorities in many countries are promoting research projects to find substitute agrochemicals, among which is Dazomet, disinfectant for soils and seeds also known as Basamid.

In this paper a preliminary economic evaluation of a project for the production of Dazomet in our country with the technological results of the research work carried out in ICIDCA is done. This evaluation pointed out favorable economic and financial indicators for the project and foreign currency savings in comparison to imports, what makes attractive the project´s execution.

Introducción

El bromuro de metilo, eficaz fumigante, fue incluido como una de las sustancias detractoras de la capa de ozono por la Cuarta Reunión del Protocolo de Montreal, celebrada en 1992 en Copenague, Dinamarca y los medios masivos de comunicación han comentado reiteradamente la prohibición de su uso a partir del año 2005. Por esta razón, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) comenzó a recomendar su sustitución de manera progresiva.

La urgencia de la prohibición ha hecho que las autoridades agrícolas y medioambientales se planteen la ejecución de proyectos de investigación para encontrar productos sustitutos para el bromuro de metilo. Debido a la necesidad de encontrar métodos más eficientes que permitan lograr mayor productividad por cosecha, se emplean diferentes tipos de agroquímicos entre los que se encuentra el Dazomet, desinfectante de suelos y semillas, conocido también comercialmente como Basamid.

El ICIDCA trabaja en esta línea desde hace varios años y ha logrado desarrollar una tecnología para la producción del Dazomet. En este trabajo se realiza una evaluación técnico económica preliminar de un proyecto para la producción nacional de este insecticida, con los resultados tecnológicos obtenidos en las investigaciones llevadas a cabo en el Centro. Esta evaluación mostró indicadores económicos y financieros muy favorables para el proyecto y un ahorro de divisas con respecto a su importación, que hacen atractiva su ejecución.

1. Antecedentes

El ICIDCA ha trabajado por más de tres décadas en la síntesis de productos biológicamente activos de empleo, fundamentalmente, en la agricultura, entre los cuales se encuentra el Dazomet. Durante 1996, a través del Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (MINAGRI), se efectuaron aplicaciones del Dazomet obtenido en el ICIDCA en semilleros de tabaco y en canteros pertenecientes a un organopónico de la DAAFAR. El producto fue evaluado para diferentes dosis de aplicación demostrándose su efectividad en la reducción de los índices de infestación por plagas y malezas identificadas previamente, los que eran superiores al 50%, llegando a 95% en algunos casos. Además, se realizaron otros estudios que avalaron la efectividad del Dazomet, tomando como punto de partida para las evaluaciones del producto al MINAGRI como potencial cliente de gran importancia. (Rodríguez, 1998)

En el período 1994-1997 se aplicó Dazomet en la restauración de la calle Tacón del Casco Histórico, aprovechando sus propiedades fungicidas y fue corroborada la protección estimada para los adoquines y el suelo tratados. (Lami, 2002)

El Dazomet obtenido en el ICIDCA se inscribió en el Registro Central de Plaguicidas de la República de Cuba y se revalidó en instituciones nacionales acreditadas con excelentes resultados en la desinfección de casas de cultivo, sustratos y cepellones de tabaco, café, cítricos, bledo, escoba amarga y otros. También se han logrado resultados alentadores en las evaluaciones biológicas preliminares de los formulados en zeolita. (Lami, 2002)

Actualmente, el producto se encuentra en etapa de planta piloto, en la que se deben ajustar algunos parámetros para acometer su escalado a niveles comerciales. Se cuenta con el permiso ambiental para la ejecución de las pruebas de producción en mayor escala, que pueden realizarse en la Planta de Productos Naturales del CNIC (La Muñeca), donde existen las condiciones tecnológicas y de operación y el interés para su ejecución.

Para la realización del proyecto se han establecido contactos con empresas nacionales y extranjeras que han mostrado interés en relación a su producción y comercialización como son TROPIFLORA de Cuba, FERCOL de Colombia, ZELL CHEMIE de España y ZELL SANID S.A. cubano-española. La participación de cada una sería la siguiente: (Herryman y Blanco, 2002)

TROPIFLORA: Posible comercialización (nacional o al exterior)
FERCOL: Posibilidad de comercialización en Colombia e intercambio de información con centros especializados.
ZELL CHEMIE: Posibilidad de exportación y suministro de materias primas.
ZELL SANID SA: Suministro de materias primas y comercialización en el mercado nacional o de exportación.

2. Aspectos generales

El Dazomet es un producto químico de la familia de las tiadiazinas que se presenta en forma de cristales blancos, es estable a temperaturas hasta 35 ^{o} C y sensible a la humedad; se hidroliza en medio ácido en disulfuro de carbono, formaldehido y metil amina y en estado seco no es corrosivo.

Es un desinfectante general de suelos. Aplicado antes de la plantación de los cultivos resulta un fumigante muy efectivo, con reconocidas propiedades esterilizantes contra la mayoría de los microorganismos, insectos y plagas más resistentes. Puede utilizarse en plantas ornamentales como insecticida, nematicida y herbicida, para la desinfección de sustratos, en el tratamiento de suelos contra malas hierbas, hongos, nemátodos, insectos y bacterias y en la fumigación de semillas de tabaco, arroz, cacao, café, cereales, especias, frijol, frutas secas, maíz y trigo. (Lami, 2002)

Tiene acción desinfectante por su conversión en metil isotiocianato, cuya actividad como desinfectante de suelos es bien conocida. Los estudios toxicológicos han demostrado que no tiene efectos oncógenos, ni teratogénicos en perros, conejos y otros mamíferos, ni ocasiona aberraciones en cromosomas humanos, entre otros resultados. También se emplea como fungicida en la fabricación de pulpa y papel y como preservante en adhesivos y pegamentos. (Lami, 2002)

Este compuesto tiene una estructura heterocíclica (derivado de tiodiazina) que se rompe con la humedad del suelo originando metil isotiocianato y otros productos en una reacción primaria; los productos secundarios contienen formaldehído y otros que poseen también fuerte actividad biocida. Es altamente fitotóxico por lo que los suelos tratados con el producto no deben plantarse hasta estar libres de Dazomet o sus productos de degradación. (Lami, 2002)

Se formula como granulado, polvo seco o polvo humedecible y es necesario tomar precauciones dada la acción irritante de sus productos de degradación. La Tabla 1 muestra los nombres comerciales según la firma suministradora.

Tabla 1. Nombres comerciales

Nombre comercial	Firma
Basomid	BASF
Boszamet	Bos
Crag Fungicide 974	Rhône Poulenc
Dagoberg	Diachem
Fongosan	-
N - 521	-

Fuente: Herryman, M. y Blanco, G. Estudio sobre Dazomet. Estrategia de Desarrollo de Derivados hasta el 2010. Comisión "Otros productos". ICIDCA. 2002

3. Concepto, objetivos, implementación y ventajas del proyecto

El proyecto consiste en realizar la producción del Dazomet en la planta del CINC (La Muñeca) para comprobar la tecnología desarrollada en el ICIDCA, suministrar al MINAGRI el producto en las cantidades que necesita y a precios más ventajosos y realizar exportaciones, si existiera la posibilidad .

Esta instalación cuenta con el equipo y la mano de obra necesaria para esta producción. Tiene una capacidad productiva de 100 kg/d, operando tres turnos, lo que significa 30 000 kg/a o 30 t/a en 300 días. Con esta producción se puede satisfacer lo que plantea Sanidad Vegetal para tabaco y quedaría para otros usos.

Como objetivo general se debe lograr una tecnología de producción del Dazomet económicamente factible y su formulación, tanto en forma granulada como soportado en zeolita para su empleo como sistema de acción sostenida sin riesgo de contaminación ambiental, así como la investigación y validación de sus formas óptimas de utilización.

El alcance de los objetivos trazados en este proyecto contribuiría a solucionar parte de los problemas críticos que presenta la alimentación humana, al contar con un agroquímico compatible con el medio ambiente capaz de asumir la desinfección de suelos y semillas sin gastos elevados y disponible en el momento adecuado.

La producción de Dazomet en Cuba tiene las ventajas siguientes:

- **Disponer de un agroquímico de gran utilidad que sustituya al bromuro de metilo, fumigante por excelencia empleado en el país, pero cuya aplicación ha quedado prohibida por la FAO a partir del año 2002 en los países en desarrollo, al demostrarse que afecta la capa de ozono.**
- **No está clasificado como nocivo, pues se descompone en el suelo, con el calor y la humedad, en productos volátiles no tóxicos y, además, tiene un espectro de aplicaciones mucho más amplio que el bromuro de metilo.**
- **Obtener un beneficio económico al sustituir su importación, dado el elevado valor que tiene este producto en el mercado internacional y poder ampliar su utilización en la agricultura y otros sectores de la economía.**
- **Realizar exportaciones a precios competitivos y/o transferencia de tecnología.**
- **Mejora sustancial de la alimentación humana al producirse mayor cantidad de alimentos con menores costos de los insumos de producción y de forma inofensiva al medio ambiente.**

Se plantea que el Ministerio de la Industria Azucarera (MINAZ), el Ministerio de Educación Superior (MES) y el Ministerio de Agricultura (MINAGRI) apoyarán y controlarán la implementación de los resultados del proyecto de la siguiente manera: (Lami, 2002)

- **MINAZ: Tecnología de producción y personal técnico especializado.**
- **MES: Instalación de producción a escala semi-industrial (CNIC).**
- **MINAGRI: Empleo, aplicación y evaluación del producto.**

4. Análisis del mercado

El Dazomet se importa a través de la empresa Quimimport del MINCEX, con el nombre comercial de Basamid, para uso del MINAGRI. La últimas compras fueron en el 2000; en los años 2001, 2002 y 2003 no se realizaron importaciones por existir inventarios del producto y problemas financieros, pero Sanidad Vegetal ha manifestado interés de continuar utilizándolo. El

suministrador del país es la firma BASF de Alemania y el precio promedio de importación CIF Habana en el 2000 fue de 4500,00 USD/t. (Quimimport, 2002 y 2003)
En la Tabla 2 se dan las importaciones de1999 y 2000.

Tabla 2. Importaciones de 1999 y 2000

Año	Cantidad (t)
1999	4,24
2000	8,86

Fuente: Quimimport, 2002

El único consumidor del producto es el MINAGRI. Actualmente se emplea en el tabaco para la fumigación de los semilleros nuevos de alta tecnología y en las casas de cultivo. En estos momentos, el factor limitante para un mayor consumo es el financiamiento. Según información de Sanidad Vegetal, en este sentido, el consumo real del MINAGRI, nunca ha sido mayor de 20 t/año y, en las condiciones más optimistas, no debe sobrepasar las 40 t/año. (Maura, 2002)

El producto puede tener aplicación en otros cultivos, pero no está identificada y para conocerla hay que analizar la situación fitosanitaria del país para determinar la posible demanda. También podría usarse en el turismo en jardines de instalaciones hoteleras y de recreación, en obras de preservación en el Casco Histórico y en la agricultura urbana, lo que aumentaría las cantidades a emplear.

El principal cliente del Dazomet nacional sería el MINAGRI, pero dada su efectividad y espectro de aplicación, no debe descartarse su uso en otros sectores. Para acometer su producción comercial en el país es indispensable determinar la demanda real y su crecimiento ya que es fundamental para la decisión de hacerlo en una instalación existente o mediante la ejecución de una nueva inversión.

5. Proceso tecnológico

El proceso de obtención es de tipo discontinuo y consta de tres etapas. La primera es la de síntesis, que se realiza en tres reactores agitados con capacidad de 170 litros, provistos de enfriamiento por agua, ya que es necesario mantener la temperatura de la reacción por debajo de 32 ^{O}C para evitar que disminuya la eficiencia. La dosificación del bisulfuro de carbono y el formaldehído se realiza lentamente para que no se incremente la temperatura de la reacción. (García, 2002)

La segunda es la de separación y lavado utilizando centrífugas filtrantes y la tercera es de secado, que se realiza en secadores de bandejas y en la que se reduce la humedad del producto final de 22% a menos de 1%. La pureza del producto alcanza valores de más del 90%. En la Tabla 3 se muestra el equipo fundamental para la producción de Dazomet . (García, 2002)

Tabla 3. Equipo fundamental

Equipos	Cantidad
Reactores de acero inoxidable	3
Centrífugas filtrantes Heine	3
Secadores al vacío de bandejas	3
Tolva y balanza para envase	1
Caldera de vapor de 3t/h	1
Unidad de refrigeración	1

Fuente: García, M. A. Subdirección de Desarrollo. ICIDCA. 2002

La instalación no es compleja y los equipos son convencionales de la industria química.

Los índices de consumo de materias primas y servicios por tonelada de Dazomet y sus precios aparecen en la Tabla 4.

Tabla 4. Indices tecnológicos de consumo

Mat. Primas y materiales	Precio (USD/t)	Indice de consumo (t)
Formaldehido	556,50	1,32
Metilamina	1203,00	1,12
Disulfuro de carbono	533,50	0,50
Bolsas poliprop. (20 kg)	0,25	50
Servicios		
Fuel oil	181,48	0,8
Diesel oil	217,11	0,175
Electricidad	0,0763	4,20
Agua (m^3)	0,10	20,0

Fuente: García, M. A. Información tecnológica. Subdirección de Desarrollo. 2002
Chemical Market Report. 2001
Lista Oficial de Precios. MINAZ. 2002

6. Costo de inversión y producción

Para la ejecución del proyecto no es necesario realizar inversiones en activos fijos pues lo que se plantea es su fabricación en una planta existente (La Muñeca) que cuenta con las instalaciones necesarias. El único desembolso sería en capital de trabajo para iniciar la operación que asciende a 9 900 pesos.

La Tabla 5 muestra el costo del producto fabricado en la planta del CNIC.

Tabla 5. Costo de producción del Dazomet

Elementos	Total (pesos/t)	Divisas(USD/t)
Mat. Primas y materiales	2361,19	2348,50
Servicios	505,63	504,43
Salarios y seg. social	248,70	82,07
Costos indirectos	24,87	-
Otros	28,67	28,53
COSTO TOTAL	3169,06	2963,53

El insecticida tiene un costo estimado de producción de 3169,06 pesos/t (3,17 pesos/kg) con un componente en divisas de 2963,53 USD/t (2,96 USD/kg), que está por debajo del último precio de importación que fue de 4500,00 USD/t (4,50 USD/kg). Aunque este es un estimado preliminar que debe ajustarse cuando se puedan realizar las corridas de validación, muestra un margen con respecto al precio que permite suponer que la producción nacional puede resultar competitiva, sobre todo en relación a las divisas.

Tomando como precio de venta del Dazomet nacional 4200,00 USD/t, la producción de 30 t anuales podría significar un ahorro en divisas de 37 094 USD al año con respecto a su importación.

7. Factibilidad económica

Se realizó un análisis económico-financiero de este proyecto para conocer su viabilidad utilizando el Programa de Evaluación de Inversiones desarrollado por el MINAZ. Los resultados son preliminares dado el carácter de la información.

Para correr el programa se hicieron los siguientes supuestos:

- **Vida útil de 10 años**
- **Tasa de actualización del 12%**
- **Precios de materias primas de Lista de Precios Oficiales del MINAZ y Chemical Market Report**
- **Precio de combustibles, electricidad y agua según Lista de Precios Oficiales del MINAZ**
- **Mano de obra y otros costos fijos según Ficha de Costo del DCU que se fabricó también en la planta del CNIC (La Muñeca)**
- **Precio de venta del producto final de 4 200 USD/t (un poco más bajo que el de importación del año 2000, según información de Quimimport del MINCEX)**
- **La planta opera a plena capacidad (30t/a), teniendo en cuenta lo planteado por Sanidad Vegetal del MINAGRI en cuanto a la demanda y considerando la posibilidad de realizar exportaciones, de manera de aprovechar al máximo las economías de escala de la instalación. Se asumió la siguiente curva de asimilación de capacidad:**

Año 1	**60%**
Año 2	**85%**
Año 3–10	**100%**

Bajo los supuestos anteriores se obtuvieron los resultados que se dan en la Tabla 6.

Tabla 6. Indicadores económicos

TIR	**134,7%**
VAN	**81 800 pesos**
Período de recuperación	**2 años**

La evaluación evidenció una TIR muy alta (134,7%) y un período de recuperación de los fondos invertidos corto (2 años), lo que hace atractiva la ejecución del proyecto.

8. Conclusiones y recomendaciones

- **Los indicadores económico-financieros del proyecto son muy favorables; una TIR de 134,7%, muy superior a la normada para la Rama Química de 16, 67% y un período de recuperación corto de 2 años hacen que su ejecución resulte conveniente para el país.**

- **La producción nacional de 30 t/a de Dazomet, en los términos del proyecto, permitiría disponer del insecticida en las cantidades que requiere la agricultura, a precios más bajos, lo que representaría un ahorro de divisas para el país de 37 094 USD al año.**

- **Aunque los resultados económico financieros se obtuvieron con información tecnológica preliminar que debe ajustarse para una producción comercial, son muy favorables, lo que da margen para que, aún con variaciones, todavía la producción sea rentable.**

- **Es importante profundizar e investigar el mercado interno y la posibilidad de exportación del**

producto, así como comprobar los factores tecnológicos y económicos de cuya precisión va a depender el éxito del proyecto y la decisión de realizar mayores producciones.

9. Referencias

- **Chemical Market Report. 2001**
- **Evaluación económica preliminar del costo de materias primas para la producción de DAZOMET. Ing. Lester Rodríguez. Subdirección de Desarrollo. 1998**
- **Herryman, M.; Blanco, G. Estudio sobre Dazomet. Estrategia de Desarrollo de Derivados hasta el 2010. Comisión "Otros productos". ICIDCA-MINAZ. 2002**
- **Información sobre uso en agricultura por comunicación personal con Ing. Maura. Sanidad Vegetal. MINAGRI. 2002**
- **Información técnica y de mercado entregada por la Lic. Laura Lami, Subdirectora de Química. ICIDCA, 2002**
- **Información tecnológica entregada por el Ing. Miguel A. García del Dpto. de Ing. Química de la Subdirección de Desarrollo. 2002**
- **Lista Oficial de Precios. MINAZ. 2001**
- **Información de mercado y precios de QUIMIMPORT. MINCEX. 2002**

DIVERSIFICACIÓN 2004

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL BIOFUNGICIDA GLUTICID EN SU USO FITOSANITARIO EN EL CONTROL BIOLÓGICO DE SEMILLAS BOTÁNICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y DE OTROS CULTIVOS

DIVERSIFICATION 2004 ECONOMIC ANALYSIS OF THE BIOFUNGICIDE GLUTICID IN FITOSANITARY USE IN THE BIOLOGICAL CONTROL OF BOTANICAL SEEDS OF THE SUGAR CANE AND OF OTHER CULTIVATIONS

Ing. Carlos M. Santiesteban Garlobo;Lic. Pilar Villa Gómez e Ing. Julio Martínez Valdivieso

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Apartado Postal 4026, Vía Blanca # 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, 11000
Telf. (537) 55 70 15; Fax 98 82 43; E-Mail: santiesteban@icidca.edu.cu y villap@icidca.edu.cu

RESUMEN
El biofungicida bioquímico Gluticid, contiene metabolitos antifúngicos y sideróforos de *Pseudomonas aeruginosa* PSS que se emplean en la prevención de las enfermedades producidas por hongos fitopatógenos en las semillas botánicas de la caña de azúcar y otros cultivos como papa, tomate, tabaco, frijol, cucurbitáceas, banano y contra hongos inferiores en los hongos comestibles los que provocan grandes pérdidas económicas.
Se realiza la evaluación económica del proyecto de una planta de Gluticid de 300 kg por día para disponer de la factibilidad real de su ejecución, describiendo el equipamiento tecnológico y señalando las etapas del proceso. En la opción de evaluación escogida, la Tasa Interna de Rendimiento es de aproximadamente 13,5 % y 47,6 %, para el total y las divisas respectivamente; con un período de recuperación de la inversión de 7 años para el total y de 2 años para las divisas.
Los niveles de sustitución y efectividad comprobados entre el Gluticid con 0.08 kg/ha y el Mancozeb con 2-3 kg/ha, permiten asegurar la factibilidad de la producción del biofungicida Gluticid, tanto económica como de protección ambiental.

Palabras clave: evaluación, biofungicida, biocontrol, *Pseudomonas*

ABSTRACT
The biochemical biofungicide Gluticid, contains antifungical metabolites and siderophores of Pseudomonas aeruginosa PSS that are used in the prevention of the illnesses taken place by phytopathogenic fungii in the botanical seeds of the sugar cane and other cultivations like potato, tomato, tobacco, bean, cucurbitáceas, banana tree and against inferior fungii in the edible mushrooms those that cause big economic losses.
The economical evaluation of the project of a plant of Gluticid of 300 kg per day to have the real feasibility of their execution, describing the technological equipment and pointing out the stages of the process, is carried out. In the option of chosen evaluation, the Internal Rate of Yield is of approximately 13,5% and 47,6%, for the total and the foreign currencies respectively; with a period of recovery of the 7 year-old investment for the total and of 2 years for the foreign currencies.

The substitution levels and effectiveness checked among the Gluticid with 0.08 kg/ha and the Mancozeb with 2-3 kg/ha, they allow to assure the feasibility of the production of the biofungicida Gluticid, so much economic as of environmental protection.

Password: evaluation, biofungicide, biocontrol, Pseudomonas

INTRODUCCIÓN

Gluticid es un biofunficida bioquímico, que contiene metabolitos antifúngicos y sideróforos de *Pseudomonas aeruginosa* PSS, que se emplea en la prevención de las enfermedades producidas por hongos fitopatógenos.

Los metabolitos antifúngicos son de gran importancia en la agricultura cañera y no cañera para ser aplicados en el control biológico de hongos fitopatógenos foliares y del suelo que provocan grandes pérdidas en divisas y en moneda nacional a la economía, ya que atacan a las semillas botánicas de la caña de azúcar y otros cultivos como papa, tomate, tabaco, frijol, cucurbitáceas y banano siendo, además, eficiente en el control de los hongos inferiores contaminantes del cultivo de los hongos comestibles (Villa y col. 2002 y Alfonso y col. 2003).

Las patologías presentes en la semilla botánica producen perdidas que oscilan entre 10 y un 15% y su control mediante productos químicos resultaría de alto valor económico. Por tal razón, la búsqueda de organismos antagonistas que sustituyan los medios químicos, que sean efectivos como estos, así como menos inocuos y costosos, se ha convertido en una línea de trabajo para muchos investigadores.

La tendencia a la aplicación de microorganismos y bioproductos para control fitosanitario se incrementa cada día más (Fernández Larrea, 1997). En Cuba se ha demostrado que el producto biológico conteniendo metabolitos antimicrobianos y sideróforos de *Pseudomonas aeruginosas* PSS resulta una buena alternativa para controlar enfermedades fungosas en papa, tomate, pimiento y tabaco (Villa, P. et al, 2000, Stefanova et al, 1999, ,Stefanova, et al 1995).

El biofungicida Gluticid conteniendo metabolitos de *Pseudomonas* aeruginosas PSS, ejerce un efecto importante en la inhibición del crecimiento micelial de las especies *Drechslera spicifera* y *Curvularia trifolii*, *Curvularia gudauskasii Curvularia senegalensis* lo cual resulta de gran importancia, ya que dichos hongos fueron aislados de la semilla botánica de la caña de azúcar y, constituyen una fuente potencial de enfermedades para este cultivo.

Contar con un producto biologico de Pseudomonas aeruginosa PSS que contenga solo los metabolitos antifungicos y sideroforos para el control de hongos que atacan las semillas agámica y botánicas de la caña de azúcar es de importancia para la disminución de las enfermedades producidas por estos, si tenemos en cuenta que la producción de los metabolitos secundarios como sideróforos y antimicrobianos a partir de *Pseudomonas sp* ha sido estudiada por diferentes investigadores como un mecanismo de estas cepas para el control biológico de hongos fitopatogenos (Villa P, 1999; Díaz de Villegas M.E, 1999; Nielsen, *et al,* 1998; Weller y Thomashow, 1993; Shanahan, *et al),*

El objetivo de este análisis es la actualización de la evaluación económica del proyecto de una planta de Gluticid de 300 kg por día para disponer de la factibilidad inicial de su ejecución, disponiendo ya de los estudios de campo, realizados por el Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal y la Empresa de Cultivos Varios, ambos de Cienfuegos, que aportan el nivel de sustitución de uno de los principales productos de importación.

1. ASPECTOS GENERALES

Esta evaluación analizará el diseño de una instalación para la producción comercial del principio activo, en forma de sólido soluble obtenido por fermentación controlada en condiciones especiales, de Pseudomonas aeruginosa Pss, aislada del suelo, el Gluticid.

Por medio de este proceso se cuenta con un procedimiento de obtención de un producto biológico en forma de liquido concentrado y/o en polvo constituido por metabolitos antifúngicos y sideróforos del tipo pioverdin el cual puede ser usado en la prevención de las enfermedades foliares producidas por los hongos fitopatógenos Alternaria solani (tizón temprano) Phytophthora infestans (tizón tardío) Peronospora tabacina (moho azul) Uromyces phaseoli ,(roya del frijol), Pseudoperonospora cubensis, (mildiu velloso) Micosphaerella fijiensis (sigatoka.negra).

Las bases de la tarea técnica son el resultado de numerosos trabajos de investigación realizados a escala de banco, microplanta y planta experimental y que abarcaron, entre otros aspectos, la simplificación y optimización de los medios de cultivo tanto para la etapa de propagación de la cepa como para la producción del principio activo; así como la identificación de los parámetros tecnológicos óptimos.

La tarea técnica corresponde a una instalación modular con una capacidad básica de 300 kg por día de Gluticid, con el fin de facilitar análisis posteriores dirigidos al incremento del volumen productivo, en correspondencia con la expansión progresiva del uso de este bio-fungicida. Esta capacidad de producción permitiría la atención de 10000 ha de tomate, tabaco, papa u otros cultivos durante un año.

2.- PRODUCTO A OBTENER

El producto final deberá tener la siguiente composición:

Apariencia	Polvo fino, blanco o crema soluble en agua
pH	5.0-6.0
Metabolitos antimicrobianos	30-85 mg/g de polvo
Sideróforos	70 mg/g
M.S.G.	98%
Actividad Antibiótica	100%

3.- EQUIPAMIENTO (11)

El diseño de la instalación requiere del siguiente equipamiento:

Equipos	Especificaciones	Cantidad
Tanque disolutor de sales R-01	Volumen: 800 L Material: acero inox AISI 304 Agitación mecánica Tipo: propela marina r.p.m. 250 (0.7kw)	2
Bomba de trasiego B-01	Bomba centrífuga Capacidad: 1m ^{3}/h Carga: 10m Material: acero inox AISI 304	2
Tanque de almacenaje de soluciones de nutrientes T-01,02	Volumen: 500 L Material:acero inox AISI304	2
Tanque de almacenaje de sosa 20% T-03	Volumen: 500 L Material:acero al carbono	1
Tanque de almacenaje de ácido clorhídrico 1:1 T-04	Volumen:500 L Material:acero inox AISI 316	1
Cultivador F-01	Fermentador de laboratorio Volumen: 150 L Material:acero inox AISI 304	2
Prefermentador F-02	Volumen:1m ^{3} Material:acero inox AISI 316 Tanque agitado con sistema de enfriamiento y calefacción por camisa externa con sistema de instrumentacíon	2

Equipos	Especificaciones	Cantidad
Fermentador F-03	Volumen:6 m^3 Material:acero inox AISI 316 Tipo: tanque agitado con calefacción y enfriamiento por camisa externa ,con control de temperatura, pH e indicación de nivel	2
Sistema de enfriamiento FC-01	Celda de enfriamiento con agua a 10 ºCCapacidad:50000 $kcald^{-1}$	2
Bomba de trasiego B-02	Bomba centrifuga sanitaria Capacidad:10 m^3 Carga:10 m Material:acero inox AISI 304	2
Tanque receptor de batición fermentada T-04	Tanque tipo lechería dotado de sistema de enfriamiento Material:acero inox AISI 304 Volumen:10 m^3	2
Centrífuga tubular, FS-01	Capacidad:100L; r.p.m.: 15000	3
Evaporador de película descendente, E-01	Capacidad:100 kg/h de agua evaporada Material:acero inox AISI 316	1
Tanque Agitado para crema evaporada T -05	Capacidad: 2 m^3 Material: acero inox AISI 304 Agitador Ekato Mik 1690 r.p.m.	2
Secador por Atomización D -01	Capacidad:100 kg/h de agua evaporada Material: acero inox Calentamiento con vapor	1
Tolva para recepción de producto seco A -01	Capacidad: 1.5 m^3 Material: acero inox AISI 304	1
Llenadora selladora de bolsas, FWS -01	Capacidad: 150 kg/h	1
Generador de vapor GP -01	Capacidad: 5.0 t/d Presión:10atm.	1
Soplador de aire, FC -01	Capacidad: 2m^3 min^{-1}	2

3. COSTO DE INVERSIÓN

El monto de la inversión asciende a unos 881 300 pesos, con un componente en divisas libremente convertibles del 60 %.

COSTO DE LA INVERSIÓN FIJA DE LA PLANTA DE GLUTICID DE 300 kg/día		
Componentes	**Total**	**Divisas**
Equipos	**560000**	**336000**
Construcción	**181000**	**108500**
Montaje	**60200**	**36100**
Otros	**80100**	**48000**
TOTAL	**881300**	**528600**

4. INSUMOS DEL PROCESO

Los insumos van a estar distribuidos en las siguientes etapas del proceso:

I- Preparación de materias primas y materiales:
   a. Preparación de nutrientes.
   b. Preparación de soluciones para el control de pH.

II- Preparación del cultivo puro
   a. Propagación de la cepa de Pseudomonas aeruginosa desde la cuña hasta la etapa de prefermentación.

III- Desarrollo de la cepa de Pseudomonas en fermentadores para la obtención del principio activo.

IV- Recuperación del principio activo por centrifugación.

V- Concentración de parte del principio activo por evaporación.

VI- Formulación del principio activo sobre soporte inactivo.

VII- Secado por atomización.

VIII- Control de la producción.

IX- Envasado del producto.

Pero se resumirán en dos bloques:

A.- Indices de consumo para la preparación del inóculo e
B.- Indices de consumo del proceso

A.- Indices de consumo para la preparación del inóculo para 300 kg/día

Componente	Cantidad (g)
Peptona Bacteriológica	**10**
Triptona	**10**
Fosfato Monobásico de Potasio	**1.5**
Sulfato de Magnesio	**1.5**
Glicerina	**10 mL**
Agua Destilada	**1.0 L**

B.- Indices de consumo del proceso para 300 kg/día

No	Descripción	Indice (kg)
1	**Acido Glutámico**	**24**
2	**Urea**	**9.6**
3	**Fosfato Monobásico de potasio**	**4.8**
4	**Hidróxido de Sodio**	**15**
5	**Acido Clorhídrico**	**18**

5. COSTO DE MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES

Se ha conformado agrupados en:

A- Inóculo
B- Proceso
C- Envases y
D- Servicios

En la tabla siguiente se muestra la desagregación de cada una de las partidas incluidas en el costo de las materias primas y materiales siendo las de mayor peso, lógicamente, los insumos del proceso más los envases con 64,5 %; seguido de los servicios con 34,6 %; correspondiendo a los insumos del inóculo sólo un 0.9 %.

INSUMOS DE MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES DE LA PRODUCCIÓN DE GLUTICID

Producción: 300 kg/día - 300 días/año

Materias primas y materiales

A- Inóculo:	Insumos g	Precio Total/kg. pesos	Div./ton USD	Costo 300kg/día Total pesos	Costo 300kg/día Divisas USD	Costo 90000 kg/año Total pesos	Costo 90000 kg/año Divisas USD
Peptona bacteriológica	10	151,8	138	1,52	1,38	456	414
Triptona	10	46,51	42,28	0,47	0,42	141	126
Fosfato monosódico de potasio	1,5	269,50 /10 kg.	245	0,04	0,04	12	12
Sulfato de magnesio	1,5	71,5	65	0,11	0,1	33	30
Glicerina	10 ml	12,50 /lit.	11,35	0,13	0,11	39	33
Agua destilada	1,0 lit.	0,5515 /bot 750ml	0	0,74	0	222	0
Sub-total 1				**3,01**	**2,05**	**903**	**615**

B- Proceso:	Insumos kg	Precio Total/ton pesos	Div./ton USD	Costo 300kg/día Total pesos	Costo 300kg/día Divisas USD	Costo 90000 kg/año Total pesos	Costo 90000 kg/año Divisas USD
Acido Glutámico	24	8,25/kg	7,5	198	180	59400	54000
Urea	9,6	232,15	209,5	2,23	2,01	669	603
Fosfato monobásico de potasio	4,8	2331	2100	11,19	10,08	3357	3024
Hidróxido de sodio	15	436,21	390,16	6,54	5,85	1962	1755
Acido Clorhídrico	18	136,14	106,9	2,45	1,92	735	576
Sub-total 2				**220,41**	**199,86**	**66123**	**59958**

Materias primas y materiales		Precio		Costo 300kg/día		Costo 90000 kg/año	
	Insumos	Total/kg.	Div./ton	Total	Divisas	Total	Divisas
	g	pesos	USD	pesos	USD	pesos	USD
C- Envases:							
bolsas de polietileno de 1,5 kg.	**100 u**	**0,0188 /u**	**0,015**	**1,88**	**1,5**	**564**	**450**
bolsas de polietileno de 10,0 kg.	**15 u**	**0,1816 /u**	**0,1453**	**2,72**	**2,18**	**816**	**654**
Sub-total 3				**4,6**	**3,68**	**1380**	**1104**
Sub-Total 4 (1+2+3)				**228,02**	**205,59**	**68406**	**61677**
D- Servicios							
Electricidad, kwh/d	**330**	**0,0883**	**0,0883**	**29,139**	**29,139**	**8741,7**	**8741,7**
Agua industrial, m cúb./d	**14**	**0,1**	**0**	**1,4**	**0**	**420**	**0**
Agua tratada, m cúb./d	**6**	**0,33**	**0,23**	**1,98**	**1,38**	**594**	**414**
Vapor, m lb/d	**8,8**	**2,0566**	**0,3339**	**18,1**	**2,94**	**5430**	**882**
Fuel Oil, t/d	**0,4**	**194,5**	**194,5**	**77,8**	**77,8**	**23340**	**23340**
Sub-Total 5				**128,419**	**111,259**	**38525,7**	**33377,7**
GRAN TOTAL				**356,439**	**316,849**	**106931,7**	**95054,7**

6. MANO DE OBRA

Con una plantilla anual de 23 trabajadores, la planta tendrá el costo siguiente por este concepto:

MANO DE OBRA				
categoría	cantidad	salario unitario mensual	salario mensual	salario anual
Universitarios	2	344	688	8256
Técnicos medios	12	325	3900	46800
Obreros calificados	9	191	1719	20628
TOTAL Salario Básico	23	860	6307	75684
Salario,Vacaciones y Seguridad Social				94123,3753

7. ESTIMADO DEL COSTO DE PRODUCCIÓN ANUAL

Se ha estimado el costo de producción desglosado en sus componentes generales: Para la depreciación se estimó una vida útil promedio para la instalación de 15 años (6,67 %). El costo total anual es de unos 289 604 pesos con 38,11% en divisas.

COSTO DE PRODUCCION ANUAL DE GLUTICID		
Producción: 300 kg/día - 90000 kg/año	Total	Div. Directas
Materias primas y materiales	106931,70	95054,70
Salarios	94123,38	
Mantenimiento	8809,00	5285,00
Costo de Operación	209864,08	100339,70
Depreciación	58753,33	
Otros	20986,41	10033,97
COSTO TOTAL	289603,82	110373,67
	289604	110374

8. INDICADORES ECONOMICOS

Los indicadores económicos generales del proyecto se resumen a continuación:

INDICADORES ECONOMICOS SINTETICOS DEL GLUTICID *								
	Precio 3000 USD/t		Precio 3500 USD/t		Precio 5000 USD/t		Precio 10000 USD/t	
Indicadores	Total	Divisas	Total	Divisas	Total	Divisas	Total	Divisas
INVERSIÓN FIJA TOTAL	881300	528600	881300	528600	881300	528600	881300	528600
PRODUCCIÓN: 300 kg/día - 90000 kg/año								
VALOR DE LA PRODUCCIÓN	270000	270000	315000	315000	450000	450000	900000	900000
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN	289603,82	110373,67	289603,82	110373,67	289603,82	110373,67	289603,82	110373,67
UTILIDADES BRUTAS	-19603,82	159626,33	25396,18	204626,33	160396,18	339626,33	610396,18	789626,33
UTILIDADES NETAS		118241,7259	18811,988	151575,0593	118811,988	251575,059	452145,321	584908,393
TASA DE RENDIMIEMTO (TIR), %		22,36884713	2,134572564	28,67481257	13,4814465	47,5927089	51,3043596	110,652363
PERIODO DE REEMBOLSO, años		4,470503081	46,84778663	3,487381121	7,41760166	2,10116218	1,94915209	0,90373126

Se utilizó un rango de precios muy amplio debido a que la información de referencia abarca precios para el Mancozeb de 3000 a 3500 USD por tonelada y de 9000 a 10000 USD para el Ridomil, que son los productos que puede sustituir aunque, lógicamente, habría que considerar sólo la posible sustitución del Mancozeb ya que probablemente se prefiera su importación a la del Ridomil que es extremadamente costoso.

9. NIVELES DE SUSTITUCIÓN

Los niveles de utilización establecidos en pruebas de campo, así como la efectividad biológica del Gluticid y el Mancozeb utilizados en diferentes cultivos por el Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal y la Empresa de Cultivos Varios de Cienfuegos, muestra que presentan los siguientes niveles de utilización con resultados en el control de las enfermedades fúngicas semejantes:

Mancozeb: 2 - 3 kg de ingrediente activo por hectárea de cultivo (kg i.a./ha)
Gluticid: 0,08 kg de ingrediente activo por hectárea de cultivo (kg i.a./ha)

Lo cual hace mucho más económica la aplicación del Gluticid y permitiría la reducción del costo de tratamiento a efectuar, a la vez que se protegería el medio ambiente.

10. RECONSIDERACIÓN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

De acuerdo a los anteriores niveles experimentales de empleo de los productos Mancozeb y Gluticid de 2 - 3 kg y 0,08 kg de i.a./ha, se tendría un costo de aplicación de:

Precio base : 3500 USD/t

Mancozeb : 7,00 – 10,50 kg/ha
Gluticid : 0,28 kg/ha

Se infiere que con lo que costaría utilizar el Mancozeb por hectárea, se puede dar tratamiento con Gluticid de 25 a 37,5 ha.

11. IMPORTANCIA DE LA UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS BILÓGICOS

La pérdida de semillas de la caña de azúcar puede alcanzar un 15% y más aun con el tratamiento de productos químicos que, además de ser tóxicos, son muy costosos. Además, los daños fitopatológicos frecuentes en hortalizas y otros cultivos provoca pérdidas que pueden llegar a un 30%, tradicionalmente.

Para evitar estas pérdidas y daños, se han utilizado fungicidas químicos, muchos de los cuales dejan residuos que pueden ser potencialmente peligrosos para la salud humana, pueden generar efectos de resistencia en los fitopatógenos y pueden contaminar el ambiente. Adicionalmente, las hortalizas tratadas con fungicidas pueden tener impedimentos para su exportación.

Entre los productos químicos que se emplean ampliamente en la agricultura cubana está el Mancozeb, para el control de enfermedades producidas por hongos en frutas, vegetales, tabaco, ornamentales entre otros. El Mancozeb puede causar irritación a los ojos, particularmente en estado seco, su uso continuado provoca irritación en la piel y dermatitis, puede causar bronquitis, por lo que no se debe inhalar, su ingrediente activo se descompone en disulfuro de carbono que es tóxico al ambiente.

El Gluticid, no irrita la piel, ni los ojos ni produce daño al inhalarse, se descompone fácilmente, y su ingrediente activo es fácil de degradar.

Todo lo anteriormente señalado, conjuntamente con un costo de aplicación muy inferior al producto químico, señalan al Gluticid como un sustituto ideal para la aplicación referida.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ☑ La inversión estimada asciende a 881 300 pesos con 528 600 MLC, para un 60 % de participación de las divisas.

- ☑ El costo total de producción es de 289 604 pesos, con un 36,9 % de incidencia de las materias primas y materiales que es el componente de mayor monto en el costo, seguido de los salarios con un 32,5 %, la depreciación con el 20,3 % y otros gastos con el 7,2 %.

- ☑ El costo total en divisas representa el 38,11 % del costo total, con 110 374 USD.

- ☑ Para el rango de precios considerado del Mancozeb, de 3 000 a 5 000 USD por tonelada, la alternativa con mejores indicadores es, por supuesto, con la valoración mayor.

- ☑ Con precios de 3 000 USD no se recupera la inversión total aunque las divisas sí, en 4 años. A 3 500 USD la tasa de rendimiento es aceptable para las divisas pero no así para el total y, a precios inferiores a 3 500 USD, no es aceptable el resultado.

- ☑ Con precios inferiores a 5 000 USD y hasta 3 500 USD, los indicadores económicos pueden ser todavía favorables para las divisas pero no para la recuperación del costo total del producto.

- ☑ Con precios de 5 000 USD, los indicadores son muy favorables para las divisas y bastante aceptables para el total :

	Total	Divisas
UTILIDADES NETAS	118811,988	251575,059
TASA DE RENDIMIEMTO (TIR), %	13,4814465	47,5927089
PERIODO DE REEMBOLSO, años	7,41760166	2,10116218

- ☑ Las economías de escala indican que el balance económico se vería favorecido con una producción mayor a la asumida; la que estaría en dependencia de las posibilidades de comercialización del producto en función de su demanda.

- ☑ Las evaluaciones de Gluticid 40 mg/g en casas de cultivos contra las enfermedades fungosas foliares del tomate pusieron de evidencia un nivel de control de *Alternaria solani* y *Cladosporium fulvum* intermedio entre tebuconazol y mancozeb. similares a este último.

- ☑ No se observó diferencia apreciable cuando se utilizo Gluticid todo el tiempo, alternado con mancozeb o solo durante la etapa de cosecha contra las enfermedades fungosas foliares del tomate de casas de cultivo.

- ☑ La efectividad biológica comprobada por Sanidad Vegetal de Cienfuegos para los cultivos tratados permite concluir que con el Gluticid se pueden tratar de 25 a 37,5 ha de cultivo por cada ha tratada con igual cantidad de ingrediente activo de Mancozeb

- ☑ El Gluticid 40 mg/g producido por el ICIDCA como fungicida biológico para el control de enfermedades foliares del tomate a la dosis de 0.08 kg i.a./ha se encuentra en proceso de Registro en el Listado Oficial de la Republica de Cuba.

13. BIBLIOGRAFIA

1. Alfonso F.(1999) Control biológico de hongos patógenos de la semilla agámica y botánica de la caña de azúcar. Informe final de proyecto de investigación, INICA, 58 pp

2. Alfonso I. (2000) Evaluación de la cepa de *Pseudomonas spp* PSS en el control de hongos fitopatógenos de la caña de azúcar. Informe Interno INICA 2000, 40 p.
3. Villa P. Díaz de Villegas M.E, Stefanova M. (1999) Producto biológico a partir de Pseudomonas spp efectivo en el control de microorganismos fitopatógenos y malezas Informe presentado al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) Cuba. Programa de Biotecnología agrícola.

4. Villa P. Alfonso I. (2001) Evaluación de los metabolitos de la cepa de *Pseudomonas spp* cepa PSS en el control de hongos fitopatogenos de las semillas agámica y botánica de la caña de azúcar Revista ICIDCA, Vol 35 No 2 pag 10- 15

5. Villa P, Stefanova M. Palma S. Gómez, D. (2000). Identificación de *Pseudomonas*. sp., cepa PSS , con efecto antagónico contra hongos fitopatógenos. Informe de Investigación. ICIDCA. C.Habana 10p

6. Santiesteban Garlobo, Ing. Carlos M. ; Martinez-Valdivieso Piloto, Ing Julio A.; Villa Gómez, MSc. Lic Pilar; (Dic 2002.- Enero 2003), Análisis económico de una planta para la producción de Gluticid, ICIDCA

7. Estado comparativo de los costos y precios vigentes y los propuestos para la producción de azúcares, subproductos y derivados, (2003), Dpto de Precios, Ministerio del Azúcar (MINAZ),.

8. Relación de costos y precios fundamentales, (2003), Dpto de Precios, Ministerio del Azúcar (MINAZ),.

9. Relación de insumos fundamentales, (2003), Dpto de Precios, Ministerio del Azúcar (MINAZ).

10. Relación de precios de reactivos y materias primas, (2003), Dpto. de Planificación, ICIDCA.

11. Martinez-Valdivieso Piloto, Ing Julio A.; Villa Gómez, Lic Pilar y Santiesteban Garlobo, Ing. Carlos M. – (Julio del 2002), Tarea técnica para la proyección de una planta para la producción de 300 kg/d de GLUTICID, ICIDCA

12. Chemical Marketing Reporter, (8 – 2002, 2003).

13. Maura R., José A., Información sobre precios de productos, (2003) Ministerio de la Agricultura (MINAGRI).

14. Leónides Castellanos González ,Ing. Irais Irimia , Efectividad biológica de Gluticid 40 mg/g para el control de enfermedades foliares en tomate. Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal. Cienfuegos y Empresa Cultivos Varios Cienfuegos.

.

APLICACION DEL ETHREL - 480 EN LA VARIEDAD C1051-73 DE CAÑA DE AZÚCAR: EFECTO SOBRE LAS POLIAMINAS Y LOS CARBOHIDRATOS

APPLICATION OF ETHREL - 480 IN C1051-73 VARIETY OF SUGARCANE: EFFECT ON POLYAMINES AND CARBOHYDRATES

Maribel, Rivas[1,] Yanet Tambara[2] , Janetsy Borroto[1] , Yanelis Capdesuñer[1], Janet Quiñones[1], Jose Luis Golle[3], Ninel Peralta[1], Liudmila Chavez[2], J.V. Hormaza[4], Ana León[4], Hipólito Peralta[3] , María A. Blanco[1]

1Centro de Bioplantas, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba. e-mail: mrivas@bioplantas.cu
2 Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, La Habana, Cuba. e-mail: yanet.tambara@cigb.edu.cu
3 Universidad de Ciego de Ávila, Cuba. e-mail: hperalta@bioplantas.cu
4 ICINAZ, La Habana e-mail:qanalitica@icinaz.co.cu

Resumen

El experimento se desarrolló en áreas de la Estación Provincial de Investigaciones de la caña de azúcar (EPICA), de Ciego de Ávila sobre un suelo ferralítico rojo en condiciones de secano. Se evaluó el nivel de poliaminas y carbohidratos a partir de los, 0, 21 y 50 días después de la aplicación del Ethrel-480 (2l/ha), en el primer retoño de la variedad C1051-73. El diseño experimental fue un bloque al azar con cuatro réplicas. Las plantas asperjadas con Ethrel-480 (2L/ha), incrementaron los niveles de poliaminas totales (putrescina (Put), espermidina (Spd) y Espermita (Spm)) con respecto al control sin diferencias significativas. La razón Put/Spd+Spm fue superior significativamente en las plantas asperjadas, lo cual indica una acumulación de Put, debido al estrés provocado por el etileno. En los contenidos de sacarosa se muestra un ligero incremento a los 21 días en las plantas tratadas (no significativo) y una disminución de los azúcares reductores (glucosa y fructosa)) con respecto al control. El etileno aplicado incrementó el estrés en las plantas y el no incremento significativo de la sacarosa en las mismas sugiere un proceso de degradación oxidativa y no de acumulación del azúcar, lo cual requiere de posteriores estudios para evaluar la efectividad de este madurador en la caña de azúcar.

Palabras cables: caña de azúcar, carbohidratos, Ethrel-480, poliaminas

Abstract:

The experiment was developed at the Provincial Sugarcane Research Station (EPICA) at Ciego de Avila, on red ferralitic soils area in dry conditions. The polyamines and carbohydrates levels were evaluated from 21 and 50 days after Etrhel-480 (2L/ha) application in the first ratoon of C1951-73 variety. Was experimental design a random block with four repetitions. The sprayed plants increased the total polyamines level (putrescine (Put), Spermidine (Spd) and Spermine (Spm)) in relation to control treatment, within significant differences. The Put/Spd+Spm rate was significantly higher none sprayed plants, which indicate a Put accumulation, due to the stress induced by the ethylene. The sucrose content showed a light increase at 21 days in sprayed plants (not significant) and a diminution of reductor sugar (glucose and fructose) with respect to control. The ethylene increased the stress in plants, but not sucrose

which suggest the oxidative-degradation process and not of sugar accumulation. These results require other studies to evaluate the effectiveness of this sugarcane ripener.

Key words: carbohydrate, Etrhel-480, polyamines, sugarcane

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum* spp) es una gramínea que crece predominantemente en regiones tropicales y subtropicales para la producción de azúcar (Grof y Campbell, 2001). Las técnicas de mejoramiento genético han contribuido a los incrementos del contenido de sacarosa en caña de azúcar. En la última década se ha demostrado un aumento de la producción de azúcar provocada por la aplicación de distintos maduradores químicos entre los que se encuentra el Ethrel (ácido 2-cloro-etil fosfónico). El incremento de azúcar se debe al aumento de la masa de la caña, que es parte fibra y parte sacarosa (Bocanegra, 1990). La aplicación del Ethrel en las plantas, induce una mayor síntesis de etileno, el cual puede provocar consecuencias fisiológicas. La síntesis de etileno en las plantas está bien establecida (Yang y Hoffman, 1984) y ocurre en dos etapas: la formación del ácido 1-amino-ciclo propano carboxílico (ACC) a partir de la S-adenosil L-metionina y la conversión de este intermediario a etileno (Kende, 1993). La S-adenosil metionina suministra grupos metilos para la síntesis de las poliaminas (Wittaher y otros, 1997). Como la biosíntesis del etileno y la de poliaminas tiene un precursor común (S-adenosil-metionina) hay un gran interés en la interacción entre estos compuestos Se ha demostrado que el efecto del etileno sobre el metabolismo de las poliaminas parece ser dependiente de la especie, órgano y estado de desarrollo de las plantas. (Tamai y otros, 1999).

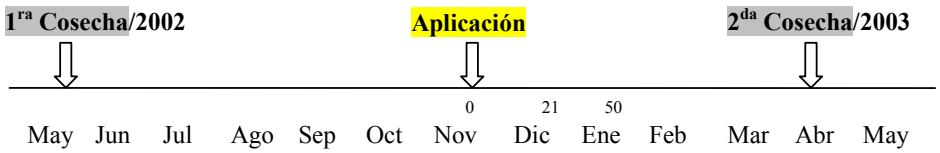
En caña de azúcar se han realizado varias investigaciones sobre la fisiología y la bioquímica, Moore (1995), pero aún no se ha informado sobre el efecto de las aplicaciones de Ethrel-480 asociado al nivel de poliaminas y carbohidratos. El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de la aplicación del Ethrel-480 sobre el proceso de maduración en la variedad C1051-73 y analizar las relaciones del etileno, las poliaminas y el nivel de carbohidratos sometidas al regulador.

Materiales y Métodos:

Localización del montaje del experimento: Para el estudio del efecto de la aplicación del ácido 2–cloroetilfosfónico (Ethrel-480), se desarrolló un experimento de campo en áreas de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), situada en el Municipio de Venezuela de la provincia de Ciego de Ávila, ubicada en los 21° 46' de latitud norte y los 78° 47' de longitud oeste. El experimento se desarrolló sobre un suelo ferralítico rojo compactado en condiciones de secano.

***Primer retoño**:* Se utilizaron plantas de primer retoño de la variedad C1051-73. Se emplearon cuatro réplicas con parcelas de 7.5 m de largo y 16.5 m de ancho cada una, de 11 surcos a una distancia de 1.5 m. En el momento de la aplicación del madurador, cada parcela se dividió en dos subparcelas de cinco surcos, dejando un surco intermedio de borde. A una de las dos subparcelas seleccionadas al azar, se le aplicó el madurador (Ethrel-480) a razón de 2 $L.ha^{-1}$ (960 g de ingrediente activo), utilizando una mochila de fumigación para asperjar el producto de manera uniforme sobre todas las plantas de la parcela. La aplicación se realizó en el mes de noviembre cuando las plantas tenían seis meses de edad. La cosecha se realizó el 24 de abril del 2003 (11 meses de edad) (esquema 1). Las condiciones climatológicas en las cuáles se desarrolló el experimento se muestran en la figura 1.

Primer Retoño



Esquema 1: Representación del desarrollo del experimento. Se indica con flechas las fechas de plantación, aplicación y cosecha de los experimentos. Ubicación de las evaluaciones de 0, 21 y 50 días después de la aplicación.

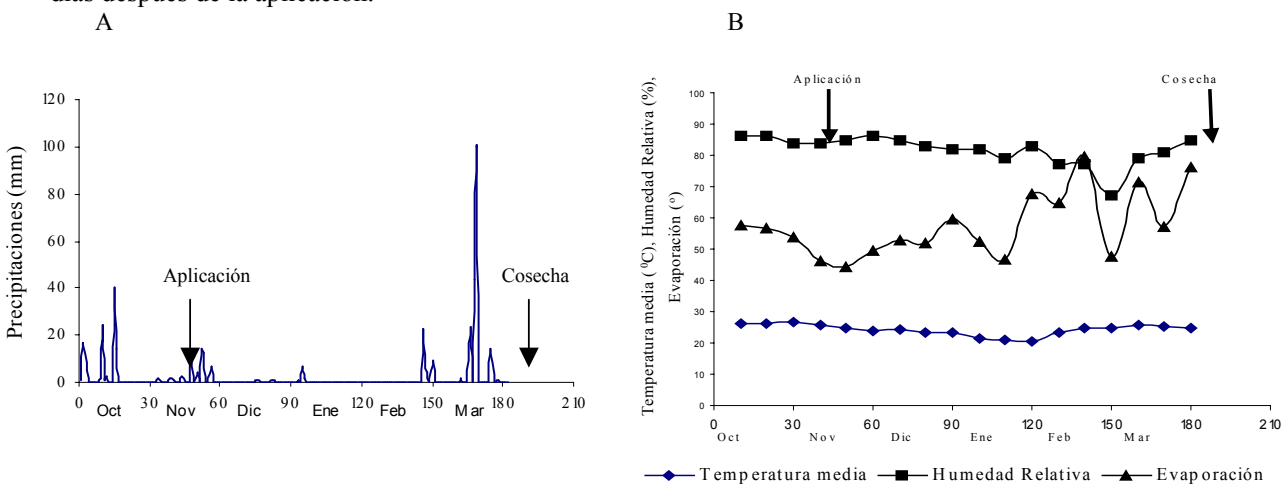


Figura 1: Comportamiento de las variables climatológicas monitoreadas en la Estación Venezuela a partir del mes de octubre del 2002 hasta el mes de marzo del 2003 para el experimento. A: Precipitaciones. B: Temperatura, Humedad Relativa y Evaporación. Con flechas se indica el momento de aplicación y de cosecha.

Material vegetal: Para evaluar las poliaminas se tomaron muestras de la lámina de la hoja +1 según la clasificación de Kuijper (1915) sin el nervio central. Las muestras tomadas se conservaron inmediatamente en nitrógeno líquido para su traslado al laboratorio. En todos los casos se tomaron cinco plantas al azar de cada parcela de cuatro réplicas.

El procedimiento para la extracción y cuantificación de poliaminas por HPLC fue el descrito por Flores y Galston (1982), los valores se expresaron en nMol/g de masa fresca. Los carbohidratos (sacarosa, glucosa y fructosa) en el jugo se determinaron de acuerdo al procedimiento descrito por Borroto y otros. (2003). En la cuantificación se utilizó una columna HPX-87H Bio Rad (300-7.8 mm) y el solvente de la corrida fue ácido sulfúrico 0.005 $mol.L^{-1}$ a una razón de flujo de 0,3 $mL.min^{-1}$. Los patrones utilizados de sacarosa, glucosa y fructosa se emplearon a una concentración de 1.0 $mg.mL^{-1}$. Los valores se expresan en porcentaje de azúcares°Brix.

Procesamiento estadístico. Se utilizó el utilitario Statistical Package for Social Sciences (SPSS) para Windows versión 8, Copyright SPSS Inc., 1989-1997. Para cada experimento se calculó el error estándar de la media y se representa en el gráfico como (X ± ES)

Resultados y discusión:

Respuesta de las poliaminas al etileno exógeno

En respuesta a la aplicación de etileno exógeno las plantas comenzaron a elevar el contenido de poliaminas totales (Put, Spd y Spm) a los 21 y 50 días pero sin diferencias significativas con respecto a las plantas no tratadas (figura 2). Entre los 21 y 50 días los valores se mantuvieron muy similares.

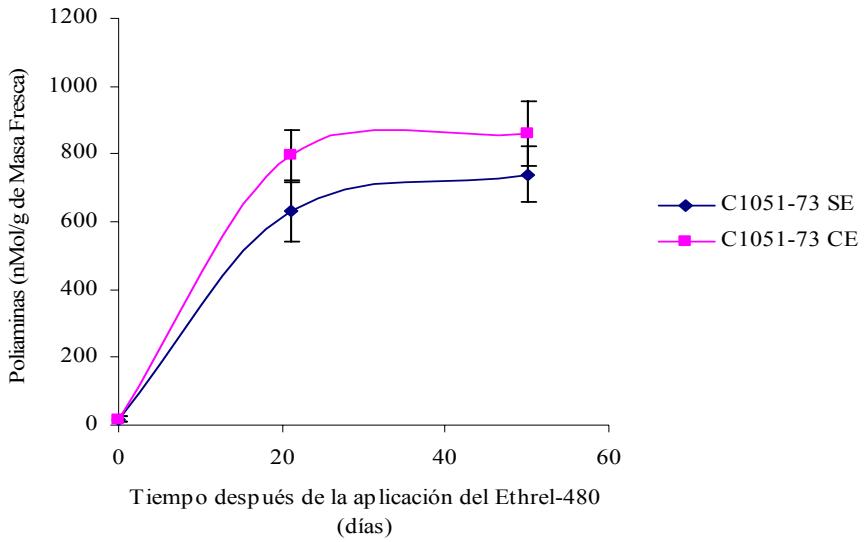


Figura 2. Efecto de la aplicación del Ethrel-480 sobre el contenido de poliaminas totales (Put, Spd y Spm), en función del tiempo de aplicación, en la variedad C1051-73 En cada momento de evaluación las barras indican X ± ES

Al analizar la razón Put/Spd+Spm (figura 3) se puede observar que la misma está más favorecida hacia la acumulación de Put que hacia la síntesis de Spd y Spm en las plantas asperjadas con diferencias significativas y se alcanza un máximo alrededor de los 21 días después de la aplicación del Ethrel-480.

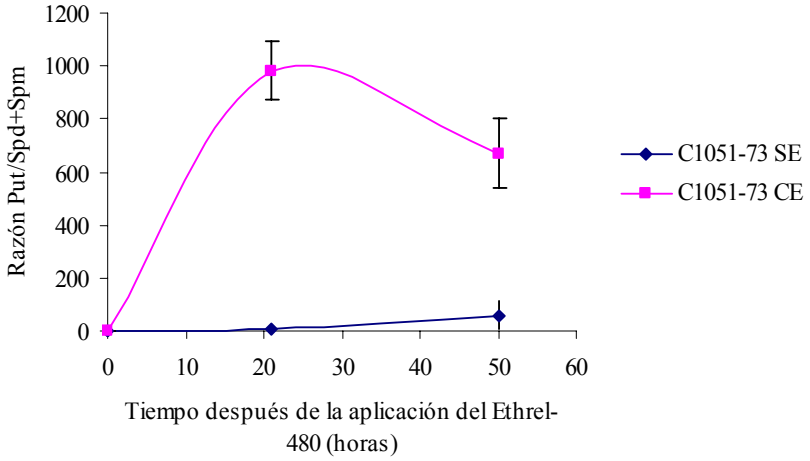


Figura 3. Efecto de la aplicación del Ethrel-480 sobre la razón Put/Spd + Spm, en función del tiempo de aplicación, en la variedad C1051-73 En cada momento de evaluación las barras indican X ± ES.

El etileno tiene varios efectos sobre el contenido de poliaminas en diferentes especies de plantas, órganos y estados de desarrollo, se ha encontrado una inhibición de la arginina descarboxilasa (ADC) que es la enzima clave en la biosíntesis de la putrescina en semillas de guisante (Apelbaum y otros, 1985), ningún efecto sobre la biosíntesis de poliaminas en hojas de soya (Turano y otros, 1997) y una promoción de acumulación de putrescina en coleptilos de arroz (Lee y Chu, 1992). Por otra parte, en raíces de cebada, la producción de etileno inducida por el ACC estimula la producción de putrescina, mientras que los niveles de Spd y Spm permanecen inalterables (Tamai, 1999).

Se han detectado cambios en la diamina (Put) y las poliaminas (Spd y Spm) en condiciones de estrés, así como variaciones en la razón Put/Spd + Spm (Krishnamurthy y Bagwat, 1989). Un número de compuestos nitrogenados se acumulan en las plantas en respuesta a condiciones de estrés ambiental (Rabe, 1990). Estos compuestos incluyen aminoácidos (arginina, prolina), amidas (glutamina, asparagina), amonio, y polyaminas (putrescina, espermidina, espermina). La acumulación de putrescina es una respuesta al estrés y esta acumulación puede ser favorable a nivel celular (Krishnamurthy, 1991) o tener algunos efectos negativos (DiTomaso y otros, 1989).

El mecanismo de acumulación de putrescina, inducido por el etileno, no está aún claro, pero probablemente el etileno estimula la actividad de la arginina descarboxilasa (ADC) en caña de azúcar, similar a lo ocurrido en cebada (Tamai, 1999) y en los coleoptilos de arroz (Lee y Chu, 1992). Esta enzima está involucrada en la diferenciación celular y en los procesos de estrés en plantas (Hiatt y otros, 1986).

Respuesta de los carbohidratos al etileno exógeno

El efecto del Ethrel-480 sobre el nivel de los carbohidratos en la variedad C1051-73 se muestra en la figura 4 (a, b, c y d). Como se observa en la figura 3a el Ethrel sólo provocó un ligero incremento de la sacarosa sin diferencias significativas con respecto a las plantas no asperjadas. En ambos tratamientos se alcanza un máximo a los 21 días. Los contenidos de glucosa (figura 4b) y de fructosa (4c) se muestran en correspondencia con los de sacarosa, se produjo una ligera disminución por el efecto del regulador a los 21 días. En la figura 4c se analiza la razón sacarosa/glucosa+fructosa, donde se demuestra una acumulación de sacarosa en las plantas asperjadas con respecto a las control (21 días) sin diferencias significativas. En ambos tipos de plantas (asperjadas o no) hay un incremento de la sacarosa durante todo el período analizado, indicativo del proceso de maduración que se lleva a cabo en el cultivo. Como se muestra el madurador no provocó cambios significativos en los contenidos de carbohidratos.

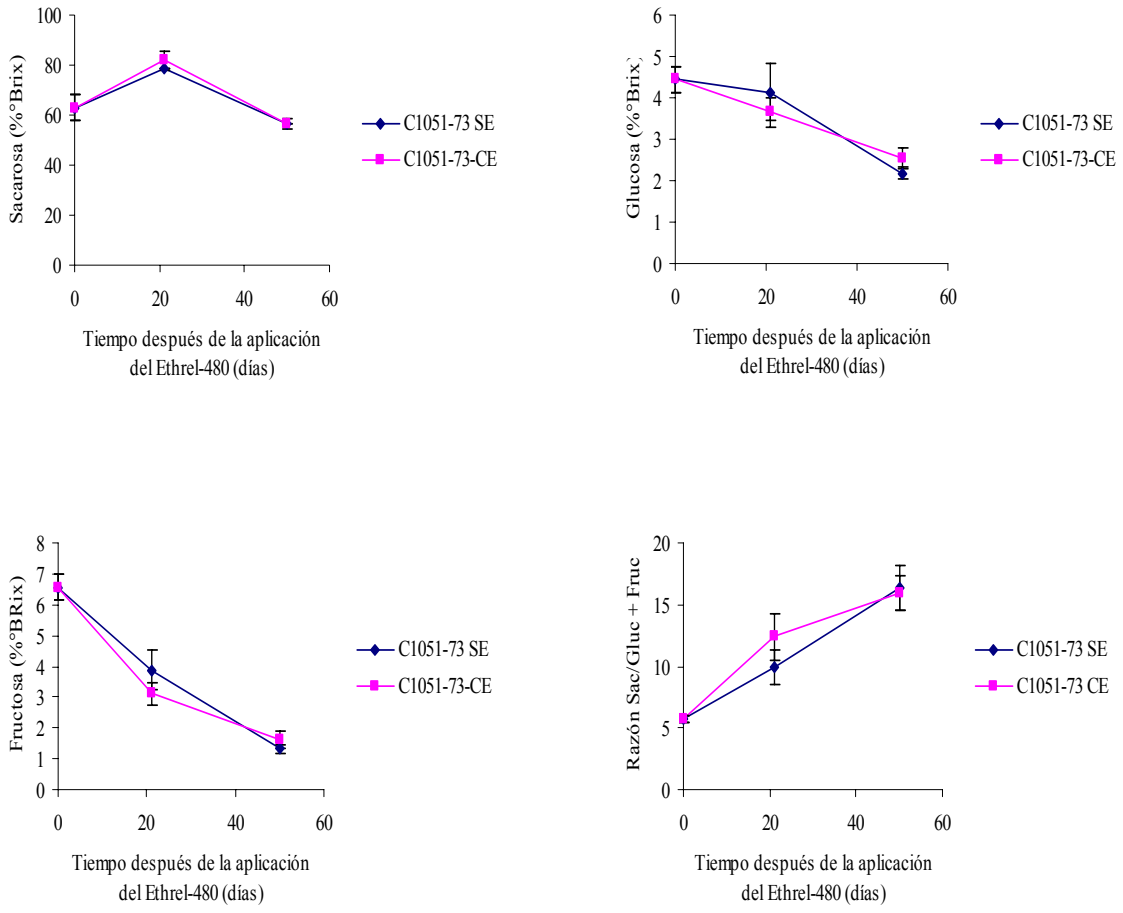


Figura 4 (a, b, c y d). Efecto del Ethrel-480 sobre el contenido de carbohidratos, en función del tiempo de aplicación, en la variedad C1051-73: a) sacarosa, b) glucosa, c) fructosa y d) razón Sacarosa/Glucosa + Fructosa. En cada momento de evaluación las barras indican X ± ES

Morgan (2001) logró un incremento en el contenido de sacarosa en caña de azúcar, cuatro semanas después de la aplicación de Ethrel-480 y mejores resultados con la combinación de este con Fusilade. Gosnell (1976) logró que el Ethrel-480 a 1-2 L.ha-1, mejorara significativamente la concentración de sacarosa en los seis últimos entrenudos de la caña.

El comportamiento de las variables climatológicas en el período evaluado para este experimento, se muestra en la figura 2 (Materiales y Métodos). Durante los 20 días antes de la aplicación, el cultivo recibió 22.40 mm de lluvia y ningún riego y después de la aplicación la lluvia más cercana fue a las 24 y 48 horas de aplicado con 14.00 mm y 12.20 mm respectivamente. A partir de este momento (noviembre) las precipitaciones fueron escasas (17.00 mm) hasta finales del mes de febrero donde se alcanzaron 44.30 mm. Las temperaturas y humedad relativa fueron adecuadas para el crecimiento y desarrollo del cultivo. No obstante, las condiciones no fueron favorables, teniendo en cuenta el estrés a que habían sido sometidas las plantas.

Se conoce que los azúcares tienen una importante función señalizadora a través de todos los estados del ciclo de vida de las plantas (Smeekens, 2000), y que hay una estrecha interacción entre la glucosa y los

caminos que señalizan el etileno, el hecho de no encontrar ninguna relación en estas vías en caña de azúcar en los momentos evaluados requiere de posteriores estudios.

No obstante, de los resultados obtenidos se puede concluir que las condiciones de estrés ambiental más las provocadas por la aplicación del regulador, implicaron un incremento de etileno endógeno, una acumulación de putrescina, baja síntesis de Spd y Spm, y el no incremento significativo de la sacarosa en respuesta al madurador químico.

Referencias:

Apelbaum, A.; Goldlust, A; Icekson, I. (1985). Control by ethylene of arginine decarboxylase activity in pea seedlings and its implication for hormonal regulation of plant growth. Plant Physiol 79: 635-640.

Bocanegra, J. (1990). Acuerdo de convenio de Rhone-Poulenc con MINAZ sobre desarrollo de Ethrel en caña de azúcar. Informe. p 25-52.

Borroto, J., Tambara, Y.; Peralta, H.; Capdesuñer, Y; Golle, J. L; Ballbé, A.; Rivas, M.; Hormaza, V.; Blanco, M. (2003). Contenido de carbohidratos asociados al crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de caña de azúcar (S*accharum*, sp). (Revista Costarricense de Agricultura, en imprenta).

DiTomaso, J.; Shaff, J.E.; Kochian, L.V. (1989). Putrescine-induced wounding and its effects on membrane integrity and ion transport processes in roots of intact corn seedlings. Plant Physiol 90 :988-995

Flores, H.E.; Galston, A. W. (1982). Analysis of polyamines in higher plants by high performance liquid chromatography. Plant Physiol. 69:701-706

Gosnell, J.M. (1976**).** Developments with chemical ripeners in Malawi. Sugarcane Ripener Seminar. Orlando. Florida. USA. 135-146.

Grof, C.P.L.; Campbell, J.A. (2001). Sugarcane sucrose metabolism:scope for molecular manipulation. Aust. J. Plant Physiol 28: 1-12.

Hiatt, A.C.; McIndoo, J.; Malmberg, R.L. (1986). Regulation of polyamine biosynthesis in tobacco: Effect of inhibitors and exogenous polyamines on arginine decarboxylase, ornithine decarboxylase an S-adenosylmethionine decarboxylase. J. Biochem. 1293-1298.

Kende, H. (1993). Ethylene biosynthesis. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol. Biol. 44: 283-307

Krishnamurthy, R.; Bhagwat, K.A. (1989). Polyamines as modulators of salt tolerance in rice cultivars. Plant Physion 91, 500-504.

Krishnamurthy, R. (1991). Ameloriation of salinity effect in salt tolerant rice. Foliar application of putrescine. Plant Cell Physiol 32: 699-703.

Kuijper, J. (1915). De groie van bladschijf, bladscheede en stengel van het suikerreit. Archied Suikerind 23: 528-556.

Lee, T-M.; Chu. C. (1992). Ethylene induced polyamine accumulation in rice (*Oryza sativa* L) coleeoptiles. Plant Physiol 100: 238-245.

Moore, P.H. (1995). Temporal and spatial regulation of sucrose accumulation in the sugarcane stem. Australian Journal of Plant Physiology 22: 661-679.

Morgan,_T.; McDonald, L.; Jackson, P.; Holtum, J. (2001). Changes in sugar content of Australian sugarcane cultivars after application of chemical ripeners. Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference, Hobart.

Rabe, E. (1990). Stress physiology: The functional sign significance of the accumulation of nitrogen-containing compounds. Journal of Horticultural Science 65(3): 231-243.

Smeekens, S. (2000). Sugar-Induced Signal Transduction in Plants. Annu.Rev. Plant. Physiol. Plant Mol. Biol. 51:49-81.

Tamai, T; Inoue, M.; Sugimoto, T.; Sueyoshi, K.; Shiraishi, N.; Oji, Y. (1999). Ethylene-induced putrescine accumulation modulates K^+ partitioning between roots in barley seedling. Physiologia Plantarum 106: 296-301

Turano, F.J.; Kramer, G.F.; Wang, C.I. (1997). Effect of mamines and guanidines on ATPase from Maite scutellum. Phytochemistry 22: 2681-2686.

Whittaker D.J.; Smith, G.S.; Gardner, R.C. (1997). Expression of ethylene biosynthetic genes in *Actnidia chinensis* fruit. Plant Molecular Biology 34: 45-55.
Yang, S.F.; Hoffman, N.E. (1984). Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. Annu Rev. Plant Physiol 35: 155-189.

EFECTO DEL ETHREL-480 EN LA MADURACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR: RELACIÓN CON LOS METABOLISMOS DEL CARBONO Y EL NITRÓGENO.

EFFECT OF ETHREL-480 IN SUGARCANE MATURATION: RELATION WITH CARBON AND NITROGEN METABOLISM .

Yanelis Capdesuñer[1], María A. Blanco[1], Eduardo Ortega[2], Janetsy Borroto[1], Yanet Tambara[3], Janet Quiñones[1], Maribel Rivas[1], Jose Luis Golle[4], Ninel Peralta[1], Liudmila Chavez[3], Rosa Rodes[2], Hipólito Peralta[4].
1Centro de Bioplantas, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba. e-mail: ycapdesuner@bioplantas.cu
2Universidad de La Habana, Cuba. e-mail: eortega99@yahoo.com
3Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, La Habana, Cuba.
e-mail: yanet.tambara@cigb.edu.cu
4Universidad de Ciego de Ávila, Cuba. e-mail: hperalta@bioplantas.cu

Resumen

En dos experimentos de campo, se estudió el efecto de la aplicación de Ethrel-480, sobre algunos indicadores fisiológicos, químicos y bioquímicos relacionados con los metabolismos del carbono y el nitrógeno de caña de azúcar (C1051-73 y My5514). La aplicación del Ethrel-480, en caña planta a los nueve meses de edad y primer retoño a los seis meses de edad, no tuvo efectos significativos sobre los indicadores fisiológicos (masa fresca y biomasa) y químicos (brix, pol, pureza), debido a un estadio avanzado de maduración y condiciones climáticas de sequía en el momento de la aplicación. Sin embargo hubo un efecto sobre los indicadores bioquímicos. Se observó una disminución de la nitrato reductasa y cambios en el contenido proteico a las 24 y 48 horas. La diferencia fundamental en plantas asperjadas y testigos fue en 16 proteínas con puntos isoeléctricos entre 5.85 y 8.15, y en 13 proteínas de masa molecular entre 22 y 18.9 kDa en plantas testigos a las 24 horas. No se mostró influencia del Ethrel-480 en el contenido de nitrato por lo que la disminución de la actividad de la nitrato reductasa no estuvo asociada a la disponibilidad de nitrato. Estos cambios bioquímicos del metabolismo del nitrógeno no repercutieron en una acumulación de carbohidratos y por ende en el proceso de maduración de la caña de azúcar bajo el efecto del Ethrel-480 a la dosis empleada y las condiciones experimentales y climáticas. Las variedades estudiadas mostraron un comportamiento similar en la mayoría de los indicadores evaluados.
Palabras claves: caña de azúcar, carbohidratos, Ethrel-480, nitrato reductasa, proteínas.

Abstract

The effect of Ethrel-480 application was studied in two field experiments. Some physiological, chemical and biochemical indicators related with carbon and nitrogen metabolism in sugarcane (C1051-73 and My5514) were determinated. The application of the Ethrel-480 on plant (nine months old) and (six months old) on first ratoon, did not have significant effects on the physiological (fresh mass and biomass) and chemical indicators (brix, pol, purity), due to an advanced stage of maturity and climatic conditions of drought at the moment of the application. Nevertheless there was an effect on biochemical indicators. Nitrate reductasa activity was suppressed and changes in the protein content at 24 and 48 hours after application was observed.

The fundamental difference in sprayed and control plants was in 16 proteins with iso-electric points between 5,85 and 8,15, and in proteins of molecular mass between 22 and 18,9 kDa in control plants after 24 hours. Influence of the Ethrel-480 was not in nitrate content then nitrate reductasa activity not could be associate with nitrate availability. These biochemical changes of the metabolism of nitrogen did not repel in a carbohydrate accumulation and therefore in the maturation process of sugarcane under Ethrel-480 effect with used dose and the experimental and climatic conditions. The studied varieties showed a similar behavior in most of the evaluated indicators.
Key words: sugarcane, carbohidrates, Ethrel-480, nitrate reductase, proteins.

Introducción

La caña de azúcar, híbrido de distintas especies del género *Saccharum*, pertenece a las plantas terrestres más productivas que existen (Moore y Maretzki, 1996), lo que tiene sus orígenes en sus características morfofisiológicas. La fisiología y la bioquímica de estas plantas, se examina bajo nuevos y viejos paradigmas a la luz de recientes evidencias y estudios comparativos (Gutiérrez, 2002). Por su aplicación en la agricultura, resulta interesante, el estudio de los factores morfológicos y bioquímicos que están correlacionados con los procesos de maduración y asimilación de nitrógeno.

En Cuba la producción de azúcar alcanzó 3 775 000 toneladas en la zafra 2001-2002 con un aumento de 164 000 toneladas con respecto a la zafra anterior (FAO, 2002). Es bien cierto que en los índices fundamentales se continuó avanzando, pero la eficiencia es aún un factor limitante.

Una alternativa para mejorar e incrementar la cantidad y calidad de caña molible a inicio de la zafra es el uso de maduradores químicos como el Ethrel–480 (McDonald y otros, 2000). Las cañas tratadas con estos productos incrementan la calidad de su materia prima, lo cual conduce a facilitar y simplificar varias fases del trabajo fabril (Pérez, 1997). Varios autores han aplicado Ethrel-480 en caña de azúcar con el objetivo de incrementar la maduración e inhibir la floración (Page, 1983; Moore y Osgood, 1986; Moore y Osgood, 1989; Bocanegra, 1990 ; Cutiño y otros, 1991; Rincones, 1992; McDonald y otros, 2000).

En tejidos verdes la reducción de CO_2 con la producción de sacarosa ocurre en cooperación con otras vías biosintéticas, de las cuales una de las más importantes es la asimilación de nitrato a través de la reducción a amonio con la incorporación de cadenas carbonadas para la producción de aminoácidos, donde la nitrato reductasa es la primera enzima y una de las más importantes (Gálvez y otros, 1999). La nitrato reductasa en plantas superiores, tiene una importancia económica potencial en la actualidad, bajo los recientes estudios donde la enzima es considerada un punto focal para la integración y control de los metabolismos del carbono y el nitrógeno.

No se conocen antecedentes de estudios desarrollados sobre el efecto de las aplicaciones de Ethrel-480, en los procesos de asimilación de nitrógeno y su relación con la maduración en caña de azúcar. Por lo que se hace necesario caracterizar bioquímica y fisiológicamente los mecanismos metabólicos relacionados con los metabolismos primarios del nitrógeno y el carbono, bajo la influencia del Ethrel-480 en caña de azúcar.

Teniendo en cuenta estos precedentes, el presente trabajo estuvo encaminado hacia determinar la concentración de metabolitos e indicadores fisiológicos relacionados con el metabolismo del carbono en caña de azúcar bajo el efecto del Ethrel-480 y establecer las relaciones sobre la actividad de la nitrato reductasa (NR), contenido de proteínas y nitrato como indicadores bioquímicos del metabolismo del nitrógeno en caña de azúcar.
Se realiza entonces un estudio integrador de los indicadores fisiológicos, químicos y bioquímicos relacionados con la aplicación de Ethrel-480 en la maduración de caña de azúcar. En el trabajo se informa por primera vez el efecto del Ethrel-480 sobre el contenido de proteínas y la actividad de la nitrato reductasa en variedades de caña de azúcar y se hacen recomendaciones a la industria

azucarera de la aplicación del Ethrel-480 teniendo en cuenta los indicadores fisiológicos, químicos y bioquímicos analizados en esta investigación.

Materiales y Métodos

Se desarrollaron dos experimentos de campo en condiciones de secano en áreas de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), situada en el Municipio de Venezuela de la provincia de Ciego de Ávila. Los experimentos se desarrollaron sobre un suelo ferralítico rojo compactado.

La plantación se realizó el 30 de mayo del año 2001, con semilla certificada de 11 meses de edad, procedente de la EPICA de Ciego de Ávila. Se plantaron estacas de tres yemas de las dos variedades antes citadas, a razón de 20 yemas por metro lineal. Se aplicó una fertilización a fondo, a razón de 80 $kg.ha^{-1}$ de P_2O_5 y 100 $kg.ha^{-1}$ de K_2O.

Se emplearon cuatro réplicas con parcelas de 7.5 m de largo y 16.5 m de ancho cada una, de 11 surcos a una distancia de 1.5 m. En el momento de la aplicación del madurador, cada parcela se dividió en dos subparcelas de cinco surcos, dejando un surco intermedio de borde. A una de las dos subparcelas seleccionadas al azar, se le aplicó el madurador, como madurador se empleó el Ethrel-480 a razón de 2 $L.ha^{-1}$ (960 g de ingrediente activo), utilizando una mochila de fumigación para asperjar el producto de manera uniforme sobre todas las plantas de la parcela.

Caña planta: El Ethrel-480 se aplicó el 21 febrero del 2002, cuando las plantas tenían nueve meses de edad. La cosecha se realizó el 30 de mayo del 2002 cuando las plantas tenían 12 meses de edad. Las condiciones climatológicas en las cuáles se desarrolló el experimento se muestran en la figura 1.

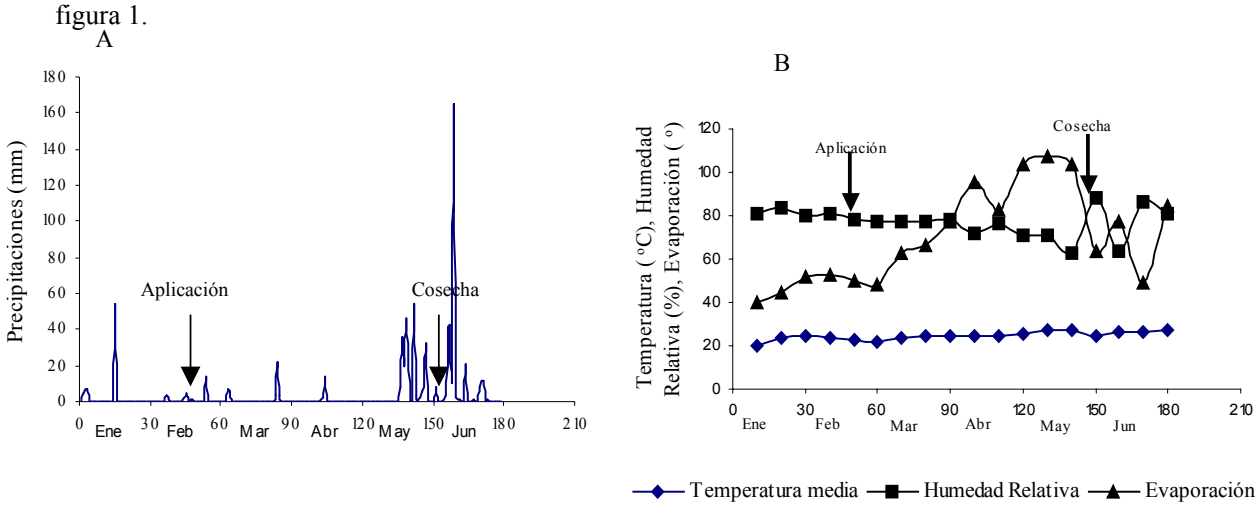


Figura 1: Comportamiento de las variables climatológicas monitoreadas en la Estación del Municipio Venezuela de Ciego de Ávila a partir del mes de enero del 2002 hasta el mes de junio del 2002 para el experimento de caña planta. A: Precipitaciones B: Temperatura media, humedad relativa y evaporación. Con flechas se indica el momento de aplicación y de cosecha.

Primer retoño: Se utilizaron plantas de primer retoño del experimento de caña planta, que comenzaron a crecer a partir de la cosecha de la caña planta, en mayo del 2002. En este experimento se evaluó el efecto del madurador en plantas más jóvenes que el experimento de caña planta por lo que el madurador se aplicó el 20 de noviembre del 2002 cuando las plantas tenían 6 meses de edad. La cosecha se realizó el 24 de abril del 2003 cuando las plantas tenían 11 meses de edad.Las condiciones climatológicas en las cuáles se desarrolló el experimento se muestran en la figura 2.

La determinación de indicadores fisiológicos y químicos se realizó a partir del jugo de los tallos. Para evaluar los indicadores bioquímicos se tomaron muestras de la lámina de la hoja +1 según la

clasificación de Kuijper (1915) sin el nervio central, de las dos variedades de caña. Las muestras tomadas para la determinación de los indicadores bioquímicos se conservaron inmediatamente en nitrógeno líquido para su traslado al laboratorio. En todos los casos se tomaron cinco plantas al azar de cada parcela de cuatro réplicas.

Procesamiento de los resultados y análisis estadísticos: Se utilizó el utilitario Statistical Package for Social Sciences (SPSS) para Windows versión 8, Copyright SPSS Inc., 1989-1997. Para cada experimento se procesaron los datos con la prueba de t-student, teniendo en cuenta el diseño experimental.

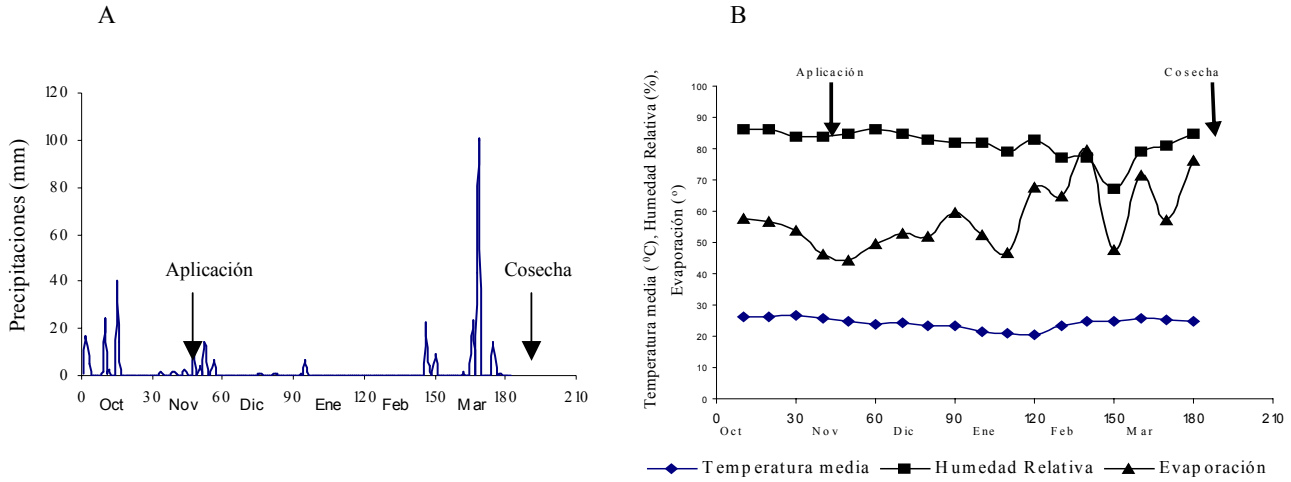


Figura 2: Comportamiento de las variables climatológicas monitoreadas en la Estación Venezuela a partir del mes de octubre del 2002 hasta el mes de marzo del 2003 para el experimento de primer retoño A: Precipitaciones. B: Temperatura, Humedad Relativa y Evaporación. Con flechas se indica el momento de aplicación y de cosecha para cada experimento.

Indicadores fisiológicos.

Rendimiento Agrícola: La masa fresca de tallos por ha se determinó a través de la multiplicación de la masa fresca promedio de un tallo por el número de tallos en una ha y se expresa en ton/ha.

Biomasa del Tallo: A los cinco tallos por parcelas se les separaron las hojas y las vainas, estos se fraccionaron y se tomó una muestra representativa de 250 a 300 g, las cuales se secaron en la estufa a 105° hasta masa constante y se determinó la masa seca promedio de un tallo por parcela la cual se expresa en ton.ha^{-1}.

Biomasa total: A los 5 tallos se le determinaron la biomasa de hojas y vainas, con una muestra representativa de cada órgano de igual forma que la biomasa del tallo. Se sumaron las biomasas (masas secas) de tallos, hojas y vainas para determinar la biomasa de la parte aérea, que se expresa en ton.ha-1

Indicadores químicos.

Composición del jugo: Se molieron y se prensaron 5 tallos por parcela y los jugos se mezclaron para las determinaciones químicas. La determinación de la composición de los jugos se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Borroto y otros (2003).

Brix (º Brix): El porcentaje de sólidos solubles se determinó con un refractómetro digital, en las muestras de jugos, las lecturas se corrigieron con respecto a las temperaturas.

Pol en jugo (%): Se determinó de forma polarimétrica en las muestras de jugos. Antes de la lectura las muestras se clarificaron con acetato de plomo.

Pol en caña (%): Se determinó mediante la relación del (Pol en jugo x (100-%fibra))/100.

Pureza (%): Se determinó mediante la relación (Pol en jugo x 100) / Brix.

Sacarosa aparente (ton.ha^{-1}): La masa de sacarosa aparente para un tallo se determinó mediante la multiplicación de la pol en caña por la masa fresca promedio de un tallo, se dividió entre 100 y se multiplicó por el número de tallos en una ha. Se expresa en ton.ha^{-1}.

Indicadores bioquímicos.

Caña planta: Se evaluó el efecto del Ethrel-480 sobre la actividad enzimática *in vivo* de la nitrato reductasa (NR), actividad específica de la NR y concentración de proteínas a las 0, 24 y 48 horas después de la aplicación del Ethrel-480, correspondientes a nueve meses de edad, a los 21 y 50 días después de la aplicación, correspondientes a los 10 y 11 meses de edad aproximadamente. Se evalúo el efecto del Ethrel-480 sobre el patrón de distribución de proteínas, a las 24 horas en las muestras de la variedad C1051-73.
Primer retoño: Se evaluó el efecto del Ethrel-480 sobre la actividad enzimática y actividad específica de la NR, concentración de nitrato y concentración de proteínas y a las 0, 24 y 48 horas después de la aplicación del madurador, correspondientes a los 6 meses de edad, a los 21 y 50 días después de la aplicación, correspondientes a los 7 y 8 meses de edad aproximadamente.
Actividad de la enzima NR: Se determinó según la técnica descrita por Cueto y otros (1984), la actividad se expresó en $Ux10^{-3}.g^{-1}$ de masa fresca.
Una unidad (U) de actividad enzimática se define como la cantidad de enzima que cataliza la formación de un µmol NO_2^-. mL^{-1}. h^{-1} a 37 °C.
Concentración de proteínas solubles: La cuantificación de proteínas solubles se realizó por el método de Bradford (1976). El contenido de proteínas se expresó en $\mu g.g^{-1}$ de masa fresca referidos a una curva patrón de albúmina de suero bovino (BSA).
Actividad específica: La actividad específica se calculó como el cociente de la actividad enzimática entre la concentración de proteínas y se expresó en $Ux10^{-6}.\mu g^{-1}$ de proteínas.
Concentración de nitrato: Las muestras de hojas se secaron a 65°C durante 72 horas. El contenido de nitrato se determinó mediante el método Electrodo Ión Selectivo (Egarov, 1990), se utilizó una solución estándar de nitrato de potasio para la curva patrón y la concentración de nitrato en la muestra se expresó en $\mu g.g^{-1}$ de masa seca.
Electroforesis bidimensional: Para la realización de las electroforesis bidimensionales se realizó primeramente la dosificación proteica por Ramagli (1999). Se realizaron las electroforesis bidimensionales según el protocolo descrito por Görg y otros (2000) a muestras de proteínas solubles provenientes de la hoja +1 de plantas de la variedad C1051-73 sin y con la aplicación (24 horas) de Ethrel-480. Los geles se analizaron por tinción con nitrato de plata (Walker, 1998).

Resultados y Discusión

La aplicación del Ethrel-480, en caña planta a los nueve meses de edad y primer retoño a los seis meses de edad, no tuvo efectos significativos sobre los indicadores fisiológicos (masa fresca y biomasa) y químicos (brix, pol y pureza) en las dos variedades estudiadas. Las variedades estudiadas mostraron un comportamiento similar en la mayoría de los indicadores evaluados. Estos resultados no se muestran por no presentar diferencias significativas. La masa fresca es uno de los indicadores que se incrementa con las aplicaciones del Ethrel, según han señalado varios autores tales como Osgood (1983), Bocanegra (1990), McDonald (2000).
La temperatura y la humedad son algunos de los principales factores del clima que controlan el desarrollo de la caña (Robertson y Donaldson, 1998). El comportamiento de las variables climatológicas: precipitaciones, temperatura media, humedad relativa y evaporación en el período evaluado para el experimento de caña planta se mostró en las figuras 1 y 2. Como se pudo observar antes de la aplicación del madurador existieron condiciones de sequía o escasas precipitaciones y algunas lluvias en el momento de la cosecha lo cual pudiera explicar los resultados negativos alcanzados.. Osgood (1983) precisó que con las aplicaciones de Ethrel-480, si existen condiciones favorables para el desarrollo de la caña, después de un detenimiento inicial del crecimiento, este se estimula y se logra la producción de cañas de mayor peso. Por otra parte Mc Donald (2000) plantea que la variabilidad en la respuesta del Ethrel-480 puede estar relacionada con la razón de crecimiento antes e inmediatamente después de la aspersión y la inmadurez (indicado por baja pureza de los jugos).

Actividad de la nitrato reductasa y contenido de nitrato.

Caña planta: Los resultados del efecto del Ethrel-480 sobre la actividad enzimática y la actividad específica en caña planta se muestran para las dos variedades en la tabla I.

El madurador provocó una disminución en la actividad enzimática de la nitrato reductasa (NR) a las 24 horas con respecto a las plantas testigos en las dos variedades y también a las 48 horas para la variedad My5514 con diferencias significativas.

Para la variedad My5514, las plantas tratadas con el Ethrel-480 tuvieron menor actividad específica de la nitrato reductasa a las 24 y 48 horas, con diferencias significativas (tabla I) La variedad C1051-73 no mostró diferencias significativas (tabla I) entre las plantas tratadas y no tratadas. A partir de las 48 h se produjo un ligero incremento de la actividad específica en las plantas tratadas de la variedad My5514 que no fue significativo (tabla I).

Tabla I. Efecto del Ethrel-480 sobre la actividad de la nitrato reductasa en hojas de las variedades C1051-73 y My5514. Experimento (2001-2002), Caña planta. Aplicación del madurador en Febrero del 2002.Trat: tratamientos. SE: Sin Ethrel-480. CE: Con Ethrel-480.

Variedad	Indicadores	Trat.	0 horas	24 horas	48 horas	21 días	50 días
C1051	Actividad Enzimática ($Ux10^{-4}$/ g Masa Fresca)	SE	1.77±0.1a	1.76±0.10 a	1.75±0.1a	1.64±0.1a	1.95±0.6a
		CE	1.77±0.1a	1.32±0.03 b	1.56±0.1a	1.72±0.1a	1.18±0.2a
	Actividad Específica ($Ux10^{-6}$/µg de proteínas)	SE	1.24±0.1a	1.25±0.1a	1.25±0.07 a	0.79±0.1a	1.50±0.5a
		CE	1.24±0.1a	1.24±0.1a	1.29±0.05	0.89±0.1a	0.79±0.1a
My5514	Actividad Enzimática ($Ux10^{-4}$ /g de Masa Fresca)	SE	2.05±0.1a	1.82±0.09 a	1.81±0.09 a	2.00±0.1a	1.38±0.1a
		CE	2.05±0.1a	1.34±0.03 b	1.44±0.02 b	2.15±0.1 a	1.79±0.2a
	Actividad Específica ($Ux10^{-6}$/µg de proteínas)	SE	1.31±0.1a	1.11±0.10 a	1.01±0.09 a	0.89±0.04a	0.85±0.1a
		CE	1.31±0.1a	0.57±0.01 b	0.59±0.01 b	0.90±0.04a	1.17±0.3a

En cada momento de evaluación letras distintas indican diferencias significativas con un 5% de probabilidad de cometer error de tipo I, según t de student, ns: no significativo.

Palmer (1985) obtuvo resultados similares en la actividad de la NR en hojas de plantas de papa tratadas con Ethrel-480, tanto en la determinación *in vitro* e *in vivo* de la actividad de la enzima. Las plantas de papa tratadas mostraron una supresión de la actividad de la enzima en las primeras 48 horas, aún cuando el producto fue aplicado a la solución del medio y no de manera exógena a las hojas de las plantas, como es el caso de este experimento.

Ambas variedades presentan un comportamiento similar en la respuesta inmediata a la aplicación del Ethrel-480 en cuanto a la actividad enzimática de la NR.

Primer retoño: Los resultados del efecto del Ethrel-480 sobre la actividad enzimática, y la actividad específica se muestra en la tabla II para ambas variedades.

Tabla II. Efecto del Ethrel-480 sobre la actividad de la nitrato reductasa en hojas de las variedades C1051-73 y My5514. Experimento (2002-2003). Primer retoño. Aplicación del madurador en Noviembre del 2002. Trat: Tratamientos. SE: Sin Ethrel-480. CE: Con Ethrel-480.

Variedad	Indicadores	Trat.	0 horas	24 horas	48 horas	21 días	50 días
C1051-73	Actividad Enzimática ($Ux10^{-4}$/ g Masa Fresca)	SE	5.39±0.5a	5.41±0.5 a	5.37±0.5 a	6.90 ± 0.4 a	10.60 ± 0.7 a
		CE	5.39±0.5a	3.52±04 b	3.66±0.1 b	5.22 ± 0.1b	26.23 ± 0.4b
	Actividad Específica ($Ux10^{-6}$/µg de proteínas)	SE	5.11±0.8a	5.16±0.8a	5.11±0.8a	15.6 ± 2.4a	25.83 ± 3.1 a
		CE	5.11±0.8a	4.54±0.5a	5.37±0.2a	11.3 ± 1.5a	48.41 ± 1.3b
My5514	Actividad Enzimática ($Ux10^{-4}$ /g de Masa Fresca)	SE	7.35±0.6a	7.32±0.6 a	7.33±0.6 a	8.62 ± 0.4 a	13.73 ± 1.3 a
		CE	7.35±0.61a	5.55±1.1 b	3.18±0.2 b	7.29 ± 0.3b	5.00 ± 0.7 b
	Actividad Específica ($Ux10^{-6}$/µg de proteínas)	SE	7.12±0.7a	7.08±0.7 b	7.12±.0.7 b	18.2 ± 1.1a	26.57 ± 0.8a
		CE	7.12±0.7a	7.94±0.2 a	10.39±0.5a	18.7 ± 2.4a	18.88 ± 0.8a

En cada momento de evaluación letras distintas indican diferencias significativas con un 5% de probabilidad de cometer error de tipo I, según t de student, ns: no significativo.

El madurador provocó una disminución en la actividad enzimática en todos los momentos evaluados para las dos variedades con diferencias significativas, excepto a los 50 días para la variedad C1051-73, donde las plantas tratadas mostraron valores significativamente superiores con respecto a las no tratadas.

Al analizar la actividad específica las plantas tratadas de la variedad My5514 mostraron valores superiores en las primeras 48 horas con diferencias significativas (tabla II). Las plantas tratadas de la variedad My5514 a los 50 días tuvieron un comportamiento similar en la actividad específica con respecto a las plantas testigos. En la C1051-73, la actividad específica sólo se diferencia significativamente a los 50 días con respecto a las plantas no tratadas.

Para una mejor comprensión de la influencia del Ethrel-480 en la actividad de la enzima se cuantificaron los niveles de nitratos en estas plantas del primer retoño ya que se conoce que cambios en la actividad de la NR se han visto asociados a cambios en el contenido de nitrato, por ser este el sustrato que induce la actividad de la enzima (Campbell, 2002),

En la tabla III se muestran los contenidos de nitratos para ambas variedades. No se observaron diferencias entre las plantas tratadas y las no tratadas para las dos variedades en las primeras 48 horas después de la aplicación, lo cual no puede correlacionarse con el comportamiento de la actividad de la enzima nitrato reductasa. No se mostraron diferencias significativas en ninguno de los momentos evaluados, excepto para la variedad My5514 que a los 21 días las plantas tratadas mostraron valores inferiores a las plantas testigos en correspondencia con una disminución de la actividad enzimática.

Tabla III. Contenido de nitrato (µg de NO_3 g^{-1} de masa seca) en hojas de las dos variedades después de la aplicación del madurador en noviembre del 2002. Primer Retoño.

Variedad	Tratamientos	0 horas	24 horas	48 horas	21 días	50 días
C1051-73	Sin Ethrel-480	6407±171a	6409±171a	6406±171 a	5308±32 a	6362±289 a
	Con Ethrel-480	6407±171a	6721±214a	6699±193 a	6080±229 a	6409±112 a
My5514	Sin Ethrel-480	5939±141a	5940±141a	5938±141 a	5870±112 a	5825±289 a
	Con Ethrel-480	5939±141a	5898±173a	6020±52 a	5261±80 b	5107±128 a

En cada momento de evaluación letras distintas indican diferencias significativas con un 5% de probabilidad de cometer error de tipo I, según t de student, ns: no significativo.

La actividad de la enzima disminuida comparada con el testigo pudo estar dada por alteraciones de la enzima, o producción de inhibidores específicos producto del etileno liberado (Wray, 1988) pero no por cambios en la disponibilidad de NO_3^{-1} que siempre fue similar en cada momento. Generalmente la actividad de la NR está en correspondencia con la asimilación de nitrato pero esto no ocurre necesariamente. No se ha mostrado en plantas transgénicas de tabaco que sobreexpresan la NR, alguna relación en la asimilación de nitrato y la actividad de la enzima indicando que la actividad de la enzima puede estar optimizada por el metabolismo general de la planta (Huppe, 1994).

Concentración de proteínas

Caña planta: El efecto del Ethrel-480 sobre el contenido de proteínas solubles en caña planta para las dos variedades se muestra en la figura 3 (A y B). El Ethrel-40 provocó una disminución en el contenido de proteínas a las 24 y 48 horas con diferencia significativas para la variedad C1051-73 (figura 3 A). Sin embargo, la variedad My5514 mostró un aumento de la concentración de proteínas después de la aplicación (figura 3 B).

A los 21 y 50 días (figura 3) ambas variedades tuvieron un comportamiento similar sin diferencias significativas con las plantas no tratadas.

El incremento de las proteínas en la variedad My5514 a las 24 y 48 horas está en correspondencia con la disminución de la actividad específica en esta variedad y en ambos momentos evaluados (tabla I).

Teniendo en cuenta el comportamiento de las proteínas solubles mostrado en la figura 3, y con el objetivo de analizar el patrón de distribución de estas proteínas solubles bajo el efecto del madurador se realizaron electroforesis bidimensionales de muestras de proteínas solubles

provenientes de hojas de la variedad C1051-73 sin y con la aplicación de Ethrel-480, a las 24 horas después de la aplicación.

El resultado de las electroforesis bidimensionales para la variedad C1051-73 se muestra en la figura 4 (A y B).

La concentración de proteínas fue de 0.81µg.µl^{-1} y 1µg.µl^{-1} para las muestras sin y con la aplicación del madurador, a las 24 horas después de la aplicación. Las electroforesis bidimensionales muestran las manchas que corresponden a las proteínas de las muestras sin (figura 4 A) y con la aplicación del Ethrel-480 (figura 4 B).

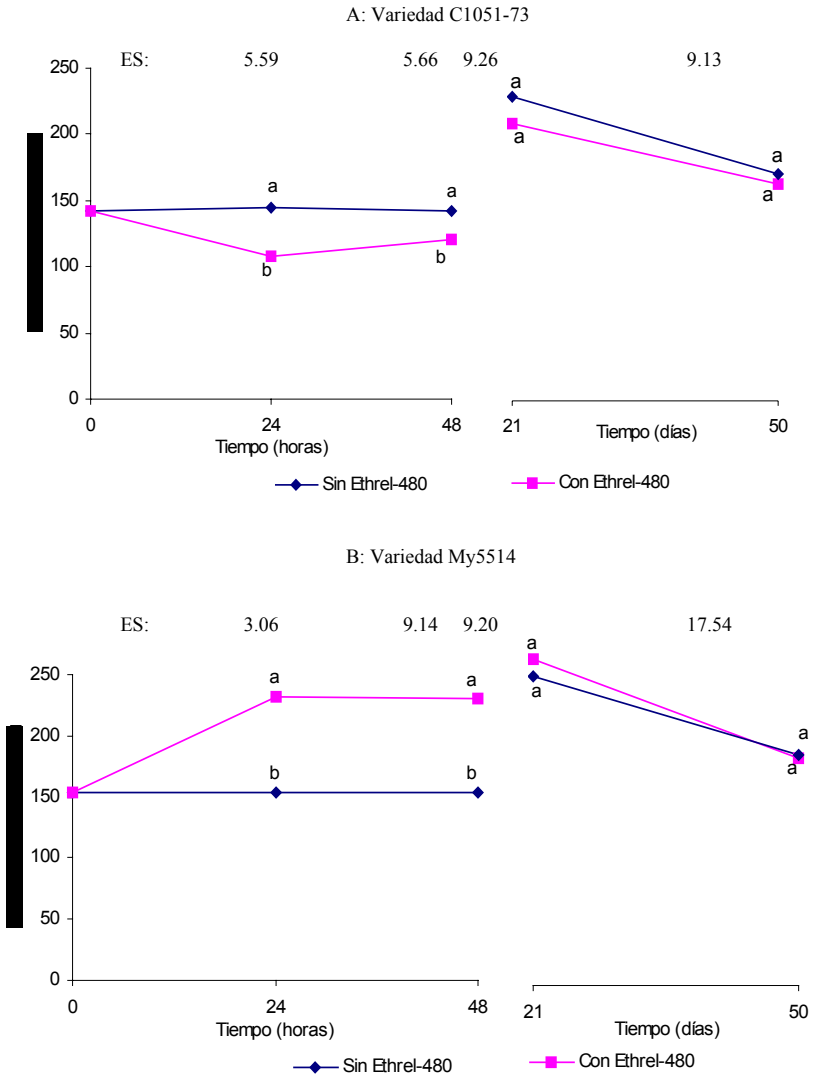


Figura 3 Efecto del Ethrel-480 sobre el contenido de proteínas para las dos variedades. En cada momento de evaluación letras distintas indican diferencias significativas con un 5% de probabilidad de cometer error de tipo I, según t de student.

Para facilitar la identificación de péptidos diferenciantes, estos fueron enumerados según el programa Image Master™ 2D Elite versión 4.01 (Amersham Pharmacia Biotech). En las plantas no tratadas (figura 4 A) se ubicaron los números del 256 al 700 y en las tratadas (figura 4B) del 2 al 102.

De manera general, el patrón de proteínas es diferente sin y con la aplicación del Ethrel-480. Sin la aplicación se detectaron un total de 104 manchas, mientras que con la aplicación el número de manchas se redujo a 74.

En la tabla IV se muestra el rango para los puntos isoeléctricos, sin la aplicación, el cual está comprendido entre 4,29 (mancha 456 del gel A) y 9,21 (mancha 675 del gel A) y con la aplicación entre 3,71 (mancha 90 del gel B) y 9,08 (mancha: 4 del gel B).

Tabla IV. Patrón de distribución de proteínas en función del punto isoeléctrico para las muestras sin y con la aplicación de Ethrel-480.

Punto Isoeléctrico (pI)	Número de proteínas sin la aplicación (24 horas)	Número de proteínas con la aplicación (24 horas)
pI<5.85	64	52
5.85<pI<8.15	36	19
pI>8.15	4	3

Por debajo del punto isoléctrico 5.85, se presentan la mayor cantidad de manchas detectadas sin y con la aplicación de Ethrel-480. La diferencia fundamental sin la aplicación está en 16 proteínas con puntos isoeléctricos entre 5.85 y 8.15 que no aparecen con la aplicación del madurador (figura 4). La menor diferencia aparece en proteínas con un pI por encima de 8.15.

En la segunda dimensión, sin la aplicación del madurador se observan proteínas desde una masa molecular de 18,58 kDa (mancha 675 del gel A) hasta 34,40 kDa (mancha: 256 del gel A), mientras que con la aplicación, la proteína de menor masa molecular tenía 18,29 kDa (mancha: 31 del gel B) y la de mayor 52,21 kDa (mancha: 88 del gel B). La mayoría de las proteínas detectadas en ambos casos tienen una masa molecular por debajo de los 35 kDa; sólo con la aplicación fue detectada una proteína por encima de este valor con una masa molecular de 52,21 kDa.

En la tabla V se muestran los resultados del efecto del Ethrel-480 sobre la cantidad de manchas de proteínas sin y con la aplicación del madurador.

Tabla V. Patrón de distribución en función de la masa molecular para las muestras de proteínas sin y con la aplicación.

Masa Molecular (MM)	Número de proteínas sin la aplicación (24 horas)	Número de proteínas con la aplicación (24 horas)
MM>22 kDa	25	14
18.9 kDa <MM<22 kDa	58	45
MM<18.90 kDa	21	15

Se destacan cambios en el patrón de proteínas en función de la masa molecular con la aplicación del Ethrel-480. El mayor cambio ocurrió en las proteínas de masa molecular entre 22 y 18.9 kDa y el menor cambio en las de menos de 18.9 kDa.

Por otra parte, se detectaron algunas manchas más intensas bajo el efecto del Ethrel, comparado con las plantas no tratadas, se destaca la mancha 6 de la figura 4 B con respecto a la mancha 476 de la figura 4 A, y es esta mancha la más intensa en ambos geles.

Estos cambios en la composición cuantitativa y cualitativa de las proteínas solubles en las hojas de las plantas de caña debido a la aplicación de Ethrel-480, pueden ser la causa de los cambios en el metabolismo del nitrógeno de esas plantas.

Se han realizado varias investigaciones científicas sobre el efecto del Ethrel en la composición de proteínas solubles en plantas, pero no se han publicado resultados sobre su aplicación en la caña de azúcar. En una amplia búsqueda de información sobre el tema se encontraron los trabajos en boniato (Imaseki 1970), en papa (Palmer 1985), en floración de papaya (Kumar, 1998), en trigo (Yu y otros 2001) y en tomate (Sozzi *y otros.,* 2002). Palmer (1985) no encontró efecto del Ethrel-480 sobre la concentración de proteínas solubles en hojas de papa tratadas con la aplicación de 30 mg por litro a la solución de cultivo, pero si encontró un incremento en el contenido proteico en tallos y raíces, a partir de las 24 y 48 horas después de la aplicación, en este caso las raíces fueron los primeros órganos de la planta expuestos al producto. Sin embargo, Kumar (1998), al aplicar Ethrel-480 de manera exógena a la planta, a niveles entre 240 y 960 ppm, también observó la desaparición de bandas de proteínas de entre tres y siete bandas de proteínas solubles en las electroforesis realizadas a partir de los extractos de proteínas solubles de flores feminizadas por el tratamiento con Ethrel-480.

Yu y otros (2001) encontraron un incremento de las proteínas apoplásticas de las hojas de trigo tratadas con etileno a las 24 horas. Cuando el etileno se cambió por la aplicación de Ethrel-480 el incremento de la concentración de proteínas se encontró a las 72 horas. A las 144 horas después del tratamiento con Ethrel-480 las proteínas solubles en el apoplasto habían alcanzado un valor de

0,30 mg/g de masa fresca, comparado con 0,08 mg/g de masa fresca, efecto que se deben al etileno liberado y no a la acidificación de los tejidos que ocurre de forma simultánea en la aplicación de Ethrel-480. Sozzi y otros (2002) encontraron que la isoforma III de la enzima α-L-arabinofuranosidasa de un extracto proteico de tomate resultó dependiente del etileno. Esta enzima libera residuos terminales de arabinofuranosil de las paredes celulares durante el proceso de maduración, lo cual ocurrió en un ambiente de etileno de 100 µL de etileno por litro de aire. En respuesta al etileno también se incrementa la actividad de peroxidasas que pudiera estar relacionado con el incremento de la permeabilidad de las membranas, permitiendo de esta forma la interacción de enzimas y sustratos (Imaseki, 1970).

Figura 4 A: Gel de electroforesis bidimensional de proteínas solubles de hojas de la variedad C1051-73 sin la aplicación de Ethrel-480. Caña Planta.

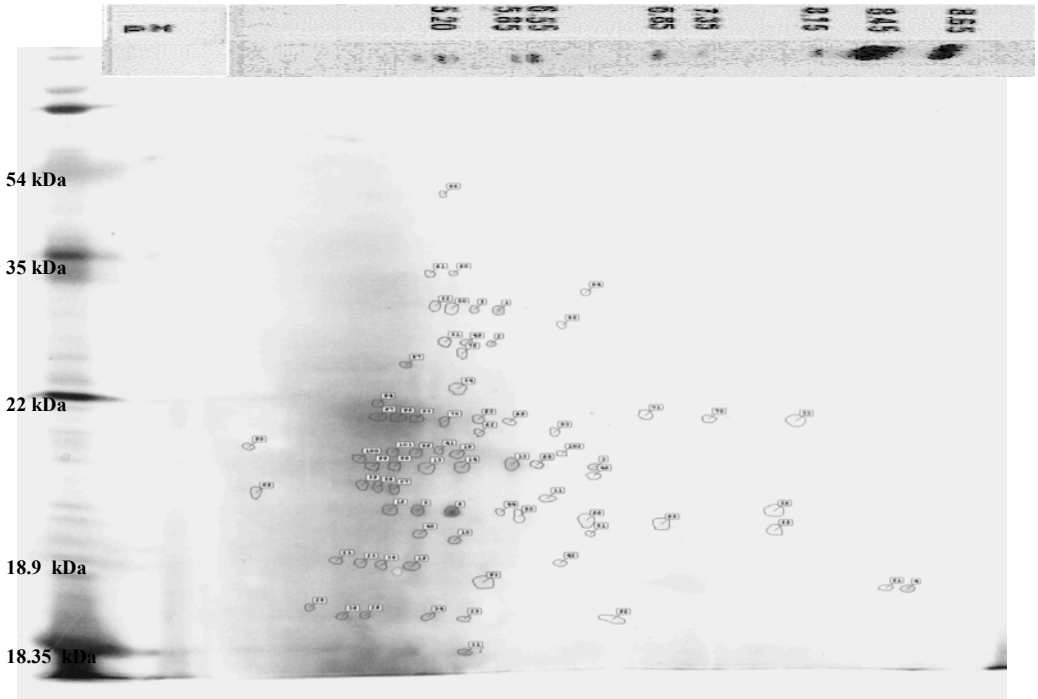


Figura 4 B: Gel de electroforesis bidimensional de proteínas solubles de hojas de la variedad C1051-73 con la aplicación de Ethrel-480, a las 24 horas. Caña Planta.

Los trabajos anteriores a los presentados en esta investigación evidencian que el patrón cuantitativo y cualitativo de las proteínas en los órganos de las plantas cambia con la aplicación de etileno o de productos que lo liberan como el Ethrel-480. Los resultados de los cambios cualitativos y cuantitativos del patrón de proteínas que se detectaron en las hojas de caña de azúcar después de la aplicación de Ethrel-480, durante el desarrollo de este trabajo pudieron ser debidos a la acción del etileno en el metabolismo de las plantas. Todo esto evidencia que el etileno liberado por el Ethrel-480 es el responsable del patrón de proteínas distintivo encontrado en plantas tratadas con respecto a las no tratadas en caña de azúcar. Las diferencias establecidas entre variedades al parecer en el comportamiento de las proteínas pudieran estar dadas por características varietales, relacionado con la respuesta de estas variedades a factores climáticos.

Primer retoño: La concentración de proteínas para el primer retoño de las dos variedades se muestra en la figura 5 A (C1051-73) y figura 5 B (My5514).

Se observó una disminución en el contenido de proteínas a las 24 y 48 horas con diferencias significativas con respecto a las plantas testigos en las dos variedades Este resultado para el caso de la My5514 es diferente comparado para la caña planta donde se obtuvieron valores superiores en las plantas tratadas, aspecto este que debe ser profundizado en investigaciones futuras.

A los 21 y 50 días (figura 5) ambas variedades tuvieron un comportamiento similar sin diferencias significativas con las plantas no tratadas a los 21 días. Se muestran diferencias significativas a los 50 días que pudieran no estar relacionadas con la aplicación del madurador. Ambas variedades disminuyeron la concentración de proteínas con el transcurso del tiempo tanto en las plantas tratadas como las no tratadas, sin embargo esta disminución de las proteínas se adelantó para las plantas tratadas a las 24 y 48 horas (figura 5). Estos resultados coinciden con los obtenidos para caña planta, donde las plantas tratadas de la variedad My5514 (figura 3) mostraron un aumento de proteínas a las 24 y 48 horas como un adelanto del aumento de proteínas que sucedería después al cabo del tiempo. La influencia del Ethrel-480 se mostró en un adelanto de lo que de forma natural iba a suceder en la concentración de proteínas al cabo del tiempo.

En las variedades y en ambos experimentos se obtuvo un comportamiento similar del madurador en la actividad enzimática, una disminución después de las primeras 48 horas. En la actividad específica se mostraron algunas diferencias que podrían deberse a las características varietales. Para la variedad My5514 (caña planta) un aumento en el contenido de las proteínas solubles en las primeras 48 horas provocó una disminución de la actividad específica de la nitrato reductasa en las primeras 48 horas y una disminución del contenido de las proteínas en las primeras 48 horas influyó en un aumento de la actividad específica en las plantas tratadas (primer retoño).

Los valores de actividad enzimática y específica de la NR del experimento de caña planta son inferiores a los alcanzados en el experimento de primer retoño, posiblemente dado por la mayor madurez fisiológica de las plantas del experimento de caña planta La actividad de la NR generalmente es alta en tejidos jóvenes y va disminuyendo con la edad.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la disminución de la actividad enzimática y específica de la enzima nitrato reductasa, pudiera plantearse que el Ethrel-480 a la dosis aplicada no provocó un incremento en la permeabilidad de las membranas vacuolares que favoreciera la disponibilidad de nitratos y por ende el incremento de la actividad de la enzima como enzima inducible por el sustrato, como se ha visto en otros cultivos (Palmer, 1985), aspectos estos que requieren de posteriores estudios en la caña de azúcar. La aplicación de Ethrel-480 a las plantas de caña de azúcar, independientemente del tipo de cepa, provocó cambios en los contenidos de proteínas, los cuales se detectaron por primera vez para este cultivar en las variedades estudiadas.

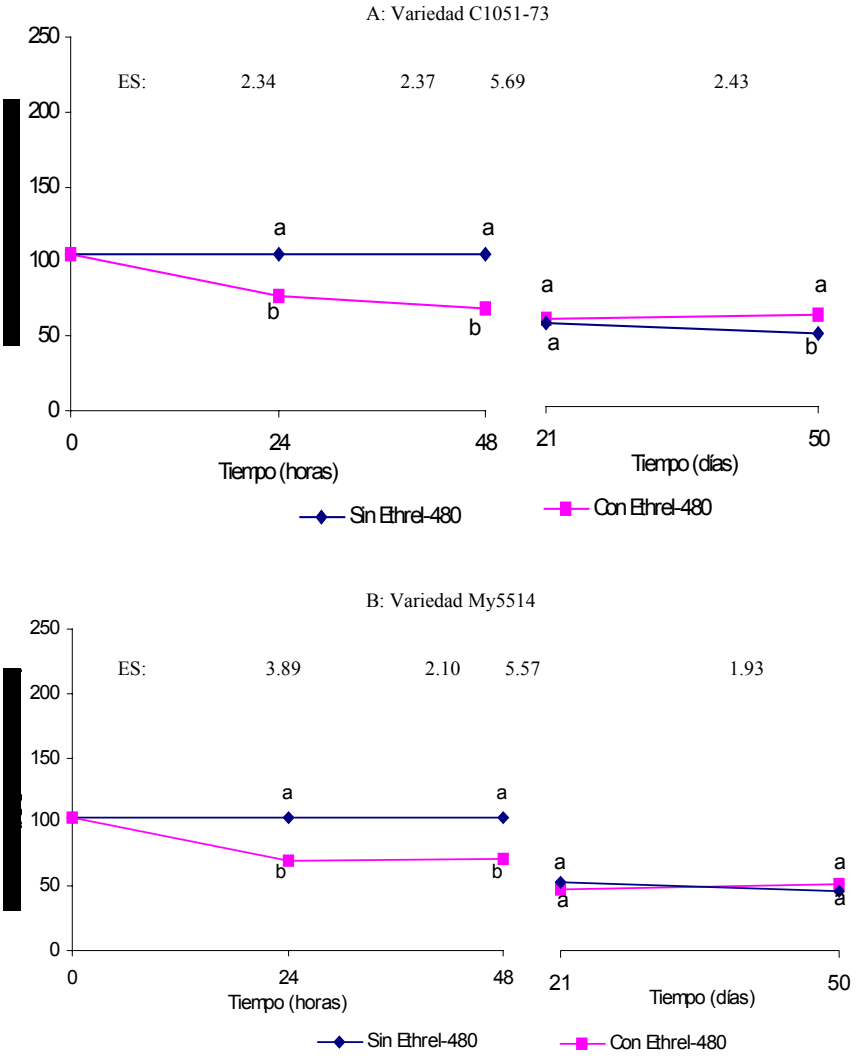


Figura 5 Efecto del Ethrel-480 sobre el contenido de proteínas para las dos variedades. Primer retoño. En cada momento de evaluación letras distintas indican diferencias significativas con un 5% de probabilidad de cometer error de tipo I, según t de student.

Se conoce que cuando la fotosíntesis se activa, se activan también las enzimas relacionadas con la síntesis de sacarosa (sacarosa fosfato sintetasa), asimilación de nitrato (nitrato reductasa) y la síntesis de ácidos orgánicos (fosfoenolpiruvato carboxilasa) que proporcionan el nitrógeno y el carbono para los aminoácidos. Estas enzimas no se regulan siempre en paralelo, ya que las hormonas, el estrés hídrico, los suministros de carbono y nitrógeno pueden también modular la fosforilación y actividad de estas enzimas. También, se ha identificado una proteína similar a la 14-3-3 en caña de azúcar que es capaz de enlazarse a los sitios de fosforilación de la nitrato reductasa en planta y por tanto regular así la actividad de dicha enzima (Kuramae y otros, 2001).

Por otra parte, los carbohidratos formados vía fijación de CO_2 fotosintético son transportados a partir de sitios de asimilación a otras partes de las plantas o usados en los cloroplastos para el suministro de energía, biosíntesis o almacenamiento (Huppe y Turpin, 1994). La principal demanda sobre el carbono asimilado en los cloroplastos es la síntesis de aminoácidos a partir del nitrógeno inorgánico. Cuando la razón del metabolismo del nitrógeno se reduce por limitaciones de nitrógeno o por una disminución de la cantidad de nitrato reductasa, los compuestos que almacenan carbono se acumulan y la eficiencia fotosintética puede reducirse. En estos experimentos el Ethrel-480, como un efecto inmediato disminuye la actividad de la NR, se sabe que esta enzima está más relacionada con el crecimiento que con la maduración, sería lógico pensar que por efecto del madurador el metabolismo se desplazara hacia la formación de sacarosa, es decir se favorecería el metabolismo del carbono inhibiéndose el metabolismo del nitrógeno y

disminuyendo entonces el contenido de proteínas que es el producto final del metabolismo del nitrógeno. Los resultados obtenidos por el efecto del Ethrel-480 en la disminución de la actividad específica de la nitrato reductasa y la síntesis de proteínas no fueron debidos a una acumulación de los compuestos del carbono a largo plazo, lo cual puede estar dado, a que los niveles de reducción de la actividad no fueron suficientes para que ocurriera un incremento en los carbohidratos a los 21 y 50 días evaluados, asociado a los diferentes mecanismos de regulación explicados anteriormente.

Se conoce que los azúcares tienen una importante función señalizadora a través de todos los estados del ciclo de vida de las plantas (Smeekens, 2000), y que hay una estrecha interacción entre la glucosa y los caminos que señalizan el etileno, el hecho de no encontrar ninguna relación en estas vías en caña de azúcar en los momentos evaluados requiere de posteriores estudios.

En ninguno de los momentos evaluados y en ninguno de los experimentos realizados, se apreció influencia significativa del madurador aplicado sobre los indicadores fisiológicos y químicos evaluados y aunque hubo un efecto sobre los indicadores bioquímicos (disminución de la actividad de la nitrato reductasa y concentración de proteínas a las 24 y 48 horas), estos no repercutieron en una acumulación de carbohidratos y por ende en el proceso de maduración de la caña de azúcar bajo el efecto del Ethrel-480 a la dosis empleada y las condiciones experimentales y climáticas.

Conclusiones

- La aplicación del Ethrel-480 en caña planta y primer retoño no tuvo efectos significativos sobre los indicadores fisiológicos y químicos en las dos variedades estudiadas y no es recomendable su aplicación cuando las plantas presenten un estadio avanzado de maduración y estén sometidas a condiciones de estrés.
- La aplicación del Ethrel-480 provocó una disminución de la actividad enzimática de la nitrato reductasa en las primeras 48 horas en hojas de caña planta y primer retoño bajo las condiciones de campo establecidas, en ambas variedades.
- La aplicación de Ethrel-480 provocó cambios en el contenido proteico en hojas de caña planta y primer retoño en las primeras 48 horas después de la aplicación.
- La diferencia fundamental sin la aplicación del madurador se encontró en 16 proteínas con puntos isoeléctricos entre 5.85 y 8.15 que no aparecen con la aplicación a las 24 horas. Se destacaron cambios en el patrón de proteínas en función de la masa molecular con la aplicación del Ethrel. El mayor cambio ocurrió en las proteínas de masa molecular entre 22 y 18.9 kDa y el menor en las de menos de 18.9 kDa.
- Los cambios provocados en la actividad de la nitrato reductasa y las proteínas con la aplicación del madurador no estuvieron asociados a una acumulación de los compuestos del carbono.

Referencias

- Bocanegra, J. (1990). Acuerdo de convenio de Rhone-Poulenc con MINAZ sobre desarrollo de Ethrel en caña de azúcar. Informe. p 25-52.
- Borroto, J., Tambara, Y., Peralta, H., Capdesuñer, Y., Golle, J. L., Ballbé, A. Rivas, M., Hormaza, V., Blanco, M. (2003). Contenido de carbohidratos asociados al crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de caña de azúcar (S*accharum*, sp).
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72, 248-254.
- Campbell, W. H., (2002). Higher Plant Nitrate Reductase Biochemistry. *Physiol.Mol.Biol.Plants.* 8 (1):31-38.

- Cueto, J.R., Gil, Y., Delgado I. (1984). Actividad de la nitrato reductasa en cítricos. *Ciencia y técnica Agrícola*. Cítricos y otros Frutales. 7(3):105-104.
- Cutiño, A., Creach, I., Guevara, H., González – Telles, F., Piñeiro, J., Gómez, M., Fernández, O., Cobas, D., Díaz, J.C. (1991). Resultados Experimentales con los madurantes FUSILADE, ETHREL, LIDER, y ETHREL + FUSILADE en seis variedades de caña de azúcar. Informe Nacional. INICA. p 26-32.
- Egarov, V.U. (1990). Instrucciones metodológicas para las determinaciones de nitrato en verduras y frutas con electrodo ión-selectivo . Universidad de Camaguey. Cuba. p 1-34.
- FAO. (2002). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FOSTAT- www.fao.org.
- Galvéz, S., Lancien, M., Hodges, M. (1999). Are isocitrate dehydrogenases and 2-oxoglutarato involved in the regulation of glutamate synthesis?. *Trends in plant Science* 4:12.
- Görg, A., Obermaier, C., Boguth, G., Scheibe, B., Wildgruber, R. ,Weiss, W. 2000. The current state of two-dimensional electrophoresis with immobilized pH gradient. Electrophoresis 21: 1037-1053.
- Gutiérrez, M.V. (2002). The scientific development of the physiology of plants in the American tropics. *Rev Biol Trop* jun 50 (2): 429-38.
- Imaseki, H. (1970) Induction of peroxidase activity by ethylene in sweet potato. *Plant physiol.*46: 172-174.
- Kuijper, J. (1915). De groie van bladschijf, bladscheede en stengel van het suikerreit. Archied Suikerind 23: 528-556.
- Kumar, A., (1998). Feminization of androecious papaya leading to fruit set by Ethrel and Chlorfuorenol. Acta Horticulturae 463: VIII International Symposium on Plant Bioregulation in Fruit Production. ISBN: 9066059597. ISSN: 0567-7572.
- Kuramae, E.E., Fenille, R.Ch., De Rosa Jr, V.E., (2001). Identification of 14-3-3-like protein in sugarcane (*Saccharum officinarum*). *Genetics and Molecular Biology.* 24 (1-4): 43-48.
- McDonald, L., Morgan, T., Kingston, G. (2000). Chemical ripeners: An opportunity for the Australian sugar industry. www.sugar.jcu.edu.au/research/ripeners/ASSCT 2000.pdf
- Moore PH, Maretzki A. (1996). Photoassimilate distribution in plants and crops. Source Sink Relationship. *Journal Series* 802 : 643-669.
- Moore, P.H. Osgood, R.V. (1986). Use of the ethephon to prevent flowering of sugarcane in Hawaii. *Proc Int Soc Sugar Cane Technol.* 9: 298-304.
- Moore, P.H., Osgood, R.V. (1989). Prevention of Flowering and Increasing Sugar Yield of Sugarcane by Application of Ethephon (2-Chloroethylphosphonic Acid).J. *Plant Growth Regulation.* 8: 205-210.
- Osgood, R. V.; Moore, P. H., Carr, J. B. (1983). Comparison of diquat and ethephon for prevention of flower initiation in sugarcane (*Saccharum* sp. hybrids). *Proc Plant Growth Reg Soc Am.* 10: 266-269.
- Page, D.L. (1983). Ethephon: Un fitorregulador de caña da azúcar de notable versatilidad. *Sugar y Azúcar.*78(7): 12-14.
- Palmer, C.E. (1985). Influence of Ethephon on Nitrate Reductase, Protein Amino Nitrogen and Nitrate Content of Solanum Tuberosum L. *Plant Cell Physiol.* 26 (3): 407-417.
- Pérez, C. (1997). Exitosa aplicación de madurador de caña de azúcar. *Cañaveral.* 3 (4): 20-23.
- Ramagli, L. S. (1999). Quantifying Protein in 2-D PAGE Solubilization Buffers. in: 2-D Proteome Analysis Protocols Link, A. J. (Ed). Humana Press, Totowa, New-Jersey. *Methods in Molecular Biology* : 112.
- Robertson, M.J., Donaldson, R.A. 1998. Changes in the components of cane and sucrose yield in response to drying-off before harvest. *Field Crops Research.* 55, (201-208).
- Rincones, C. (1992). Observaciones sobre el efecto del Etefon en el la floración y desarrollo de dos variedades de caña. *Caña de azúcar.* 10 (1): 37-49.
- Smeekens, S. (2000). Sugar-Induced Signal Transduction in Plants. *Annu.Rev. Plant. Physiol. Plant Mol. Biol.* 51:49-81.
- Sozzi, G., Greve, C., Prody, G.A., Lavabitch, J.M. (2002). Gibberellic acid, Synthetic Auxins and Ethylene Differentially modulate α-L- Arabinofuranosidase activities in Antisense 1-

Aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase tomato pericarp dics. *Plant Physiology.*129(3): 1330.

- Walker, J. M. (1998). Detection of Proteins in Polyacrylamide Gels by Silver Staining. (Ed.) Protein Protocols on CD-ROM. Humana Press, inc. January. Totowa, New Jersey. Section 2.26.
- Wray, J.L. (1988). Molecular approaches to the analysis of nitrate assimilation. *Plant Cell and Enviroment.* 11, 369-382.
- Yu, Y.X., Griffith, M., Wiseman, S. B. (2001). Ethylene induced antifreeze activity in winter rye leave. *Plant Physiology.* 126 (3):1232-1240.

EFECTO DEL BIOESTIMULANTE FITOMAS E EN EL CULTIVO DEL TOMATE
EFFECT OF BIOSTIMULANT FITOMAS E IN TOMATO CROP

Ramón Montano Martínez[1] Rolando López Rivera[2] José Villar Delgado[1]

[1] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Vía Blanca, 804, La Habana, Cuba
[2] Centro Universitario de Guantánamo. Guantánamo, Cuba, email: rlopez@cug.co.cu

Resumen

Se presentan los resultados del FitoMas E, bioestimulante derivado de la industria azucarera obtenido y desarrollado en el ICIDCA, en el cultivo del tomate (Licopersicum sculentus), bajo manejo agroecológico en distintas condiciones edafo-climatológicas y de abonado. Se realizaron dos estudios con un diseño de bloques al azar, uno en la variedad Aro 8484 en condiciones de organopónico en la UBPC organopónico Roberto Alegre Cagigal ubicada en la Autopista nacional Km 1 del municipio Santiago de Cuba provincia de Santiago de Cuba, con pH neutro, contenido de fósforo bajo, contenido de materia orgánica medio (3.55 %) y potasio alto. El otro estudio se realizó sobre la variedad Amalia en el huerto intensivo Tames-1, perteneciente a la granja urbana del municipio Manuel Tames, provincia Guantánamo, con un contenido de materia orgánica bajo (2.09 %), pH ligeramente ácido de 6.5 % y niveles de fósforo y potasio altos.
El abonado consistió en 0.4 kg de cachaza compostada/m^2 en el caso del organopónico de Santiago de Cuba e igual dosis de humus de lombriz en el de Guantánamo. La siembra se realizó por trasplante mediante la selección de plantas uniformes en todos los casos y el control de plagas se manejó con medios biológicos, durante el período que abarca de octubre a enero del 2003. Se aplicó FitoMas E, a 0.7 l/ha entre los 15 y 20 días después del trasplante. Los resultados demuestran incrementos en todos los indicadores de las plantas como evidencia de la acción fuertemente estimulante de este producto.
Se reportaron incrementos de entre 113 y 152 % en altura, entre 110 y 113 % en el diámetro de los tallos, entre 129 y 152% en la cantidad de frutos y entre 252 y 333 % de aumento en el rendimiento.
Palabras claves: bioestimulante, tomate, fertilización, FitoMas

Abstract

FitoMas E, a biostimulant from sugarcane byproduct industry, obtained in ICIDCA, was tested in tomato crop under different edafoclimatic and fertilization conditions. Two randomized blocks designs were carried out: one of them for the Aro 8484 variety in organoponic conditions, in the UBPC Roberto Alegre in Santiago de Cuba province, with neutral pH, phosphorus low content, potassium high content and medium matter organic level, about 3,55 %. The other design was carried out for Amalia variety in intensive production farm Tames 1, in Guantanamo province, with low organic matter content, about 2,09 %, pH, 6,5 and phosphorus and potassium high level. Fertilization was carried out by 04 kg/m^2 of composted filter mud for the organoponic and the same doses of earthworm humus for the Guantanamo farm. Sowing by transplant of uniform plants with biological pest control in the period october-january of 2003 was carried out. FitoMas E (0,7 l/ha) between 15 and 30 days after the transplant was applied. Increments in all plant responses indicate high biostimulant action of the product. The following increases were obtained: height, 113-152 %; stem diameter, 110-113 %; number of fruits, 129-152 % and agricultural crop yield 252-333 %.
Key words: biostimulant, tomato, fertilization, Fitomas

Introducción

FitoMas E es un fitoestimulante derivado de la industria azucarera obtenido y desarrollado en el ICIDCA. El producto es un coctel ***natural*** de sustancias orgánicas intermediarias complejas de alta energía, entre las que se encuentran aminoácidos, péptidos de bajo peso molecular, bases nitrogenadas e hidratos de carbono bioactívos. Montano (2000). Estas sustancias han sido especialmente seleccionadas del conjunto mejor representado en la mayor parte de las especies botánicas a las que pertenecen los cultivos económicos en los que, producto de la manipulación antrópica, normalmente están ausentes o aparecen en concentraciones insuficientes. Este déficit exacerba la fragilidad del cultivo a las situaciones estresantes, lo cual afecta los rendimientos y calidad de las cosechas. La adición oportuna de FiroMas E, compensa estas carencias, facilita la interacción suelo-planta, lo que permite el desarrollo de la rizosfera con la correspondiente producción de hormonas de crecimiento y otras muchas sustancias útiles al vegetal que desencadenan la recuperación fisiológica López, Montano y Caminero (2003) y López y otros (2003). Esto se manifiesta en la mejora de la producción de alimentos y productos útiles Montano, Zuaznabar y Villar (2002). FitoMas no es tóxico ni a las plantas ni a los animales. En este trabajo tenemos como objetivo determinar el impacto del FitMas E en el cultivo del tomate, con manejo agroecológico bajo condiciones edafo-climatológicas diferentes.

Materiales y métodos

Se seleccionaron dos áreas con condiciones edafo-climatológicas diferentes. I) el huerto intensivo Tames-1, perteneciente a la granja urbana del municipio Manuel Tames en la provincia Guantánamo y II) la UBPC organopónico Roberto Alegre Cagigal ubicada en la Autopista nacional Km 1 del municipio Santiago de Cuba, provincia del mismo nombre. El período de investigación comprende los meses de octubre a enero del 2003

Las variedades de tomate (Licopersicum sculentus) fueron Amalia y Aro 8484 respectivamente, que son las de mejor desempeño en cada caso.

El suelo que predomina en el área experimental "I" es del tipo aluvial del género pardo sin carbonato con un contenido de materia orgánica bajo (2.09 %), pH ligeramente ácido de 6.5 %, conductividad eléctrica de 0,336, SST de 195,43 y niveles de fósforo y potasio alto. Por su parte el suelo del área "II" tiene pH neutro, contenido de fósforo bajo, contenido de materia orgánica medio (3.55 %) y potasio alto.

Por otra parte el clima del área "I" presenta temperaturas promedio de 26 ^{o}C, humedad relativa de 60-75 % y régimen pluviométrico de 527 mm, distribuido desde los meses de octubre hasta enero que abarca las etapas desde el semillero hasta la cosecha, con insolación elevada y velocidad media del viento de 4.3 m/s

En la zona "II" el clima presenta temperaturas promedio de 26.4 °C , humedad relativa de 74%, régimen pluviométrico de 854mm, siendo los meses de enero y diciembre los de mayor lluvia; la insolación es elevada y la velocidad del viento es de 7.6 m/s

La preparación del suelo y la plantación de semilleros así como la desinfección de este (Trichoderma harzianum, cepa G-16), fue semejante en ambos casos, mientras que en el control de plagas se usaron barreras de maíz, árbol del Nim y plantas repelentes en el área "I" y Bacillus turigiencis a 1 kg/ha y Verticillun lescanii también a 1 kg/ha, en ambos casos con solución final de 120 l, en la "II".

El abonado se realizó con 0.4 kg. de humus de lombriz en el área "I" y con igual cantidad de cachaza compostada en la "II".

Todas las labores de cultivo se realizaron de forma análoga según lo establecido en el instructivo técnico del MINAGRI, 1998. En ambos casos la densidad de plantas fue de 80000/ha.

Aplicación de FitoMas

En todos los casos se aplicó una dosis de 0.7 l/ha

Área "I": Se realizaron dos aplicaciones, la primera a los cinco días después de trasplantado y la segunda al inicio de la floración, 15 días después de la primera.

Área "II": Se realizaron tres aplicaciones. La primera dosis se aplicó a inicio de la floración, la segunda a los 20 días después de la primera aplicación y la tercera a inicio de cosecha.

Diseño y variables estudiadas

Se usó un diseño de bloques al azar con un testigo y un tratamiento en cada área. Los resultados se dan como promedios del muestreo al azar en cada caso.

Se evaluaron la altura, el diámetro de los tallos, la cantidad de frutos y el rendimiento.

Resultados y discusión

En la tabla 1 aparecen las alturas promedio alcanzadas por las plantas en cada área experimental

Tabla 1. Alturas medias de las plantas adultas en las áreas experimentales

	Área "I" cm	Área "II" cm
Testigo	52.63	23.9
Tratamiento	59.77	36.56
Incremento %	14	15

Como se puede observar en ambos casos el tratamiento supera al testigo 14 % y 15 % respectivamente La altura del testigo en el área "I" es más del doble que la del área "II" y la relación de incremento favorece al primero 1.7 veces. Independientemente de las diferencias edafo-climatológicas, es evidente que aquí pesa el factor varietal, favoreciendo a la variedad Amalia, plantada en el área "I".

En la tabla 2 aparece el diámetro medio de las plantas adultas

Tabla 2. Diámetro de los tallos en las plantas adultas.

	Área "I" cm	Área "II" cm
Testigo	4.75	0.9
Tratamiento	4.82	1.18
Incremento %	1.4	31

El tratamiento con FitoMas E incrementa el diámetro de las plantas en ambos casos, aunque nuevamente se nota que la variedad Amalia es más robusta que la Aro 8484, a la cual supera en una relación de 5.27 en los testigos y en 4 veces en el tratamiento. El tratamiento es más efectivo en la variedad menos robusta.

En la tabla 3 aparecen los resultados que refieren la cantidad de frutos promedio por planta.

Tabla 3 Número de frutos por planta.

	Área "I" Número de frutos/planta	Área "II" Número de frutos/planta
Testigo	30.75	26.9
Tratamiento	39.75	42.25
Incremento %	29	57

La relación entre los testigos pone nuevamente de manifiesto una diferencia varietal importante que favorece a la variedad Amalia como en los casos anteriores, la cual exhibe una fructificación superior en 14%. Cuando se tratan con FitoMas E ambas variedades experimentan un incremento marcado en el número de frutos (29% y 57% respectivamente), que posibilita incluso, que la variedad menos favorecida en las condiciones de experimentación supere por bastante margen, a la variedad de mejor desempeño.

En la tabla 4 aparecen los rendimientos del cultivo.

Tabla 4. Rendimientos en kg/m^2

	Área "I" Kg/m^2	Área "II" Kg/m^2
Testigo	3	2.22
Tratamiento	10	5.61
Incremento %	333	253

Como se puede ver la variedad plantada en el área "I" nuevamente muestra un mejor desempeño en los testigos, al superar a la Aro 8484 en 35%. Ambas son susceptibles de mejorar su desempeño cuando se les aplica el producto fitoestimulante, aunque, al revés de lo que ocurre en los parámetros anteriores, en el caso del rendimiento la mayor respuesta favorece a la variedad más robusta.

Durante esta experiencia los cultivos estuvieron libres de malezas y plagas y contaron con riego, por lo que los factores que limitaban el desempeño eran de naturaleza edafo-climatológica, los cuales se manifestaban como factores estresantes, los que fueron en buena medida superados por la acción del fitoestimulante.

En este trabajo se usaron cantidades totales de FitoMas diferentes, pues el área "I" recibió dos aplicaciones durante el ciclo mientras que la "II" recibió tres, aunque siempre a las mismas dosis. El que el mayor rendimiento se obtuviera con la cantidad menor de producto pudiera indicar que las plantas presentan un "máximo" de absorción funcional del mismo, por encima del cual la respuesta (específicamente del parámetro "rendimiento"), no se incrementa. Sería recomendable estudiar esta posibilidad en ensayos de saturación para cada variedad.

Conclusiones

- FitoMas es un fitoestimulante que mejora el comportamiento del cultivo del tomate, en parámetros tales como altura y grosor de las plantas, número de los frutos y rendimiento por unidad de superficie, con independencia de las condiciones edafo-climatológicas.

- FitoMas es efectivo en este cultivo, tanto en la variedad Amalia como en la Aro 8484..

- El producto mejora el comportamiento, incluso, en suelos abonados con humus de lombriz, tal como se manifestó en la variedad plantada en área "I", en la que se obtuvo el máximo incremento de rendimiento

- FitoMas E permite al cultivo superar las limitaciones del entorno y expresar mejor su potencial.

Referencias

Montano R. Efecto del Biomas 20 LS sobre el rendimiento agrícola y la maduración de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) Universidad Agraria de la Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez" Centro de estudios de agricultura sostenible, Tesis en opción por el título académico de Master en "agroecología y agricultura sostenible", La Habana, 2000.

Montano R., Zuaznabar R y Villar J. Influencia del BIOMAS (E) Sobre la Nutrición de la Caña de Azúcar. Encuentro Provincial, ACTAF, Provincia La Habana. INCA 2002

López R., Montano R y Caminero R. Aplicación de diferentes dosis de FitoMas en el cultivo del tomate (Licopersicum sculentus) variedad Aro 8484 en condiciones de organopónico en la provincia de Santiago de Cuba. Informe de trabajo, 2003. Sede Universitaria de Guantánamo. Provincia Guantánamo, Cuba

López R., Montano R., González A. y Gómez A. Diferentes dosis de FitoMas en el cultivo del tomate (licopersicum sculentus), variedad amalia en la provincia Guantánamo, Cuba. Abril 2003. Informe interno Sede Universitaria de Guantánamo, Prov. Guantánamo, Cuba.

EFECTO DEL BIOESTIMULANTE FITOMAS E EN CULTIVOS SELECCIONADOS
EFECT OF THE BIOSTIMULANT FITOMAS E IN SELECTED CROPS

José Villar Delgado[1]Ramón Montano Martínez[1]Rolando López Rivera[2]

[1] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Vía Blanca 804, La Habana, Cuba,
[2] Centro Universitario de Guantánamo. Email: rlopez@cug.co.cu

Resumen

FitoMas E es un bioestimulante derivado de la industria azucarera obtenido y desarrollado en el ICIDCA, que ejerce una gran influencia en el desarrollo de las plantas de cultivo. El efecto antiestrés de este producto se manifiesta en una mejora fisiológica global del estado de la planta. En este trabajo se presentan los resultados sobre la floración y el rendimiento en los cultivos de tomate (Licopersicum sculentus variedad Amalia) y pepino (Cucumis sativus variedad SS-5 bajo manejo agroecológico. El pepino se plantó en un suelo con indicadores de fertilidad aceptables, pero saturado con valores cercanos a la salinidad. Por su parte el tomate fue plantado en un suelo con contenido satisfactorio de fósforo y potasio para este cultivo pero bajo en materia orgánica (2.09%). En el caso del pepino el suelo fue abonado con cachaza compostada a razón de 0.4 kg/m^{2,} mientras que en el del tomate se usó igual dosis de humus de lombriz. Las plagas fueron manejadas con medios biológicos. El bioestimulante se aplicó entre los 15 y 20 días de la siembra. Se reportan incrementos de 118% en el número de flores en tomate con 0.7 l/ha de FitoMas E y en el pepino de 147 % y 156 % respectivamente para las flores masculinas y femeninas (proporción óptima que suele desequilibrarse con las fertilizaciones inorgánicas convencionales) con dosis de 0.2 l/ha del producto. Por otra parte los incrementos de rendimientos fueron de 333% en tomate y de 145% en pepino. La siembra del pepino se llevó a cabo en abril del 2002 en el organopónico EL NIM perteneciente al Complejo Productivo Científico Docente "José Martí (CPCD)," mientras que el tomate fue plantado en octubre del 2003 en el huerto intensivo Tames-1, perteneciente a la granja urbana del municipio Manuel Tames, ambos en la provincia Guantánamo.
Palabras Claves: bioestimulante, tomate, pepino, fertilización

Abstract

FitoMas E, a biostimulant from sugarcane by product industry, obtained in ICIDCA, has a great influence over the development of plant crops. Antistress effect of the product implies a better physiological status of the plant. Results obtained in increasing of flower numbers and crop yields for Amalia tomato variety and SS-5 cucumber variety treated with FitoMas E are presented in this work. Cucumber was sowed in a soil of acceptable fertility, but in conditions near to salinity. Tomato was sowed in a soil with satisfactory phosphorus and potassium content for this crop, but with low level of organic matter: 2,09 %. Composted filter mud (0,4 kg/m^2) as fertilizer for cucumber and earthworm humus in the same doses for tomato were employed. The biostimulant was applied between 15 and 20 days after the sowing. Increments of 118 % in flower number for tomato with 0,7 l/ha of FitoMas E and increments of 147 % and 156 % respectively for male and female flowers with 0,2 l/ha of the biostimulant for cucumber were obtained. Furthermore agricultural yield increase of 333 % for tomato and 145 % for cucumber were encountered. Cucumber was planted in April 2002 in organoponic EL NIM and tomato in October 2003 in intensive production farm Tames-1, both in Guantanamo province.
Key words: biostimulant, tomato, cucumber

Introducción

Con los nutrientes del suelo, el aire y el agua, más el concurso del sol, los vegetales fabrican una inmensa cantidad de sustancias orgánicas complejas, muchas de las cuales nos alimentan y nos visten (el llamado metabolismo principal) y son la base de la vida para los animales en la Tierra. Pero a diferencia de lo que ocurre con estos, los vegetales no pueden huir de sus enemigos ni trasladarse a regiones más propicias cuando se estresan, es decir, cuando se sienten amenazados o las condiciones ambientales se tornan adversas. Para protegerse y asegurar su propio espacio vital, las plantas han desarrollado hasta su máxima expresión la defensa química, a la cual dedican una parte importantísima de las sustancias que elaboran, en dependencia de la magnitud del estrés que sufren, (lo que conocemos como metabolismo secundario), lo cual afecta la producción de alimentos y productos que nos son útiles. Ejemplos de la capacidad de las plantas para producir sustancias de defensa y/o adaptación se pueden observar en la tabla 1

Tabla 1. Algunas respuestas de as plantas a diferentes formas de estrés ambiental. (J. B. Harborne, 1993)

Estrés	**Respuesta de las plantas**
Altas temperaturas	Incremento en proteínas SH
Sequía	Incremento en prolina o pinitol
Bajas temperaturas	Acumulación de azúcares y/o polióle y de proteínas anticongelantes
Salinidad	Acumulación de polióles, compuestos cuaternarios de amonio y otros compuestos osmóticos
Selenio	Formación de aminoácidos no protéicos en base a selenio
Metales pesados	Acumulación/detoxificación como complejos de ácidos orgánicos

En las plantas de cultivo estas respuestas a nivel bioquímico se corresponden con alteraciones macroscópicas que pueden afectar tanto el cuerpo de la planta, altura y diámetro por ejemplo, como la cantidad y calidad de las flores y la fructificación.

Esto ocurre porque las plantas de cultivos se han seleccionado para exacerbar su metabolismo principal por lo que generalmente, devienen incapaces de adaptarse adecuadamente al estrés, ya que muchas sustancias e intermediarios biológicos, propios de su metabolismo secundario, están en déficit o no se expresan suficientemente en el momento oportuno. Esta es la razón principal del deterioro de los rendimientos.

FitoMas E es un fitoestimulante derivado de la industria azucarera obtenido y desarrollado en el ICIDCA. El producto es un coctel ***natural*** de sustancias orgánicas intermediarias complejas de alta energía, entre las que se encuentran aminoácidos, péptidos de bajo peso molecular, bases nitrogenadas e hidratos de carbono bioactívos Montano R, (2000).

Estas sustancias sirven de soporte al metabolismo secundario de las plantas económicas suplementándolo cuando se ponen oportunamente a disposición del vegetal Montano R., Zuaznabar R., Villar J.(2002). Esto facilita la interacción suelo-planta, lo que permite el desarrollo de la rizosfera con la correspondiente producción de hormonas de crecimiento y otras muchas sustancias útiles al vegetal que desencadenan la recuperación fisiológica. Esto se manifiesta en la mejora de la producción de alimentos y productos útiles López R y otros (2003) y López R., Montano R., Vera A. (2003). FitoMas no es tóxico ni a las plantas ni a los animales.

En este trabajo se estudia el efecto del FitoMas E sobre uno de los eventos más importantes de muchas especies económicas, **la floración,** cuya abundancia y características determinan los rendimientos. En este caso los cultivos se manejan agroecológicamente, por lo que se supone que no están presentes agroquímicos capaces de desequilibrar el metabolismo. Los objetivos que se persiguen son determinar la influencia del FitoMas E sobre la floración y el rendimiento en los cultivos de pepino y tomate respectivamente, manejados agroecológicamente.

Materiales y métodos

El pepino (Cucumis sativus) variedad SS-5 El experimento se plantó en el organopónico el NIM, perteneciente al Complejo Productivo Científico Docente (CPCD) José Martí, municipio Guantánamo, provincia Guantánamo.
Las condiciones edafoclimáticas existentes en este lugar son las siguientes:
La temperatura promedio es de 27 °C con una mínima de 20 °C y una máxima de 34 °C, con una humedad relativa de 35 a 80%, con un régimen pluviométrico de 850mm anual, siendo los meses de mayo, noviembre y diciembre los de mayor lluvia, insolación elevada y velocidad del viento de 3,6m/s. El suelo que predomina es del tipo aluvial diferenciado del género pardo carbonatado, el contenido de materia orgánica es del 2,5%, presenta una profundidad efectiva de 60cm y un pH promedio neutro

El sustrato empleado fue suelo y materia orgánica (compost), con una proporción de 3:1. La siembra se realizó el 6 de marzo de 2002, de forma directa, se utilizaron 4 canteros de 20 m de largo por 1m de ancho divididos en tres partes, para un total de 12 parcelas de 6,7 m cada una, las cuales poseían un área de 80 metros cuadrados; con un marco de plantación de 0.80 x 0.25 m, para una densidad de 400 plantas y un área total de 0.008 ha. Las semillas se remojaron 24 horas antes de la siembra en una solución de FitoMas correspondiente a 200ml /ha y, 3 días antes de las floración se aplicó igual dosis foliarmente con mochila manual. MATABI – 16.

Por su parte el tomate se plantó en el huerto intensivo Tames-1, perteneciente a la granja urbana del municipio Manuel Tames, también en la provincia Guantánamo. El período de investigación comprende los meses de octubre a enero del 2003.

El suelo que predomina en el área experimental es del tipo aluvial del género pardo sin carbonato con un contenido de materia orgánica bajo (2.09 %), pH ligeramente ácido de 6.5 %, conductividad eléctrica de 0,336, SST de 195,43 y niveles de fósforo y potasio alto. Como abonado se aplicó 0.4 kg/m^2 de humus de lombriz.

La zona de estudio presenta un clima con temperatura promedio de 26 ^oC, humedad relativa de 60-75 % y régimen pluviométrico de 527 mm, distribuido desde los meses de octubre hasta enero que abarca las etapas desde el semillero hasta la cosecha, la tensión de vapor de agua osciló de 19-23 mm, la insolación promedio es de 7-8 h/días y la velocidad del viento es 3.5 m/seg.

Para el montaje del experimento se seleccionó un área de 0.0143 ha que fue preparada con tracción animal y se levantaron los canteros con azada. El marco de plantación empleada fue de 0.90 x 0.25 m, para una densidad de 8 plantas por m^2, 80000 plantas por hectárea, a los cuatros días de trasplantado se le realizó un retrasplante. Antes del trasplante se aplicó un riego de 200 m^3/ha.

Se realizaron dos aplicaciones del bioestimulante FitoMas, la primera a los cinco días después del trasplante y la segunda al inicio de la floración a los 15 días después de la primera aplicación, en ambos casos con FitoMas a 0.7 l/ha.

En ambos casos las malezas fueron controladas manualmente y las plagas se manejaron con medios biológicos y plantas repelentes. Se seleccionó un diseño de bloques al azar y con cinco réplicas. Las labores culturales se llevaron a cabo según el instructivo técnico del MINAGRI 1998.

Resultados y discusión

En la tabla 2 aparecen los resultados en el cultivo del pepino**.** Como se puede ver el FitoMas E incrementa el número de flores, tanto masculinas como femeninas. La relación entre ambas, que suele desequilibrarse con la fertilización convencional, es de 3.96 flores masculinas por cada flor femenina en el testigo, mientras que cuando se añade el fitoestimulante la relación es de 3.73 flores masculinas por flor femenina, lo cual indica un reajuste favorable a la flor femenina, que es la que culmina en fruto. De

esta forma el incremento de la fructificación es estimulado por dos factores que actúan juntos, el aumento en la cantidad total de flores y el mejoramiento de la proporción a favor de la flor femenina, lo cual se demuestra en que el incremento del rendimiento es igual al incremento en este tipo de flor.

Tabla 2. Número de flores y rendimiento en el cultivo del pepino

Cultivo Pepino	Testigo	FitoMas 0.2 l/ha	Incremento %
Flores masculinas	21	31	48
Flores femeninas	5.3	8.3	46
Rendimiento kg/m^2	3.5	5.1	46

En cuanto al rendimiento es similar al obtenido empleando el método convencional por Rosario Caraza y col, (1997) utilizando diferentes fechas de siembra en época de primavera; siendo la mejor fecha febrero – marzo, con resultados de 4,8 y 5 kg/m^2. Se presenta en este caso la posibilidad de producir este renglón sin fertilizantes químicos, con el consiguiente ahorro económico.

En la tabla 3 aparecen los resultados en el cultivo del tomate.

Tabla 3. Floración, cantidad de frutos y rendimiento en tomate "Amalia" tratado con 0.7 l/ha de FitoMas E

Cultivo Tomate	Testigo	FitoMas 0.7 l/ha	Incremento %
Flores Evaluación 1	10.5	19	81
Flores evaluación 2	35.7	44	23
Flores evaluación 3	58.5	69	18
Número de frutos Evaluación 1	4.5	9	200
Número de frutos Evaluación 2	15.5	23.75	54
Número de frutos Evaluación 3	30.75	39.75	29
Rendimiento kg/m^2	3	10	333

Como se puede ver en la tabla 3, la floración en el tomate en la variante tratada con FitoMas, experimenta una influencia favorable muy marcada en todos los momentos de evaluación. Por su parte, en correspondencia con este factor, el número de frutos crece también con el tratamiento con FitoMas con una tendencia análoga a la de la floración. El elemento más descollante es, sin dudas, el salto experimentado por el rendimiento, el cual triplica al testigo.
Evidentemente este incremento no puede ser explicado solamente a partir de los de la floración, en este factor se asocian otros parámetros como son el mayor diámetro y peso superior de los frutos, cuya

medición no fue objeto de la experiencia, pero que se pudo observar a simple vista y coincide por lo reportado por R. López y col, 2003, en la variedad Aro 8484 en la provincia de Santiago de Cuba, donde se obtuvieron incrementos del diámetro del fruto del 74% y del 61% en el peso, con la aplicación de este producto y esa misma dosis.

Conclusiones

- FitoMas E es un bionutriente derivado de la industria azucarera con un fuerte efecto estimulante de la floración y del rendimiento, tanto en el cultivo del pepino como en el del tomate.
- En el caso del pepino, FitoMas a 0.2 l/ha incrementa tanto la floración masculina como la femenina con un efecto que tiende a favorecer a esta. El rendimiento en estas condiciones es igual a los mejores conseguidos en la época óptima con métodos convencionales, lo que indica la posibilidad de lograr fuertes ahorros económicos a la vez que se protege el ambiente.
- En el cultivo del tomate FitoMas logra un elevado incremento en la cantidad de flores durante todo el ciclo de cosecha, lo que, unido al aumento en el tamaño y en el peso de los frutos, provoca un incremento extraordinario del rendimiento.

Referencias

López R., Montano R., Lobaina A., Gómez A. Diferentes dosis de Fitomas en el cultivo del tomate (licopersicum culentus), variedad amalia en la provincia Guantánamo. (Abril 2003). Informe interno Sede Universitaria de Guantánamo, Prov. Guantánamo, Cuba.

López R., Montano R., Vera A., Rodríguez Y. Evaluación de diferentes dosis de BIOMAS en el cultivo del pepino (Cucumis sativus) variedad SS-5. (2003). Informe interno Sede Universitaria de Guantánamo, Prov. Guantánamo, Cuba.

Montano R. Efecto del Biomas 20 LS sobre el rendimiento agrícola y la maduración de la caña de azúcar (***Saccharum officinarum***) Universidad Agraria de la Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez" Centro de estudios de agricultura sostenible, Tesis en opción por el título académico de Master en "agroecología y agricultura sostenible", La Habana, 2000.

Montano R., Zuaznabar R., Villar J. Influencia del BIOMAS (E) Sobre la Nutrición de la Caña de Azúcar. Encuentro Provincial, ACTAF, Provincia La Habana. INCA 2002

MICROBIAL BIOPESTICIDES ISOLATED FROM COMPOST FROM SUGAR CANE INDUSTRY

María R. Campos Reyes[2]; Teresita Spezzia Mazzocco[2]; Israel A. Gomez Juárez[1]; Sergio R. Trejo Estrada[2]
(1) Departamento de Campo. Central Motzorongo S.A. de C.V. Motzorongo, Veracruz, México. (2) Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional (CIBA-IPN). ExHacienda de San Juan Molino. Lardizábal, Tlaxcala. México.

INTRODUCTION

Two by-products of major importance in the sugar industry are cachaza (filter mud) and bagasse. The composition of filter mud is : 65% moisture and 35% dry matter, from which roughly 15 - 30% is lignocellulose fiber, 5 - 14% crude wax, 5 - 15% residual sugars, and 5 - 15% crude protein. Its content of ash is 1 - 4 %, and it also contains Ca, phosphate and magnesium (Paturau, 1969).

Composting is a microbial process that converts organic waste materials (potentially putrefiable) into a stable and pest free substrate rich in humic and fulvic acids. Final compost can be used for soil improvement (Haug, 1993).

Bagasse is the residue of sugarcane extraction, and is mostly made of lignocellulose fibers.

Homogeneous mixtures of filter mud and bagasse make a suitable substrate for composting. The presence of bagasse provides texture and porosity to the otherwise lignocellulose-rich filter mud(Trejo-Estrada & Rosas-Morales, 2000).

At Ingenio Motzorongo, in Veracruz, México, a starting material made of filter mud (90%) and bagasse (10%) is put in static windrow piles which are mechanically turned in order to maintain aerobic conditions and to make a uniform composting substrate. A stable final product is obtained. The final compost is free of pesticides, and has a C/N ratio of 20, with a high humification index (Trejo-Estrada et al, 2001).

Biofungicides are microorganisms capable of antagonizing fungal pathogens in root or foliar tissues. Biofungicide products of recent development belong to the grampositive group of bacteria. Actinomycetes and bacilli are microorganisms present in all habitats and are responsible for the biodegradation of lignocelluloses. They also make the highest biomass concentration in soils. The most important group within the actinomycetes are the streptomycetes, which produce hundreds of antifungal compounds.

Antifungal biocontrol agents have been developed and studied for their ability to control fungal plant pathogens (Crawford, et al, 1993; Crawford, 1993; Trejo-Estrada et al, 1997, 1998a and b).

The role of streptomyces strains in plant growth regulation is much less understood (Nakajima et al, 1991 and El-Shirbiny and Hashem,1997).

The present study reports the isolation of thermotolerant microbial strains during the termophilic and mesophilic stages of the composting process of sugarcane by-products. The data presented demonstrate the in vitro potential of selected strains as either fungal antagonists or plant growth regulators, or both.

MATERIALS AND METHODS

Isolation of microbial strains

Compost material was sampled for analysis in the following way: Three different points along the windrow were chosen and a sample of approximately 20 Kg was taken along the vertical axis from the surface to the bottom of the windrow. The samples were put together in a large plastic bag, and mixed thoroughly to homogenize. A portion (5 Kg) of this mixed sample was taken to the lab for analysis and kept at 4 °C for no more than two days until all the determinations were made.

Serial ten-fold dilutions were made for plate count of microbial populations, using water as diluent. Bacilli and actinomycete strains were counted on agar plates with medium YCED, as reported by Crawford et al (1993). YCED medium contains 0.3 g yeast extract; 0.3 g casaminoacids; 0.3 g dextrose; 2 g potassium phosphate, and 18 g agar. The pH is adjusted to 7.2. Agar plates were incubated at 30 and 45 °C for 4 days, and the colonies examined microscopically. In a parallel isolation protocol, CMC agar ammended with a mineral solution was used.

Preservation of microbial strains

Microbial strains were purified either on PDA or on YCED agar plates. Pure cultures were allowed to grow and sporulate at 45°C, the spores or cells were collected and suspended in sterile glycerol 30%. Vials were then frozen and maintained at -70°C.The stock cultures were used for inoculation of agar plates for the in vitro antagonism asays and for detection of activity of plant growth regulation.

In vitro antifungal antagonism assay

Three strains of fungal plant-root pathogens were used. *Pythium ultimum* was obtained from the Plant Pathology Microbial Collection at Universidad Autónoma de Chapingo (Chapingo, México). *Rhizoctonia solani* was kindly provided by the Microbial Collection at Comisión

Nacional de la Papa (Toluca, México). *Fusarium basicola* was kindly provided by Armando Tapia, from Instituto de Ciencias, Universidad Autónoma de Puebla (Puebla, México).

PDA plates, adjusted to pH=7.2 were prepared, which contained exactly 17 ml of medium. Freshly prepared plates were inoculated with each actinomycete strain in three equidistant points at the edges of the plate. The plates were then incubated at 30 °C for 3 days. After growth of the actinomycete strain, an agar square (0.5 cm side) taken from the edge of a three day old fungal colony grown on PDA (pH=7.2) was put on the center of the plate and incubated for 3 days (in the case of *Pythium ultimum*) or 6 days (in the case of *Rhizoctonia solani* and *Fusarium basicola*). The length of the inhibition halos was determined at the end of the incubation period. Compost isolates were also tested against Bacillus subtilis ATCC 6633

In order to establish quantitative inhibition, an inhibition index (I. I.) was calculated from two parameters: A was the distance between the center of the bacterial colony and the center of the fungal colony; whereas C is the distance between the center of the actinomycete colony and the edge of the fungal colony (Fig. 1). The Inhibition halo is obtained from a ratio: I. I. = (C / A) x 10. The larger I. I. value, the larger the inhibition potential.

In vitro plant growth regulation assay

Nine different culture media were tested. Only YCED provided good conditions for growth of strains and for grass and tomato seed germination.

-

Plant growth regulation

The bacterial strains were inoculated on YCED as in the antifungal assay, and incubated at 45°C for 3 days and then at 30°C for 5 days. 0.5 g of either tomato or turfgrass seeds were disinfected and distributed on top of the plates. The plates were then incubated on a growth chamber at room temperatures (24-27 °C) with a controlled of 16 h light / 8 h dark photoperiod. The germlings were monitored for 15 days and parameters such as vigor, % of green germlings and length of stem and root were qualitatively evaluated on a daily basis.

RESULTS AND DISCUSSION

An initial screening of a collection of 298 bacterial isolates from hot compost rendered a group of 86 strains with antimicrobial properties.

From that group, 68 strains were tested against indicator strains: 42 were active against *Bacillus subtilis*; 22 against *Pythium ultimum*; 21 against *Fusarium basicola*, and 27 against *Rhizoctonia solani*. By the use of a quantitative approach, based on a plate agar assay for antimicrobial activity (Figures 1 and 2), a group of 19 strains were selected for their strong antagonism towards three strains of fungal root pathogens (Table 1).

The results in Table 1 show the wide variety of antifungal and antimicrobial patterns exhibited by 19 selected strains. Only two strains(E2M3a and B4M6a) were active against all three fungal strains and *Bacillus subtilis*. Five strains showed very strong inhibition of fungal growth against two or more pathogens

Four strains, B4M6a, E2M3a, C49D and 5a were selected because of their strong ability to antagonize fungal pathogens in vitro. B4M6a was particularly active against *Pythium ultimum* ; E2M3a was particularly active against *Rhizoctonia solani* ; C49D and 5a were particularly active against *Fusarium basicola* and *Rhizoctonia solani*.

When compared to YCED-9, a potent fungicidal strain of *Streptomyces violaceusniger* studied for its biocontrol properties and its secondary metabolite products (Trejo-Estrada et al,1996, 1997, 1998 a and b), the only strain that showed a similar antifungal potential was B4M6a (Fig 3).

In contrast to the antifungal potential, plant growth regulation was a more common and frequent property of the bacterial community isolated from compost (Fig 4a). Using an agar plate bioassay (Figure 4 b), herbicidal and plant growth promoting activities were tested in a collection of 298 bacterial isolates. Fifty strains showed strong plant growth promotion, and 99 showed strong herbicidal properties.

The final compost obtained from semi-aerobic processing of filter mud and sugarcane bagasse has both antifungal suppressive and plant growth promoting properties, when used as a soil amendment. It is hypothesized that this biological potential maybe at least partially due to the presence and biological activity of the microbial community present in compost, in particular the grampositive sporulating bacteria.

The mechanisms by which this group of microorganisms exerts antagonism against fungal plant pathogens or plant growth regulation in vitro is not known. Their role in soil and rhizosphere environments remains to be elucidated.

CONCLUSIONS

- Compost from Motzorongo is an excellent soil improver
- Compost is also a good source of biotechnologically important microorganisms with application in agriculture
- These microorganisms can be used as biopesticide inoculants in plant protection

REFERENCES

Crawford D.L. et al .1993. Isolation and characterization of actinomycete antagonists of a fungal root pathogen. Appl. Environ. Microbiol. 59:3889-3905

Crawford D.L. 1996. Use of streptomyces bacteria to control plant pathogens. U.S. Pat No. 5527526

El-Shirbiny S.A. and E.A. Hashem. 1997. Estimation of plant growth regulators produced by some Streptomyces strains an teir effects on growth and productivity of wheat plant. Egyptian Journal of Botanic 37(2): 171-184.

Haug R.T. 1993. The Practical Handbook of Composting Engineering. Lewis. USA

Nakajima M., Itoi K. et al.1991. Hydantocidin: A new compound with herbicidal activity from Streptomyces hygroscopicus. The Journal of antibiotics. 44 (3) : 293-300.

Trejo-Estrada S.R. and Don L. Crawford. 1996 . Characterization of Antimicrobial Compounds Produced by the Biocontrol Agent Streptomyces violaceusniger YCED-9. Abstract and Poster Presentation. Proceedings of the General Meeting. American Society of Microbiology. New Orleans, LA. May, 1996. ASM

Trejo-Estrada S.R. and Don L. Crawford. 1997. In vivo and In vitro Antagonism of the Biocontrol Agent Streptomyces violaceusniger YCED-9 Against Fungal Plant Pathogens of Turfgrass. Presentation . Vll Congreso Nacional de Biotecnologia y Bioingenieria. Septiembre de 1997.

Trejo-Estrada S.R., Paszczynski A. and Don L. Crawford (1998) Antibiotics and Enzymes Produced by the Biocontrol Agent Streptomyces violaceusniger YCED-9. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. 21. 81-90

Trejo-Estrada S.R., Rivas-Sepulveda l. and Don L. Crawford (1998) In vitro and In vivo Antagonism of Streptomyces violaceusniger YCED-9 against Fungal Pathogens of Turfgrass. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 14. 865-872.

Trejo-Estrada S.R. and Rosas-Morales M. 2000. Microbial patterns during the natural composting of sugarcane byproducts. Abstract y poster para el 100th. Meeting of the American Society for Microbiology. Los Angeles, California. May 21-27.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL NEMACID MEDIANTE EL EMPLEO DE TÉCNICAS DE AVANZADA.

CHEMICAL CHARACTERIZATION OF NEMACID BY USING AVANCE TECHNIQUES

Autores: Gómez E., Alvarez R.M., Gastón C., Bermello A. y San Juan A.N.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICIDCA-CUBA-10).Vía Blanca 804 y Carretera Central. P.O. Box 4026, Ciudad de la Habana, Cuba.

Resumen

El **NEMACID** es un producto biológico obtenido a partir de los efluentes de la fermentación del hongo entomopatógeno *Lecanicillium lecanii,* el cuál se emplea para el control de nemátodos del género *Meloidogyne*. El mismo esta compuesto fundamentalmente por proteasas alcalinas, como agente activo, sulfato de amonio y otros compuestos polipeptídicos con propiedades antibióticas, así como ácidos orgánicos y fenólicos. El objetivo del presente trabajo es la caracterización química de este producto mediante el empleo de técnicas de avanzada. Para tal efecto se emplearon técnicas de análisis Térmico las cuales brindan información acerca de la estabilidad térmica, de los materiales así como otros parámetros químico físicos de interés para el escalado y aplicación de los mismos, permitiendo además el estudio de sistemas multicomponentes. Se reportan, también los resultados obtenidos del análisis de espectrometría infraroja (FTIR), medidas en pastillas de KBr, para determinar la absorción correspondiente a las vibraciones de valencia de los diferentes grupos presentes en la muestra.

Palabras claves: enzima, DSC, FTIR

Summary

NEMACID is a biological product obtained from the effluents of the fermentation process of entomopathogenic fungus *Lecanicillium lecanii.* This product is effective against nematode of *Meloidogyne* genera. It is mainly composted for alkaline proteases as active agent, ammonium sulfate, polypeptides compounds with antibiotic properties and organic and phenolic acids. The objective of present paper is the chemical characterization of this product through advanced techniques. To do so, thermal analytic procedures were applied which offer information about thermal stability of products, as well as, other physico-chemical parameters important for the scaling up and other applications. In addition, it allows the study of multicomponent systems. The results obtained from Infrared Spectrometry (FT-IR) in KBr tablets to determine valence vibrations for the different functional groups in the sample.

Key words: enzime, differential scanning calorimetry, Fourier-transformed infrared.

Introducción

El **NEMACID** se obtiene a partir de los efluentes de la fermentación del hongo *Lecanicillium lecanii* y posee probada actividad nematicida (Gómez y otros, 2001, 2002). El producto es un polvo constituido principalmente por proteasas alcalinas (Gómez y otros, 2004), ácidos orgánicos y fenólicos y otros componente polipeptídicos.

En experiencias realizadas para el escalado del producto, detectamos que al calentar el efluente por encima de los 60 ^{0}C ocurría la pérdida de la actividad protolítica del mismo, lo cual debe estar ocasionado por la degradación de las proteínas que lo constituyen.

El proceso de degradación de las proteínas tiene lugar en dos etapas, la primera reversible, corresponde al proceso de desdoblamiento (desnaturalización) y la segunda irreversible conduce a un estado final (degradación), que implica una pérdida total de la actividad de la proteína. Este comportamiento viene descrito por el modelo de Lumry y Eyring, (1954).

$$\mathbf{N} \leftrightarrow \mathbf{U} \longrightarrow \mathbf{F}$$

Donde **N** representa la proteína nativa**, U** el estado desplegado y **F** el estado final. La transición del estado nativo hasta el estado desnaturalizado ha sido estudiado en numerosas proteínas, utilizando como agentes desnaturalizantes urea, clorhidrato de guanidina, incrementos de temperatura, cambios de pH y de la fuerza iónica. (Gekko y Ito, 1990; Charman y otros, 1993 y Funahashi y otros, 1996). La calorimetría diferencial de barrido (DSC) ha sido una de las técnicas que se utiliza con mayor frecuencia en el estudio de la estabilidad térmica de las proteínas, ya que es una de las más potentes para determinar el desplegamiento térmico de las mismas. (Závodszky y otros, 1998; Poklar y otros, 1999; Branchu y otros, 1999; Kulmyrzaev y otros, 2000; Rommele y Gombotz, 2000; Oláh y otros, 2002 y Cueto y otros, 2003). Por otro lado, la espectrometría infraroja con transformada de Fourier (FTIR) nos permite determinar en un compuesto dado los diferentes grupos químicos presentes en el mismo.

El objetivo del presente trabajo ha sido la caracterización química del nematicida **NEMACID**, producto obtenido a partir de los efluentes de la fermentación del hongo *Lecanicillium lecanii*, empleando técnicas de avanzada como la calorimetría diferencial de barrido (DSC) y la espectrometría infrarroja (FTIR).

Materiales y métodos

Producción del NEMACID.

El **NEMACID** es un producto en polvo constituido principalmente por proteasas alcalinas (Gómez, y otros, 2004) y se obtiene a partir de los efluentes de la fermentación del hongo, mediante evaporación y secado en presencia de sulfato de amonio de acuerdo al procedimiento descrito por Gómez y otros. (2002). El mismo es efectivo para el control de nemátodos en cultivos de viandas y hortalizas.

Influencia de la temperatura sobre la actividad enzimática.

Para la determinación del efecto de la temperatura sobre la actividad de las proteasas alcalinas presentes en el producto, se determino la actividad proteolítica mediante el método de Anson modificado (Keay, 1973) a una dilución 1:100 del producto en buffer universal (pH 10).

Estabilidad del NEMACID con el tiempo.

Para los estudios de estabilidad, el **NEMACID** fue envasado en sobres de nylon y almacenados a temperatura ambiente (30^{0}C) y se determinó actividad proteolítica a los siguientes tiempos: 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 meses, tomando en cada caso dos sobres sellados.

Análisis Térmico por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

El análisis térmico del **NEMACID** se realizó en un Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC) TA 4000 Zuizo. Se pesaron 10 mg de **NEMACID** en crisol de aluminio y se evaluaron los termogramas en aire dinámico a una velocidad de calentamiento de 5 ^{0}C/ min en un rango de temperatura de 20 – 80 ^{0}C.

Análisis por Espectometría infrarroja (FTIR).
Para el análisis FTIR de las muestras se empleó el **NEMACID** al 5% resuspendido en agua destilada, extraído con tres fracciones de 30ml de acetato de etilo. Los extractos fueron concentrados a vacío. El espectro en el Infrarrojo medio con transformada de Fourier (FTIR) del extracto se midió en película capilar entre ventanas de KBr, a fin de evitar la presencia de solventes, en el rango de 4000 a 500 cm^{-1}. El espectro se realizó en un espectrómetro FTIR de la Pye Unicam ATI Mattson Genesis Series y se convirtió a unidades de Absorbancia.

Resultados y discusión
El estudio del efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática se muestra en la figura 1, como puede apreciarse estas enzimas mantienen la actividad hasta 60 ^{0}C, el incremento de temperatura por encima de los 65°C produce la pérdida de la actividad de la misma. Resultados similares fueron obtenidos por Den Belder y otros (1994) empleando el hongo ***Paecilomyces lilacinus,*** donde se reporta la pérdida de actividad de las enzimas proteolíticas a temperaturas por encima de 70°C. Además, cabe destacar que la actividad proteolítica del **NEMACID** se mantiene en un rango de 3 - 3.5 mg/g, para una variación de temperatura entre 30 y 60ºC, lo cuál permite temperaturas de almacenamiento superiores a los 30ºC, aspecto importante en los productos empleados en la agricultura urbana.

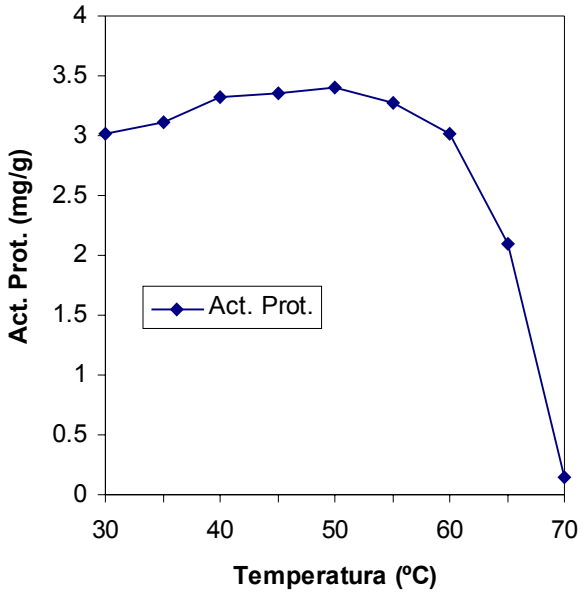


Figura 1. Influencia de la temperatura sobre la actividad proteolítica del NEMACID.

Por otro lado, es necesario tener en cuenta para el almacenamiento del producto, el mantenimiento de su actividad enzimática en el tiempo. Como se aprecia en la figura 2 el **NEMACID** es estable a temperatura ambiente (30ºC) hasta 13 meses, sin pérdidas en su actividad proteolítica.
Estos resultados permiten a los agricultores disponer de un producto estable y efectivo para el control de nemátodos, patógenos permanentes y nocivos que afectan a los cultivos de viandas y hortalizas.

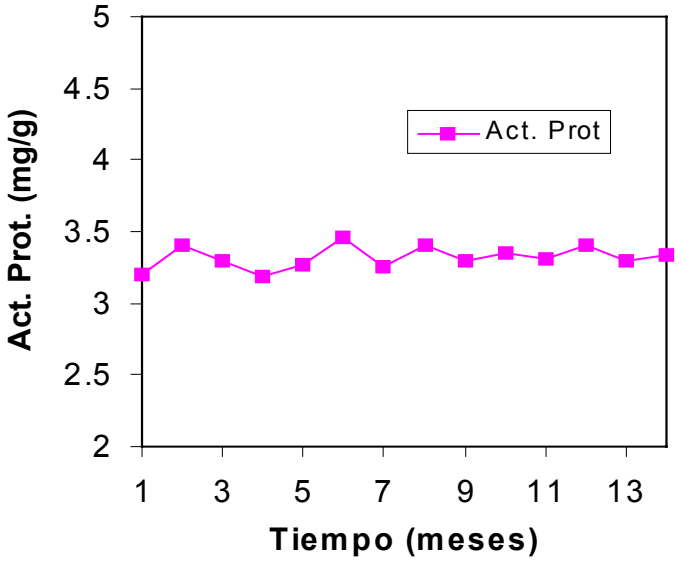


Figura 2. Estabilidad del NEMACID durante el almacenamiento a 30ºC.

El estudio del comportamiento térmico del **NEMACID** se muestra en la figura 3.
Del análisis del termograma podemos ver que las enzimas proteolíticas presentes sufren una transición del estado nativo al desplegado, donde la curva de absorción de calor muestra un solo pico afilado y endotérmico en los 68.7 ^{0}C. La transición endotérmica observada se explica por la ruptura de los enlaces hidrógeno y las pérdidas de las interacciones hidrofóbicas, en las cuáles el agua compite tanto con la cadena principal como con los grupos de las cadenas laterales de la molécula (Branchu, 1999 y Cueto, 2003), lo cual induce un alto grado de cooperatividad en el desplegamiento de las enzimas presentes a temperaturas por encima de los 65 ^{0}C con una entalpía de fusión (Δ H) de 8.8 J/g. Este cambio de estado explica la pérdida de actividad proteolítica detectada a temperaturas superiores a los 60 ^{0}C.
Varios autores han reportado el estudio de la desnaturalización, y degradación de proteínas mediante la aplicación de la técnica de calorimetría diferencial de barrido, empleando diferentes agentes desnaturalizantes, ya que es bien conocido que las mediciones calorimétricas proporcionan un modelo directo e independiente de las entalpías de transición. Los estudios realizados en el proceso de desnaturalización de diferentes enzimas mediante este método reportan temperaturas de desnaturalización entre 60 y 70ºC, coincidiendo con la pérdida de actividad enzimática. (Závodszky y otros,1998 ; Oláh y otros, 2002 y Cueto y otros, 2003).

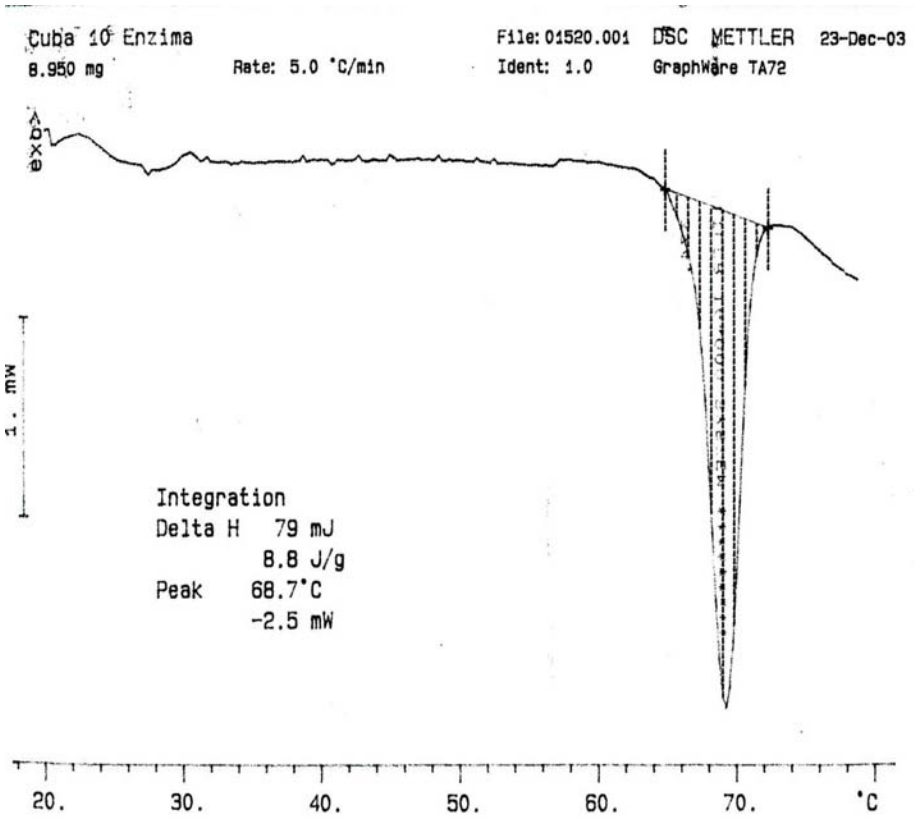


Figura 3. Estabilidad térmica de NEMACID por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

El solapamiento y falta de definición de las bandas en el espectro FTIR de la muestra nos permite afirmar que el extracto obtenido es una mezcla compleja. El espectro FTIR se asignó utilizando el programa ASIR v 2,0 (ICIDCA, 1997), que es un sistema automatizado para la asignación de las absorciones características de los grupos funcionales químicos más relevantes en el espectro Infrarrojo (García y otros, 1996, 1999) y literatura especializada (Colthup, 1975 y Socrates, 1980). El espectro FTIR de una mezcla brinda una visión integral de todos los grupos químicos presentes en la misma, principalmente de los que se encuentran en mayores cantidades. Para la asignación del espectro FTIR de una mezcla, es necesario por tanto, tener en cuenta su probable composición química.

En el extracto que se estudia se han cuantificado por HPLC, Gómez y otros (2002) los siguientes ácidos:

Tabla I. **Composición de Acidos Orgánicos y Fenólicos del NEMACID.**

Äcidos Orgánicos	**Concentración**
Acido Glicólico	8.1580 mg / mL
Acido Cítrico	0.2909 mg / mL
Acidos Fenólicos	**Concentración**
Ac. P-H benzoico	2.632 mg / mL
Ac. Gálico	0.842 mg / mL
Ac. Vainíllico	0.791 mg / mL
Ac. Siringico	0.75 mg / mL
Ald. Protocateico	0.303 mg / mL
Ac. Ferúlico	0.249 mg / mL
Ac. P-Coumárico	0.153 mg / mL
Furfural	0.006 mg / mL

Los cromatogramas presentan una gran cantidad de componentes sin identificar.
En la Tabla II se muestran las asignaciones de las frecuencias de grupo características más importantes del espectro FTIR de la muestra, de acuerdo a la posible composición química de la misma, en la que sólo se consideró la presencia de C, O e H. Cuando se asigna más de un tipo de vibración a una banda, es que todas son igualmente probables y/o pueden estar totalmente superpuestas.
En el espectro se asignan las vibraciones de valencia de los grupos OH acídicos a una banda muy ancha (banda Nr. 2) a causa de la formación de dímeros por puentes de hidrógeno, que se superpone con las vibraciones de valencia de los OH alcohólicos (banda Nr. 1) y los grupos CH_3 y CH_2 (bandas Nrs. 3 - 5).
La presencia de otros componentes en la mezcla no permite apreciar claramente las muy características vibraciones de sobretonos del grupo -COOH, en la región entre los 2700 y los 2200 cm^{-1} (banda Nr. 6), aunque se observan otras vibraciones muy características de ácidos (bandas Nrs. 12 y 15).
La región de la vibración de valencia del grupo carbonilo (-C=O) es muy compleja pues aparece una banda en los 1740 cm^{-1} (banda Nr. 7) de estructura compleja en la que se han superpuesto las absorciones de los grupos carbonilo de ésteres y ácidos saturados e insaturados.
Podemos presumir que en la mezcla, además de los componentes determinados por HPLC tenemos algún éster de los hidroxiácidos alifáticos saturados (bandas Nrs. 7a y 16).
La presencia de compuestos aromáticos se corrobora por la presencia de varias absorciones de grupos aromáticos (bandas Nrs. 8, 10, 11b, 17a y 18).

Tabla II . Asignaciones de las frecuencias de grupo del espectro FTIR del NEMACID

ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO INFRARROJO		
Nr.	ASIGNACIÓN	cm^{-1}
1.	ν O-H alcohol	3447
2.	ν O-H ácido (dímero)	(3000 ± 500)
3.	$\nu_{asim} - CH_3$	2958
4.	$\nu_{asim} - CH_2$	2926
5.	$\nu_{sim} - CH_3$	2874
6.	Sobretonos del grupo COOH	(2700-2200)
7.	a. ν C=O éster alifático saturado	1740
	b. ν C=O ácido carboxílico saturado	
	c. ν C=O ácido aromático	
8.	ν C=C grupo aromático	1617
9.	$\nu_{asim} - COO^-$ sal de ácido carboxílico	1559
10.	ν C=C grupo aromático	1515
11.	a. $\delta - CH_2$	1457
	b. ν C=C grupo aromático	
12.	δ OH + ν_{asim} HO-C-C ácido	1426
13.	a. δ H-O-CH_2 alcohol	1372
	b. $\delta_{sim} - CH_3$	
14.	$\nu_{sim} - COO^-$ sal de ácido carboxílico	1343
15.	ν_{asim} HO-C-C ácido + δ OH	1229
16.	ν_{sim} C-O-C éster alifático saturado	1091
17.	a. γ =C-H grupo aromático	930
	b. δ H-O ácido carboxílico saturado	
18.	Vibración esqueletal C-C grupo aromático	795
Claves: ν: Vibración de valencia del enlace δ: Vibración de doblaje en el plano del grupo funcional *asim*: asimétrico *sim*: simétrico		

Conclusiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que:

El **NEMACID** es estable a temperatura ambiente hasta un año, y las enzimas proteolíticas presentes en el mismo pierden su actividad enzimática a temperaturas superiores a los 60 ^{0}C.

El análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido (DSC) mostró que las enzimas proteolíticas presentes en el producto sufren una transición de primer orden (fusión de la proteína) con un pico endotérmico en los 68.7 ^{0}C, lo que corrobora la pérdida de su actividad. Por otro lado, el estudio por FTIR mostró que el **NEMACID** es una mezcla compleja con presencia de ácidos orgánicos saturados e insaturados, ésteres y compuestos aromáticos.

Referencias.

1.- Charman, S.A., Mason, K.L., Charman, W.N. (1993), Pharm. Res. 10, 954.

2.- Colthup, N. B., Daly, L. H., Wiberley, S. E. (1975), "Introduction to Infrared and Raman

Spectroscopy", Academic Press, New York.
3.- Cueto, M., Dorta, J.M., Munguía, O., Llabrés, M. (2003), VI Congreso de la Sociedad Española de Farmacia Industrial y Galénica SEFIG. 3ra Jornada de T.F AEFI. Libro de Comunicaciones Granada, Edición Comors, SL, ISBN 84-699-9328-3.
4.- Den Belder, E., Bonants, P.J., Fitters, P.F., Waalwijk, C. (1994), Patent WO 94/25579.
5.- Funahashi, J., Takamo, K., Ogosahara, K., Yamagata, Y., Yutani, K. (1996), J. Biochem 120, 1216.
6.- García, J. A., Bermello, A. (1996), Revista CIENCIA (Venezuela) 4, No. 2.
7.- García, J. A., Bermello, A. (1999), Tomo LVI, 484, 349 – 359.
8.- Gómez, E., Alvarez, R.M., San Juan, A.N., Zayas, M.A., Hernández, Y., Lemes, T., Croche, G., Cruz, X. (2001), Revista Terralia 24, 30-31.
9.- Gómez, E., Alvarez, R.M., San Juan, A.N., Zayas, M. A., Fraga, R., Cruz, X., Hernández, J., Lemes, T., Reyes, I., Croche, G. (2002), VII Congreso Internacional sobre Azúcar y derivados de la Caña. Ciudad de la Habana, Tomo1, 121-123.
10.- Gómez, E., Alvarez, R.M., Zayas, M.A., Cruz, X., Hernández, Y., Lemes, T., San Juan, A.N., Fraga, R., Fernández, I., Croche, G. (2002), Patente Cubana, No. Solicitud 2002-0312.
11.- Gómez, E., Alvarez R.M., Fraga, R., Reyes, I., Hernández, Y., Lemes , T., San Juan, A. N. (2004), Biotecnología Aplicada 21,(2).
12.- Gekko, K. , Ito, H. (1990), J. Biochem 107, 572.
13.- ICIDCA (1997), Programa ASIR v 2.0.
14.- Keay, L. (1973), Production and isolation of microbial protease. Enzyme engineerin. Mac. Nillan. New York, pp. 63.
15.- Lumrz, R., Eyring, H. (1954), J. Phys Chem 58, 110.
16.- Oláh. J., Orosz, F., Kesere✧, G. M., Kovári, Z., Kovács, J., Hollán, S., Ovádi, J. (2002), Biochem. Soc. Trans 30, 30-38.
17.- Poklar, N., Petrovcic, N., Oblak, M., Veznaver, G. (1999), Protein Scence 8, 832-840.
18.- Socrates, G. (1980), "Infrared Characteristic Group Frequencies", John Wiley and Sons, New York.
19.- Závodszky, P., Kardos, J., Svingor, A., Petsko, G.A. (1998), Proc Natl. Acad. Sci USA 95, 7406-7411.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL NEMACID MEDIANTE EL EMPLEO DE TÉCNICAS DE AVANZADA.

CHEMICAL CHARACTERIZATION OF NEMACID BY USING AVANCE TECHNIQUES

Autores: Gómez E., Alvarez R.M., Gastón C., Bermello A. y San Juan A.N.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICIDCA-CUBA-10).Vía Blanca 804 y Carretera Central. P.O. Box 4026, Ciudad de la Habana, Cuba.

Resumen

El **NEMACID** es un producto biológico obtenido a partir de los efluentes de la fermentación del hongo entomopatógeno *Lecanicillium lecanii,* el cuál se emplea para el control de nemátodos del género *Meloidogyne*. El mismo esta compuesto fundamentalmente por proteasas alcalinas, como agente activo, sulfato de amonio y otros compuestos polipeptídicos con propiedades antibióticas, así como ácidos orgánicos y fenólicos. El objetivo del presente trabajo es la caracterización química de este producto mediante el empleo de técnicas de avanzada. Para tal efecto se emplearon técnicas de análisis Térmico las cuales brindan información acerca de la estabilidad térmica, de los materiales así como otros parámetros químico físicos de interés para el escalado y aplicación de los mismos, permitiendo además el estudio de sistemas multicomponentes. Se reportan, también los resultados obtenidos del análisis de espectrometría infraroja (FTIR), medidas en pastillas de KBr, para determinar la absorción correspondiente a las vibraciones de valencia de los diferentes grupos presentes en la muestra.

Palabras claves: enzima, DSC, FTIR

Summary

NEMACID is a biological product obtained from the effluents of the fermentation process of entomopathogenic fungus *Lecanicillium lecanii.* This product is effective against nematode of *Meloidogyne* genera. It is mainly composted for alkaline proteases as active agent, ammonium sulfate, polypeptides compounds with antibiotic properties and organic and phenolic acids. The objective of present paper is the chemical characterization of this product through advanced techniques. To do so, thermal analytic procedures were applied which offer information about thermal stability of products, as well as, other physico-chemical parameters important for the scaling up and other applications. In addition, it allows the study of multicomponent systems. The results obtained from Infrared Spectrometry (FT-IR) in KBr tablets to determine valence vibrations for the different functional groups in the sample.

Key words: enzime, differential scanning calorimetry, Fourier-transformed infrared.

Introducción

El **NEMACID** se obtiene a partir de los efluentes de la fermentación del hongo *Lecanicillium lecanii* y posee probada actividad nematicida (Gómez y otros, 2001, 2002). El producto es un polvo constituido principalmente por proteasas alcalinas (Gómez y otros, 2004), ácidos orgánicos y fenólicos y otros componente polipeptídicos.

En experiencias realizadas para el escalado del producto, detectamos que al calentar el efluente por encima de los 60 ^{0}C ocurría la pérdida de la actividad protolítica del mismo, lo cual debe estar ocasionado por la degradación de las proteínas que lo constituyen.

El proceso de degradación de las proteínas tiene lugar en dos etapas, la primera reversible, corresponde al proceso de desdoblamiento (desnaturalización) y la segunda irreversible conduce a un estado final (degradación), que implica una pérdida total de la actividad de la proteína. Este comportamiento viene descrito por el modelo de Lumry y Eyring, (1954).

$$\mathbf{N} \leftrightarrow \mathbf{U} \longrightarrow \mathbf{F}$$

Donde **N** representa la proteína nativa**, U** el estado desplegado y **F** el estado final. La transición del estado nativo hasta el estado desnaturalizado ha sido estudiado en numerosas proteínas, utilizando como agentes desnaturalizantes urea, clorhidrato de guanidina, incrementos de temperatura, cambios de pH y de la fuerza iónica. (Gekko y Ito, 1990; Charman y otros, 1993 y Funahashi y otros, 1996). La calorimetría diferencial de barrido (DSC) ha sido una de las técnicas que se utiliza con mayor frecuencia en el estudio de la estabilidad térmica de las proteínas, ya que es una de las más potentes para determinar el desplegamiento térmico de las mismas. (Závodszky y otros, 1998; Poklar y otros, 1999; Branchu y otros, 1999; Kulmyrzaev y otros, 2000; Rommele y Gombotz, 2000; Oláh y otros, 2002 y Cueto y otros, 2003). Por otro lado, la espectrometría infraroja con transformada de Fourier (FTIR) nos permite determinar en un compuesto dado los diferentes grupos químicos presentes en el mismo.

El objetivo del presente trabajo ha sido la caracterización química del nematicida **NEMACID**, producto obtenido a partir de los efluentes de la fermentación del hongo *Lecanicillium lecanii*, empleando técnicas de avanzada como la calorimetría diferencial de barrido (DSC) y la espectrometría infrarroja (FTIR).

Materiales y métodos

Producción del NEMACID.

El **NEMACID** es un producto en polvo constituido principalmente por proteasas alcalinas (Gómez, y otros, 2004) y se obtiene a partir de los efluentes de la fermentación del hongo, mediante evaporación y secado en presencia de sulfato de amonio de acuerdo al procedimiento descrito por Gómez y otros. (2002). El mismo es efectivo para el control de nemátodos en cultivos de viandas y hortalizas.

Influencia de la temperatura sobre la actividad enzimática.

Para la determinación del efecto de la temperatura sobre la actividad de las proteasas alcalinas presentes en el producto, se determino la actividad proteolítica mediante el método de Anson modificado (Keay, 1973) a una dilución 1:100 del producto en buffer universal (pH 10).

Estabilidad del NEMACID con el tiempo.

Para los estudios de estabilidad, el **NEMACID** fue envasado en sobres de nylon y almacenados a temperatura ambiente (30^{0}C) y se determinó actividad proteolítica a los siguientes tiempos: 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 meses, tomando en cada caso dos sobres sellados.

Análisis Térmico por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

El análisis térmico del **NEMACID** se realizó en un Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC) TA 4000 Zuizo. Se pesaron 10 mg de **NEMACID** en crisol de aluminio y se evaluaron los termogramas en aire dinámico a una velocidad de calentamiento de 5 ^{0}C/ min en un rango de temperatura de 20 – 80 ^{0}C.

Análisis por Espectometría infrarroja (FTIR).
Para el análisis FTIR de las muestras se empleó el **NEMACID** al 5% resuspendido en agua destilada, extraído con tres fracciones de 30ml de acetato de etilo. Los extractos fueron concentrados a vacío. El espectro en el Infrarrojo medio con transformada de Fourier (FTIR) del extracto se midió en película capilar entre ventanas de KBr, a fin de evitar la presencia de solventes, en el rango de 4000 a 500 cm^{-1}. El espectro se realizó en un espectrómetro FTIR de la Pye Unicam ATI Mattson Genesis Series y se convirtió a unidades de Absorbancia.

Resultados y discusión
El estudio del efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática se muestra en la figura 1, como puede apreciarse estas enzimas mantienen la actividad hasta 60 ^{0}C, el incremento de temperatura por encima de los 65°C produce la pérdida de la actividad de la misma. Resultados similares fueron obtenidos por Den Belder y otros (1994) empleando el hongo ***Paecilomyces lilacinus,*** donde se reporta la pérdida de actividad de las enzimas proteolíticas a temperaturas por encima de 70°C. Además, cabe destacar que la actividad proteolítica del **NEMACID** se mantiene en un rango de 3 - 3.5 mg/g, para una variación de temperatura entre 30 y 60ºC, lo cuál permite temperaturas de almacenamiento superiores a los 30ºC, aspecto importante en los productos empleados en la agricultura urbana.

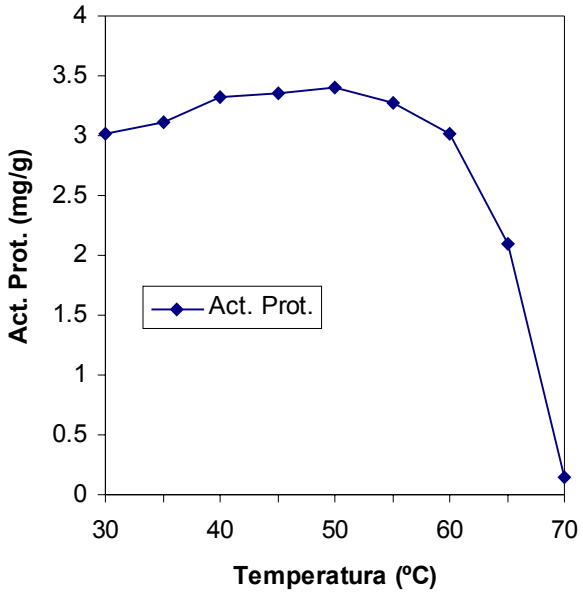


Figura 1. Influencia de la temperatura sobre la actividad proteolítica del NEMACID.

Por otro lado, es necesario tener en cuenta para el almacenamiento del producto, el mantenimiento de su actividad enzimática en el tiempo. Como se aprecia en la figura 2 el **NEMACID** es estable a temperatura ambiente (30ºC) hasta 13 meses, sin pérdidas en su actividad proteolítica.
Estos resultados permiten a los agricultores disponer de un producto estable y efectivo para el control de nemátodos, patógenos permanentes y nocivos que afectan a los cultivos de viandas y hortalizas.

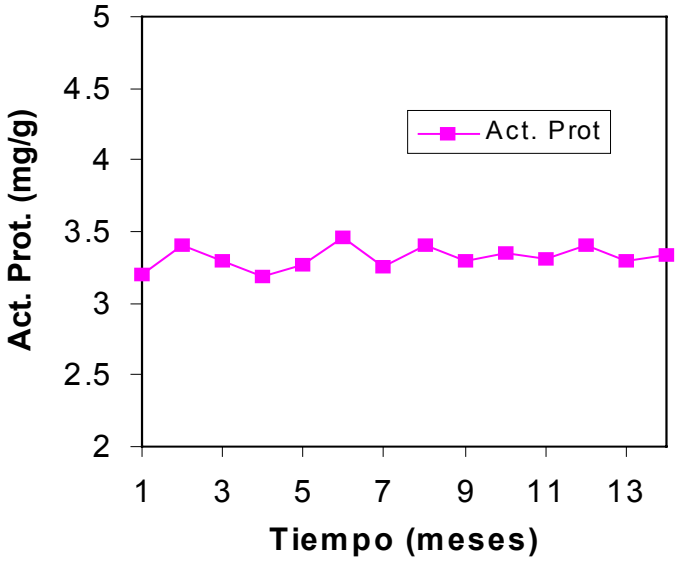


Figura 2. Estabilidad del NEMACID durante el almacenamiento a 30ºC.

El estudio del comportamiento térmico del **NEMACID** se muestra en la figura 3.
Del análisis del termograma podemos ver que las enzimas proteolíticas presentes sufren una transición del estado nativo al desplegado, donde la curva de absorción de calor muestra un solo pico afilado y endotérmico en los 68.7 ^{0}C. La transición endotérmica observada se explica por la ruptura de los enlaces hidrógeno y las pérdidas de las interacciones hidrofóbicas, en las cuáles el agua compite tanto con la cadena principal como con los grupos de las cadenas laterales de la molécula (Branchu, 1999 y Cueto, 2003), lo cual induce un alto grado de cooperatividad en el desplegamiento de las enzimas presentes a temperaturas por encima de los 65 ^{0}C con una entalpía de fusión (Δ H) de 8.8 J/g. Este cambio de estado explica la pérdida de actividad proteolítica detectada a temperaturas superiores a los 60 ^{0}C.
Varios autores han reportado el estudio de la desnaturalización, y degradación de proteínas mediante la aplicación de la técnica de calorimetría diferencial de barrido, empleando diferentes agentes desnaturalizantes, ya que es bien conocido que las mediciones calorimétricas proporcionan un modelo directo e independiente de las entalpías de transición. Los estudios realizados en el proceso de desnaturalización de diferentes enzimas mediante este método reportan temperaturas de desnaturalización entre 60 y 70ºC, coincidiendo con la pérdida de actividad enzimática. (Závodszky y otros,1998 ; Oláh y otros, 2002 y Cueto y otros, 2003).

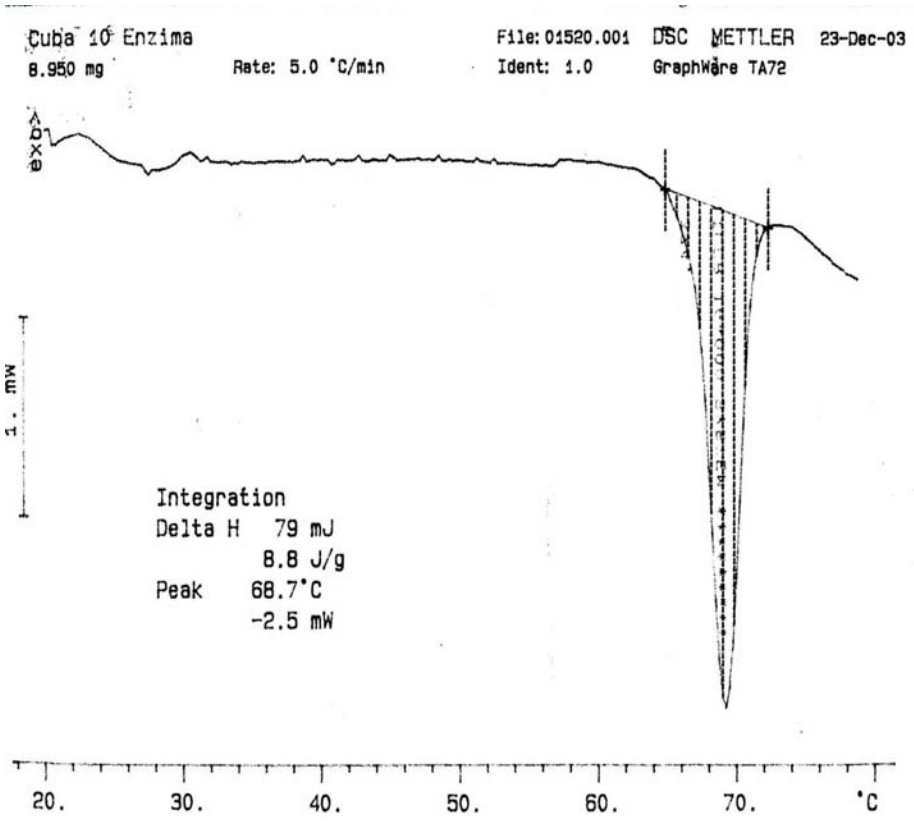


Figura 3. Estabilidad térmica de NEMACID por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

El solapamiento y falta de definición de las bandas en el espectro FTIR de la muestra nos permite afirmar que el extracto obtenido es una mezcla compleja. El espectro FTIR se asignó utilizando el programa ASIR v 2,0 (ICIDCA, 1997), que es un sistema automatizado para la asignación de las absorciones características de los grupos funcionales químicos más relevantes en el espectro Infrarrojo (García y otros, 1996, 1999) y literatura especializada (Colthup, 1975 y Socrates, 1980). El espectro FTIR de una mezcla brinda una visión integral de todos los grupos químicos presentes en la misma, principalmente de los que se encuentran en mayores cantidades. Para la asignación del espectro FTIR de una mezcla, es necesario por tanto, tener en cuenta su probable composición química.

En el extracto que se estudia se han cuantificado por HPLC, Gómez y otros (2002) los siguientes ácidos:

Tabla I. **Composición de Acidos Orgánicos y Fenólicos del NEMACID.**

Äcidos Orgánicos	**Concentración**
Acido Glicólico	8.1580 mg / mL
Acido Cítrico	0.2909 mg / mL
Acidos Fenólicos	**Concentración**
Ac. P-H benzoico	2.632 mg / mL
Ac. Gálico	0.842 mg / mL
Ac. Vainíllico	0.791 mg / mL
Ac. Siringico	0.75 mg / mL
Ald. Protocateico	0.303 mg / mL
Ac. Ferúlico	0.249 mg / mL
Ac. P-Coumárico	0.153 mg / mL
Furfural	0.006 mg / mL

Los cromatogramas presentan una gran cantidad de componentes sin identificar.
En la Tabla II se muestran las asignaciones de las frecuencias de grupo características más importantes del espectro FTIR de la muestra, de acuerdo a la posible composición química de la misma, en la que sólo se consideró la presencia de C, O e H. Cuando se asigna más de un tipo de vibración a una banda, es que todas son igualmente probables y/o pueden estar totalmente superpuestas.
En el espectro se asignan las vibraciones de valencia de los grupos OH acídicos a una banda muy ancha (banda Nr. 2) a causa de la formación de dímeros por puentes de hidrógeno, que se superpone con las vibraciones de valencia de los OH alcohólicos (banda Nr. 1) y los grupos CH_3 y CH_2 (bandas Nrs. 3 - 5).
La presencia de otros componentes en la mezcla no permite apreciar claramente las muy características vibraciones de sobretonos del grupo -COOH, en la región entre los 2700 y los 2200 cm^{-1} (banda Nr. 6), aunque se observan otras vibraciones muy características de ácidos (bandas Nrs. 12 y 15).
La región de la vibración de valencia del grupo carbonilo (-C=O) es muy compleja pues aparece una banda en los 1740 cm^{-1} (banda Nr. 7) de estructura compleja en la que se han superpuesto las absorciones de los grupos carbonilo de ésteres y ácidos saturados e insaturados.
Podemos presumir que en la mezcla, además de los componentes determinados por HPLC tenemos algún éster de los hidroxiácidos alifáticos saturados (bandas Nrs. 7a y 16).
La presencia de compuestos aromáticos se corrobora por la presencia de varias absorciones de grupos aromáticos (bandas Nrs. 8, 10, 11b, 17a y 18).

Tabla II . Asignaciones de las frecuencias de grupo del espectro FTIR del NEMACID

ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO INFRARROJO		
Nr.	ASIGNACIÓN	cm^{-1}
1.	ν O-H alcohol	3447
2.	ν O-H ácido (dímero)	(3000 ± 500)
3.	$\nu_{asim} - CH_3$	2958
4.	$\nu_{asim} - CH_2$	2926
5.	$\nu_{sim} - CH_3$	2874
6.	Sobretonos del grupo COOH	(2700-2200)
7.	a. ν C=O éster alifático saturado	1740
	b. ν C=O ácido carboxílico saturado	
	c. ν C=O ácido aromático	
8.	ν C=C grupo aromático	1617
9.	$\nu_{asim} - COO^-$ sal de ácido carboxílico	1559
10.	ν C=C grupo aromático	1515
11.	a. $\delta - CH_2$	1457
	b. ν C=C grupo aromático	
12.	δ OH + ν_{asim} HO-C-C ácido	1426
13.	a. δ H-O-CH_2 alcohol	1372
	b. $\delta_{sim} - CH_3$	
14.	$\nu_{sim} - COO^-$ sal de ácido carboxílico	1343
15.	ν_{asim} HO-C-C ácido + δ OH	1229
16.	ν_{sim} C-O-C éster alifático saturado	1091
17.	a. γ =C-H grupo aromático	930
	b. δ H-O ácido carboxílico saturado	
18.	Vibración esqueletal C-C grupo aromático	795
Claves: ν: Vibración de valencia del enlace δ: Vibración de doblaje en el plano del grupo funcional *asim*: asimétrico *sim*: simétrico		

Conclusiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que:

El **NEMACID** es estable a temperatura ambiente hasta un año, y las enzimas proteolíticas presentes en el mismo pierden su actividad enzimática a temperaturas superiores a los 60 ^{0}C.

El análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido (DSC) mostró que las enzimas proteolíticas presentes en el producto sufren una transición de primer orden (fusión de la proteína) con un pico endotérmico en los 68.7 ^{0}C, lo que corrobora la pérdida de su actividad. Por otro lado, el estudio por FTIR mostró que el **NEMACID** es una mezcla compleja con presencia de ácidos orgánicos saturados e insaturados, ésteres y compuestos aromáticos.

Referencias.

1.- Charman, S.A., Mason, K.L., Charman, W.N. (1993), Pharm. Res. 10, 954.

2.- Colthup, N. B., Daly, L. H., Wiberley, S. E. (1975), "Introduction to Infrared and Raman

Spectroscopy", Academic Press, New York.
3.- Cueto, M., Dorta, J.M., Munguía, O., Llabrés, M. (2003), VI Congreso de la Sociedad Española de Farmacia Industrial y Galénica SEFIG. 3ra Jornada de T.F AEFI. Libro de Comunicaciones Granada, Edición Comors, SL, ISBN 84-699-9328-3.
4.- Den Belder, E., Bonants, P.J., Fitters, P.F., Waalwijk, C. (1994), Patent WO 94/25579.
5.- Funahashi, J., Takamo, K., Ogosahara, K., Yamagata, Y., Yutani, K. (1996), J. Biochem 120, 1216.
6.- García, J. A., Bermello, A. (1996), Revista CIENCIA (Venezuela) 4, No. 2.
7.- García, J. A., Bermello, A. (1999), Tomo LVI, 484, 349 – 359.
8.- Gómez, E., Alvarez, R.M., San Juan, A.N., Zayas, M.A., Hernández, Y., Lemes, T., Croche, G., Cruz, X. (2001), Revista Terralia 24, 30-31.
9.- Gómez, E., Alvarez, R.M., San Juan, A.N., Zayas, M. A., Fraga, R., Cruz, X., Hernández, J., Lemes, T., Reyes, I., Croche, G. (2002), VII Congreso Internacional sobre Azúcar y derivados de la Caña. Ciudad de la Habana, Tomo1, 121-123.
10.- Gómez, E., Alvarez, R.M., Zayas, M.A., Cruz, X., Hernández, Y., Lemes, T., San Juan, A.N., Fraga, R., Fernández, I., Croche, G. (2002), Patente Cubana, No. Solicitud 2002-0312.
11.- Gómez, E., Alvarez R.M., Fraga, R., Reyes, I., Hernández, Y., Lemes , T., San Juan, A. N. (2004), Biotecnología Aplicada 21,(2).
12.- Gekko, K. , Ito, H. (1990), J. Biochem 107, 572.
13.- ICIDCA (1997), Programa ASIR v 2.0.
14.- Keay, L. (1973), Production and isolation of microbial protease. Enzyme engineerin. Mac. Nillan. New York, pp. 63.
15.- Lumrz, R., Eyring, H. (1954), J. Phys Chem 58, 110.
16.- Oláh. J., Orosz, F., Kesere✧, G. M., Kovári, Z., Kovács, J., Hollán, S., Ovádi, J. (2002), Biochem. Soc. Trans 30, 30-38.
17.- Poklar, N., Petrovcic, N., Oblak, M., Veznaver, G. (1999), Protein Scence 8, 832-840.
18.- Socrates, G. (1980), "Infrared Characteristic Group Frequencies", John Wiley and Sons, New York.
19.- Závodszky, P., Kardos, J., Svingor, A., Petsko, G.A. (1998), Proc Natl. Acad. Sci USA 95, 7406-7411.

OTROS TRABAJOS

A PRODUÇÃO AGRÍCOLA CANAVIEIRA PAULISTA: DIAGNÓSTICO SÓCIO-AMBIENTAL E PROPOSTAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL REGIONAL

Francisco José da Costa Alves[1]
Maria Rita Pontes Assumpção[2]
Vívian Karina Bianchini[3]

[2] Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção – Rod. Washington Luís, km 235.
CEP 13565-905 São Carlos – SP Tel: (16)2608236
E-mail: *dfca@power.ufscar.br*
[2] Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção – Rod. Washington Luís, km 235.
CEP 13565-905 São Carlos – SP Tel: (16)2608236
E-mail: *dmrp@power.ufscar.br*
[3] Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção – Rod. Washington Luís, km 235.
CEP 13565-905 São Carlos – SP Tel: (16)2608236
E-mail: *vivian@dep.ufscar.br*

RESUMO

A busca pelo desenvolvimento sustentável gera a necessidade de adoção de políticas públicas, as quais são estruturadas em diferenciais ideológicos, econômicos e técnicos para a implementação de medidas que o assegure. Este trabalho teve por objetivo diagnósticar o Complexo Agroindustrial Canavieiro da Bacia Hidrográfica do rio Mogi-Guaçú, interior de São Paulo, no Brasil, visando a composição de um quadro geral da situação tecnológica do complexo frente aos novos desafios econômicos e ambientais revelados nos últimos anos, com o objetivo de apontar as tendências e ao final formular um conjunto de pré-propostas de políticas orientadas para o desenvolvimento sustentável.

Palavras Chave: políticas públicas, desenvolvimento sustentável, cana-de-açúcar.

1. INTRODUÇÃO

A saída do Estado da regulamentação do setor e a abertura comercial brasileira são os elementos essenciais para a adoção de diferentes estratégias de concorrência pelas empresas do setor sucroalcooleiro. A saída do Estado tornou as relações no interior do complexo totalmente privadas. O governo não interfere mais na fixação dos preços da cana e nem nos preços internos ou de exportação do açúcar e do álcool. Isto somado à extinção do IAA fez com que as relações entre fornecedores de cana e usineiro tornassem-se inteiramente dependentes do poder de barganha de cada um dos atores. Como existe um grande número de fornecedores e um pequeno número de usinas, caracterizando um mercado de características oligopolistas e oligopsônicas, há um maior poder de barganha das usinas e destilarias. Vale acrescentar, que esta redução do poder de barganha entre usinas e fornecedores é uma marca registrada do complexo no Brasil, devido ao processo histórico de verticalização para trás. As usinas compram dos fornecedores apenas uma parte da cana, num limite, fixado por legislação federal, em até 40% de cana própria e de 60% de cana de terceiros. Porém, estes limites nunca foram totalmente respeitados, principalmente na Região de Ribeirão Preto. Além disto, as destilarias autônomas criadas na segunda fase do Próalcool estavam livres desta restrição e podiam processar até 100% de cana própria. A forma mais comum de burla a esta limitação está nos chamados fornecedores de papel, os quais, na prática, são arrendatários das usinas, pois estas realizam todo o processo de produção de cana, do preparo do solo à colheita.

A verticalização e a existência de um mercado oligopsônico fez com que poder de barganha dos fornecedores fossem bem diminutos frente às usinas. A saída do Estado e a extinção do IAA serão os pontos culminantes de uma ruptura bastante acentuada entre fornecedores de cana e usinas, principalmente, mas não exclusivamente, nos momentos de queda dos preços da cana. Vale chamar atenção, para o fato desta crise da relação entre usinas X fornecedores de cana ser mais acentuada em determinadas regiões do Estado do que em outras. Na Região da Bacia Hidrográfica do Mogi-Guaçu esta crise parece mais evidente do que na Região da Bacia Hidrográfica do Piracicaba/Médio Tietê. Esta diferença na aparência da crise entre as duas regiões pode estar ligada à crise mais acentuada do complexo como um todo na Região da BHP do que na Região da BHM-G. Isto porque a Região de Piracicaba, na atual reestruturação produtiva porque passa o complexo canavieiro, que veremos a seguir, corre o risco de ter sua principal atividade agroindustrial extinta, em médio prazo. Frente a uma ameaça desta magnitude a todo o complexo regional, há uma tendência maior a união do conjunto dos atores em defesa de sua permanência, do que em outras regiões, onde não há uma ameaça ao complexo como um todo, a crise é de relação entre os atores sociais individuais e coletivos, o que abre espaço para crises intracomplexo.

A saída do Estado e a abertura econômica do Brasil provocaram uma mudança significativa no interior do complexo. Internamente, as empresas do setor passam a competir mais acirradamente entre si do que ocorria antes, quando o Estado administrava preços (cana, açúcar e álcool). Se antes a concorrência entre as usinas se dava pelo fornecimento de cana, ou por terra, ou até por favores especiais junto ao governo, hoje a concorrência internaliza-se entre usinas, que passam a concorrer por mercado, em capacidade de produção a custos mais baixos e em capacidade de produção de produtos diferenciados, para atingir nichos específicos de mercado, ou para produzir produtos, ou bases completas de produção, para outras indústrias do segmento da cadeia alimentar e de bebidas. Este segmento; alimentos e bebidas; sofre uma grande mudança provocada pela abertura comercial, que provoca a instalação no Brasil de filiais de grandes empresas ou grupos transnacionais.

A vinda destas empresas para o Brasil está provocando uma nova articulação de capitais no complexo canavieiro, onde começa a ocorrer alianças estratégicas entre estas empresas e grupos econômicos atuantes no complexo, ou mesmo compra de usinas por estas empresas transnacionais. Estas alianças se dão para garantir o fornecimento de novos produtos para estas indústrias (açúcar líquido, açúcar invertido, ácido cítrico etc.) e as fusões ou compras se dão para garantir bases mais sólidas para o processo produtivo destas empresas no Brasil (ASSUMPÇÃO, 2001).

Outra mudança estratégica significativa é o fato das empresas do complexo, embora tenham acirrado a concorrência entre si estão conseguindo firmar alianças políticas e atuações coordenadas em vários campos, desde a comercialização conjunta de produtos, até a atuação política unificada em torno da ÚNICA. Esta entidade passa a ter no Estado de São Paulo um papel chave na condução política do complexo e na articulação e reivindicação deste junto ao Estado e junto à sociedade civil.

Outra estratégia importante adotada pelas usinas é a de terceirização. Muitas atividades têm sido terceirizadas, viabilizadas pelo surgimento de empresas especializadas na prestação de determinados serviços. Porém, a terceirização adotada no Brasil e especificamente no complexo canavieiro tem redundado em redução dos custos, que acaba

recaindo sobre a redução de direitos trabalhistas dos trabalhadores e aumento do risco à população através da redução dos cuidados no manuseio de determinados produtos, tendo em vista a necessidade de redução de custos que acompanha este processo.

A transição por que passa a atividade canavieira, em decorrência da desregulamentação e abertura comercial, ocorre num período em que o complexo, ou uma parte importante dele, encontra-se fragilizado por quatro motivos principais:

- · Tendência à queda dos preços mundiais das commoditys e fundamentalmente as de base agrícola e agroindustrial;
- · Crise provocada pelo fim do próalcool e dos subsídios diretos que o acompanhavam;
- · Crise que se abateu sobre toda a economia e em especial a agricultura e agroindústria provocada pelas elevadas taxas de juros e pela política cambial;
- · Indefinição ou inexistência de política industrial e especificamente a da matriz energética

Em decorrência de a concorrência ter se transferido para o interior do complexo, as usinas buscam eficiência para adequarem-se neste novo quadro de atuação desregulamentada, no qual elas gradativamente deixam de ser a unidade chave do complexo e esta passa a ser transferida para as filiais das transnacionais aqui instaladas. Neste novo quadro a redução de custos, é o elemento chave de toda a cadeia de produção. Redução esta totalmente inserida no novo paradigma de produção enxuta.

Neste novo paradigma destacam-se:

- · adoção de inovações nos sistemas logísticos para transferência da cana-de-açúcar do campo;
- · mecanização do plantio e do corte da cana crua;
- · automação no controle de processos de produção industrial;
- · busca de uniformidade do produto, principalmente na produção do açúcar com qualidade;
- · aumento da produtividade agrícola medida agora em quantidade de sacarose por hectare;
- · aumento da produtividade industrial da capacidade instalada;
- · contínua diferenciação de produtos (açúcar líquido, açúcar invertido, açúcar natural, produtos certificados, ácido cítrico, leveduras, rações, energia elétrica etc.) ;
- · mudanças empreendidas nas formas de gestão, voltadas a processos ao invés de serem pautadas em estruturas funcionais, com integração das áreas agrícola, industrial e comercial;
- · alteração nas relações à montante e à jusante, implicando em perdas aos atores sociais com menor poder de barganha.

Estas transformações deixam claro que a estratégia adotada no setor aponta para uma mudança na lógica de acumulação que deixa de ser extensiva, na qual o aumento da produção dependia do aumento da área plantada, do emprego e da produtividade (cana/ha.), para uma lógica de acumulação intensiva com aumento de produtividade (sacarose/ha.), redução da área plantada, redução do emprego, exclusão de fornecedores, e redução da produção de açúcar e álcool e aumento da produção diferenciada (açúcar líquido, açúcar invertido, açúcar orgânico, ácido cítrico, energia etc.).

A exclusão de fornecedores e a redução de trabalhadores empregados, tanto na parte agrícola, quanto industrial, estão sendo potencializadas pela rápida mecanização do plantio e do corte de cana crua e da automação industrial, que tem reduzido a quantidade de trabalhadores

empregados, ao mesmo tempo em que excluem áreas de produção de maior declividade, irregularidade, parcelada e menor produtividade.

Estimativas mais pessimistas mostram que a reestruturação do sistema produtivo da cana-de-açúcar tenderá a eliminar em torno de 30 a 40% da área total hoje plantada com esta cultura nas regiões mais tradicionais e com maior declividade. Há no complexo uma possibilidade da cana sair de regiões tradicionalmente produtoras, principalmente a Região de Piracicaba, e transferir-se para novas áreas de menor preço da terra, mais plana e com possibilidade de irrigação. Caso estas mudanças se verifiquem (redução e adensamento da área, transferência de usinas para outras Regiões), haverá um grande impacto em cadeia sobre os pequenos e médios fornecedores, sobre a economia Regional e sobre as Prefeituras Municipais que, em última instância, recebem os ônus sociais destes efeitos e, principalmente, sobre os trabalhadores assalariados rurais, safristas, que perderão seus postos de trabalho e detêm menor poder de barganha no complexo.

2. DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI-GUAÇÚ

A produção agrícola da cana-de-açúcar na Bacia Hidrográfica estendida do Rio Mogi-Guaçú ocupa hoje 629.929 ha, distribuídos em 54 dos seus 57 municípios (36 totalmente inclusos na Bacia). Por tratar-se de uma cultura que ocupa um mesmo local por pelo menos cinco anos, e pelas características monocultural e extensiva da atividade, o cultivo da cana-de-açúcar tornou-se uma atividade complexa, seletiva do ponto de vista econômico e geográfico, e extremamente dependente do uso de tecnologias voltadas a máxima exploração dos fatores de produção. Ao se considerar também as diferentes características econômicas, naturais, culturais e tecnológicas das diversas unidades produtoras, o complexo canavieiro regional pode ser considerado heterogêneo, onde convivem unidades em que todas as operações agrícolas encontram-se mecanizadas, com unidades onde as operações são apenas parcialmente mecanizadas, bem como unidades com um ótimo desempenho econômico, com unidades praticamente falidas.

Além desta heterogeneidade, e do fato de durante todo o período em que o complexo encontrava-se sob a tutela governamental, a produção de cana ter crescido basicamente pela agregação de novas áreas (crescimento extensivo), persiste ainda em quase todas as unidades o uso de técnicas defasadas e polêmicas como o fogo nos canaviais. Por isso, a atividade vem sendo o alvo de muitas críticas de alguns setores da sociedade, o que resultou na elaboração de decretos, resoluções e leis voltadas à melhoria da relação entre o seu sistema de produção agrícola e a sociedade local, especialmente no que tange a qualidade ambiental, que ao lado de uma nova dinâmica competitiva, tem forçado o complexo a buscar soluções.

Neste diagnóstico buscou-se identificar as mudanças técnicas, organizacionais e ambientais introduzidas em diferentes etapas do processo produtivo, com o objetivo de detectar problemas que pudessem ser objetos de políticas públicas, tendo como objetivo o desenvolvimento sustentável.

O preparo do solo, em grandes usinas, como as visitadas no decorrer do projeto, está sendo realizado através de máquinas modernas desenvolvidas especialmente para otimizar o tempo do mesmo. Essas máquinas integram todas as operações necessárias de uma só vez, evitando perda de combustível e tempo. O plantio, em algumas situações, também é

realizado por máquina (plantadora), que sulca, aduba e distribui a muda em 1 hectare/hora. Entretanto, a maior parte das usinas utiliza o plantio manual ou semimecanizado, que leva um tempo operacional maior, mas ainda apresenta melhor qualidade e é intensivo em trabalho. Todas as máquinas agrícolas são movidas a diesel, que além de ser mais poluente tem o preço atrelado ao dólar, o que contribui para o aumento de preços dos produtos do setor.

Começam a aparecer diferenças significativas entre os grandes e pequenos (e médios) produtores. Assim, os pequenos produtores, perdem em produtividade na realização dessas operações para os grandes produtores, que as realizam com menor custo e tempo.

Constatou-se também o crescimento na utilização da vinhaça e da torta de filtro como alternativas de adubo na plantação de cana-de-açúcar. Do ponto de vista ambiental, a aplicação de resíduos provenientes da fabricação do açúcar e álcool é importante, pois há a possibilidade de ser reduzida a aplicação de produtos químicos anteriormente utilizados, o que evita que estes efluentes, bem como os adubos químicos poluam o meio ambiente. Entretanto, chamou atenção a maneira descontrolada como estes efluentes estão sendo conduzidos e aplicados no solo, sem nenhum cuidado específico com uma eventual contaminação do solo e dos corpos d’água, sobretudo os subterrâneos, bem como ao risco de acidentes tais como: rompimento de dutos e barragens.

Importante também para conservação do meio ambiente é a redução da aplicação de herbicida nos canaviais. Além do risco de acidentes envolvendo trabalhadores rurais, esses herbicidas são absorvidos pelo solo e podem contaminar lençóis freáticos ou podem ser conduzidos pelas chuvas e ventos contaminando rios e lagos próximos ao canavial. O colchão de palha resultante da colheita de cana crua é o grande responsável pela redução da aplicação de herbicidas, pois dificulta a germinação do mato, mas, por outro lado, tem forçado mudanças nas técnicas de manejo do solo, além de provocar a procura por variedades aptas a brotação sob a palhada.

Entretanto, ainda há muita resistência por parte de algumas usinas em expandir o sistema de cana-crua, por razões puramente econômicas. Foi constatado na pesquisa que usinas e produtores persistem em adotar a colheita mecanizada de cana queimada. As queimadas não são aceitas pela população devido à poluição provocada. Apesar de a mecanização já estar ocupando cerca de 70% dos canaviais da Bacia, apenas 25% corresponde a cana crua, conforme determina a legislação, recentemente aprovada.

A pesquisa de campo sugere que a principal motivação das usinas em investirem na mecanização da colheita da cana crua ainda se deve às pressões dos organismos ambientais, sobretudo o Ministério Público, a despeito das possíveis vantagens trato-culturais e industriais destacadas. Segundo vários dos gerentes agrícolas entrevistados, do ponto de vista operacional o ideal para a usina seria colher mecanicamente a cana queimada, devido ao maior rendimento das máquinas e ao menor risco de incêndios.

A constatação mais importante dessa pesquisa, entretanto, diz respeito à redução do número de trabalhadores no processo de produção da cana-de-açúcar, que também tem ocorrido na indústria. Apesar do corte manual da cana-de-açúcar ser ainda significativo no território da Bacia, a implementação do corte (e outras operações) mecanizado reduz a quantidade de trabalhadores no processo agrícola e causa forte desemprego regional, assim como a automação dos processos industriais.

Os fatos mostram que realmente não há esperanças de reversão no quadro atual de desemprego gerado pela mecanização, que deverá se agravar ainda mais nos próximos anos. Por outro lado, seria incoerente

de nossa parte defender a manutenção de um tipo de ocupação condenado por médicos, especialistas e até mesmo pelos próprios trabalhadores, que definitivamente, não executam tal tarefa por livre opção. Porém, é absolutamente injustificável a mecanização de cana queimada, que gera impacto social e ambiental, e deveria ser terminantemente proibida.

O desemprego tornou-se um problema crônico para as comunidades locais, e mostra-se necessário indicar soluções alternativas para o problema, de forma a oferecer oportunidades para que essas pessoas tornem-se cidadãos. Estes trabalhadores são homens e mulheres de diferentes idades e procedência, marcados pela baixa escolaridade e qualificação profissional.

Desta forma, a simples requalificação profissional, como sugerida na legislação sobre queimadas, não será capaz sequer de atender as necessidades básicas da maior parte desses desempregados, mas apenas dos jovens alfabetizados, que representam uma fração deste contingente. Sugere-se, portanto, que sejam criadas linhas específicas de ações contra o desemprego tecnológico, levando em consideração as necessidades específicas de cada contingente de trabalhadores atingidos.

Com relação à questão da obrigatoriedade de reserva legal nas propriedades rurais, o posicionamento das usinas é unânime com relação à rejeição desta disposição legal, porém para a melhoria das condições é fundamental que a lei seja cumprida e para isto é necessário que as pendências jurídicas sejam dirimidas.

3 PROPOSTAS DE POLÍTICAS PÚBLICAS

3.1 MUDANÇAS POSSÍVEIS NO SISTEMA PRODUTIVO

Durante a realização deste diagnóstico, foi constatada e analisada a existência de um modelo de produção alternativo, capaz de evitar a maior parte dos problemas ambientais da produção canavieira, que é o sistema de produção de cana crua. Este sistema pode ser considerado intermediário entre o tradicional e o orgânico. Este sistema, como vimos, elimina o fogo e seus problemas, reduz o volume de herbicidas e adubos empregados no campo, reduz a erosão, e elimina a necessidade de lavagem da cana, reduzindo a captação de água local. Além disto é possível, na maior parte das usinas combinar o corte de cana crua mecanizado com o corte manual, possibilitando eqüalizar a quantidade de trabalhadores na safra e entresafra, o que permitirá eliminar a flutuação de força-de-trabalho e permitir trabalho o ano inteiro pára os trabalhadores remanescentes.

3.2 ÁLCOOL

• Incentivo à mistura de álcool à gasolina até o nível de 26% com programas gratuitos de regulagem de motores financiados pelo complexo canavieiro e pela indústria automobilística.

• Frota verde para o setor público, táxis e frotas de concessionárias de serviços públicos.

• Incentivo à constituição de frotas movidas a álcool para empresas agropecuárias e fornecedoras de insumos agrícolas bem como para os caminhões e tratores que servem as áreas canavieiras.

• Isenção de impostos e programas de vale-combustível (custeados pelas usinas) para veículos licenciados em regiões canavieiras ou do interior distante.

3.3 AÇÚCAR

• Estabelecimento de uma pauta mínima reduzindo as sobretaxas incidentes sobre o produto brasileiro exportado para a Argentina.

• Incentivos fiscais e legais para o consumo de açúcar nas regiões produtoras.

Visando uma política mais efetiva de apoio a estes produtores e trabalhadores com problemas e vislumbrando as diferenças regionais existentes mesmo no Estado de São Paulo, as propostas deverão contemplar os seguintes pontos:

3.4 FRENTES DE TRABALHO

Utilizando-se os coeficientes médios do cultivo de cana-de-açúcar em bases modernas, podemos calcular que o deslocamento de 150 mil hectares tradicionalmente plantados com esta cultura deverá resultar na liberação de 12.000 EHA (equivalentes-homem-ano) ou 5% da força de trabalho empregada nesta cultura no estado de S. Paulo. Para garantirmos o emprego desta massa de trabalhadores estamos propondo, entre outras medidas, a extensão do programa de frentes de trabalho para áreas canavieiras.

Essa mão-de-obra liberada da cana poderá ser empregada em atividades de apoio ao poder público como serviços (conservação de prédios públicos, estradas, obras contra erosão, etc.) nos moldes do programa já em atividade para as áreas urbanas. Mas, além destas ocupações, esses trabalhadores poderão trabalhar em hortas comunitárias em terrenos públicos tendo a sua demanda dirigida para o consumo institucional das Prefeituras e do Estado (creches, escolas, penitenciárias, hospitais etc.).

3.5 CANA NA PERIFERIA DAS CIDADES

Muitas das áreas de cana desativadas poderiam se dar na periferia das cidades. Nesses espaços, o corte de cana queimada tem sofrido uma enorme pressão de leis municipais e estaduais. Estima-se que nas regiões canavieiras o número de doenças respiratórias aumente na época das queimadas (atingindo porcentagens que não podem ser atribuídas apenas à queda da temperatura) o que eleva sobremaneira os custos médico-hospitalares para o poder público.

A proibição da queima da cana em um raio de 3 km, por exemplo, em torno dos perímetros urbanos poderia resolver estes problemas, ao mesmo tempo em que se valorizaria estas áreas para atividades não agrícolas como sítios de lazer, cinturão verde, parques públicos e outras aplicações.

3.6 COLHEITA MECANIZADA DE CANA QUEIMADA

Como o uso do fogo é proibido na agricultura brasileira, a regulamentação das queimadas nos canaviais paulistas vem operando no sentido de oferecer um tempo razoável, 30 anos, para a conversão gradual da colheita manual de cana queimada em colheita mecanizada de cana sem queima, buscando assim assegurar com que o processo de desemprego não seja abrupto. Entretanto, o oportunismo da colheita mecanizada de cana queimada, praticado no setor, tem sido altamente insustentável frente à sociedade, pois além de não estar contribuindo em nada para a melhoria da relação entre produção agrícola e meioambiente, tem gerado um grande

desemprego no campo. Nossa proposta seria estudar a viabilidade para torná-la proibida, o que poderia ser feito acrescentando-se o seguinte inciso ao Artigo 2º da lei 11.241 de 2002:

§ 4 – Nas áreas cultivadas em que o uso do fogo como método de pré-colheita for autorizado, fica vetado o emprego de máquinas colhedoras, salvo autorização especial concedida pelo órgão competente.

3.7 ARRENDAMENTO DE TERRAS LIBERADAS

No Estado de São Paulo esta percentagem é de 76% dos fornecedores de cana têm as suas terras arrendadas para as usinas. Não estamos propondo a desapropriação destas fazendas, mas sim um programa de arrendamento com opção de compra para o público alvo de trabalhadores sem-terra.

Em linhas gerais, o governo federal forneceria créditos e infra-estrutura para o assentamento destes trabalhadores em áreas arrendadas. Este arrendamento seria pago por valores de mercado aos proprietários com o prazo mínimo de 5 anos e máximo de 10 anos. Ao final deste período, o assentado poderia exercer a sua opção de compra abatendo o valor das parcelas já pagas do preço final da terra. Este programa seria bem aceito pelos proprietários, pois garantiria para os mesmos uma renda em um período de crise e bem aceito pelos trabalhadores, pois permitiria o acesso a terra nas áreas em que as famílias vivem e trabalham.

Para o governo, este programa seria, sobretudo, vantajoso, pois poderia dar acesso a terra sem imobilizar grandes somas na desapropriação ou compra dos lotes. Ademais, o sistema de arrendamento serviria para selecionar os produtores eliminando aqueles que não tivessem interesse em continuar na atividade.

3.8 PROCESSAMENTO DE PRODUTOS DA AGROPECUÁRIA

Caberia ao Poder Público o estímulo e criação de centros locais de beneficiamento de produtos alimentares. Esta poderia ser uma iniciativa local, dos próprios municípios, ou de *pools* de municípios. Propõe-se que os municípios de uma mesma região criem centrais de beneficiamento de determinados produtos de forte produção local e que as compras de produtos alimentares para atendimento da demanda institucional sejam feitas nestas centrais dos municípios de sua região. Estas centrais poderiam ser criadas a partir de parcerias com os próprios produtores, organizados em cooperativas ou outras formas de organização que possibilitem a venda para o setor público, bem como receber recursos públicos e créditos de órgãos de fomento que atuam com baixos juros, como programas específicos já existentes na Caixa Econômica Estadual, no BNDES, nos projetos da área social etc.

Todas estas ações de caráter emergencial não eliminam outras, de mais longo prazo, que visam: sanear financeiramente o setor, alterar a política tarifária que beneficia áreas de melhores terras, erradicar o trabalho infantil, conservar o meio-ambiente, alterar a matriz energética em favor do consumo de energia para o bem estar da maior parte da população.

4 PROPOSTAS ESPECÍFICAS

Tendo em vista que a reestruturação do sistema produtivo da cana-de-açúcar tende a prescindir de parte da área plantada com esta cultura e tendo em vista também o seu impacto sobre os trabalhadores safristas, os

pequenos e médios fornecedores e sobre as economias dos chamados municípios canavieiros e que ficam faltando iniciativas que respondam às conseqüências sobre o futuro dos trabalhadores safristas e dos pequenos e médios fornecedores, e também aos impactos possíveis da saída ou mesmo falência de usinas sobre as finanças municípios canavieiros, propomos:

• Que as dívidas das usinas da BHM-G sejam revertidas em um Banco de Terras de modo a permitir o assentamento dos trabalhadores que perderão seus postos de trabalho,

• A criação de lotes peri-urbanos de um a dois hectares de modo a permitir o assentamento dessa mão-de-obra com pouca ou nenhuma qualificação e que isso garanta a produção para o autoconsumo e também para a comercialização nas áreas urbanas,

• A criação de cursos de reciclagem e qualificação desses trabalhadores safristas, através de um programa de renda mínima e seguro desemprego, voltados a suprir necessidades de trabalhadores qualificados que vêm surgindo no meio rural, como cozinheiros, garçons, construção civil voltada para a recuperação de patrimônio histórico arquitetônico, guias turísticos, reorganização de atividades do folclore e da cultura regional, agentes de saúde, professores, etc.,

• Apoiar a diversificação das atividades agrícolas, inclusive para atividades não agrícolas como o lazer, o turismo, principalmente em municípios com potencial e próximos de centros urbanos do estado, para os produtores de cana que deixarem de ser fornecedores das usinas,

• Criar uma linha de crédito fundiário de modo a permitir o ingresso de novos produtores e mesmo o aumento da área por agricultores minifundistas, dentro do Banco da Terra, ação direcionada para os produtores que não possuem condições de retorno à atividade produtiva, tendo em vista a idade e o desinteresse de seus familiares;

• Política de fomento ao associativismo entre os pequenos fornecedores de modo que possam, em conjunto, alcançar os 500 hectares que viabilizam a mecanização da cana crua.

Essas associações deverão contar com o aporte de crédito do Finame, mais fundo de aval público, para a aquisição de colhedeiras, de modo a garantir sua sobrevivência enquanto fornecedores, permitindo a diversificação nas áreas que forem impróprias para a produção da cana-de-açúcar,

• Desenvolvimento de políticas de Segurança Alimentar regionalizada de forma a buscar uma maior participação dos agricultores no abastecimento alimentar do município, principalmente usando como instrumentos às compras para a merenda escolar, de creches, de hospitais, criação de entrepostos de comercialização direta, etc.,

• Propor uma Lei Estadual nos Municípios de Uso e Ocupação dos Solos na Zona Rural, de modo a garantir o preceito constitucional da função social da propriedade, e evitar que solos com maior potencial agrícola sejam destinados a empreendimentos urbanos ou industriais ou mesmo loteamentos de alto padrão. Este Zoneamento deverá levar em conta a aptidão dos solos e seus papéis na conservação dos recursos hídricos cada dia mais tencionados, de modo a garantir a melhoria da disponibilidade de água, seja para o consumo humano seja para o uso industrial,

• Incluir na ação dos Comitês de Bacia a política de recuperação de nascentes, de reposição da mata ciliar e de reserva legal, de modo a contribuir para a melhoria do armazenamento da água nos solos, como forma de atenuar o impacto das estiagens sobre a vazão dos rios e sobre o abastecimento de água dos municípios.

• Dinamizar e fomentar, através das Secretarias Municipais e Estadual de Agricultura e Meio Ambiente, o surgimento das Associações de

Reposição Florestal de modo a garantir que as necessidades locais de madeira para os diferentes fins sejam produzidas localmente, e que esta política funcione como uma alternativa de renda para os agricultores, em especial os pequenos e médios conforme a Instrução Normativa nº 1, de 05 de setembro de 1996, do Ministério do Meio Ambiente.

4 REFERÊNCIAS

– ALVES, F.J.C. (2002) *Diagnóstico e propostas de políticas públicas para o complexo agroindustrial canavieiro na macroregiâo de Ribeirão Preto.* **IN:** Moraes, Márcia ª F. D & Shikiba, Pery F. A.(org.) **Agroindústria Canavieira no Brasil.** São Paulo : Atlas. 367 p.

– ALVES, F. J. C. (1991). *Modernização da Agricultura e Sindicalismo: lutas dos trabalhadores assalariados rurais da região canavieira de Ribeirão Preto*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia Agrícola, 1991, 347 p. Tese (***Doutoramento***). ALVES, F.J.C. (2002) Relatório FAPESP 2002

– ASSUMPÇÃO ALVES, M. Rita P. (2001). A liga do açúcar: *A liga do açúcar: integração da cadeia produtiva do açúcar à rede de suprimento da indústria alimentícia.* São Paulo, 2001. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

– GONÇALVES, D.B. (2001). *A regulamentação das queimadas e as mudanças nos canaviais paulistas*., 113p. Dissertação (**Mestrado)** Instituto de Economia, UNICAMP, Campinas-SP.

– GUEDES, S.N.R.; GALLO, Z.; MARTINS, L.A.T.P. *Passado, presente e futuro da Agroindústria canavieira do Brasil: uma reflexão a partir da perspectiva do desenvolvimento sustentável.* **In:** MORAES, M.A .F.D.; SHIKIDA, P.F.A .(orgs) **A agroindústria canavieira no Brasil - evolução, desenvolvimento e desafios.** São Paulo: Editora Atlas , 2002.

– MONTIBELLER-FILHO, G. (2001). **O mito do Desenvolvimento Sustentável– meio ambiente e custos sociais no moderno sistema de mercadorias**. Florianópolis: Editora da UFSC.

– NOVAES, J.R., ALVES,F (2002). *A Memória em Nossas Mãos*, **vídeo documentário**, VHs., IE/UFRJ e DEP/UFSCar, São Carlos, abril de 2002.

– PASCHOAL, A . D. (1994). **Produção Orgânica de Alimentos**. Piracicaba - SP. Edição do Autor, 1994.

– PAULILLO, L.F.; ALVES, FRANCISCO. J.C. (orgs) (2002). **Reestruturação Agroindustrial: Políticas Públicas e Segurança Alimentar Regional.** Editora EDUFSCar, São Carlos, SP, 350 páginas, 2002.

– RELATÓRIO ZERO da bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu. Publicação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Mogi-Guçu. (**Relatório de pesquisa**) 2000.

– SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente.** São Paulo: Studio Nobel : Fundap, 1993.

– SZMRECSÁNYI, T. & MOREIRA, E. P. *O desenvolvimento da agroindústria canavieira do Brasil desde a II Guerra Mundial.* **IN:** Revista de Estudos Avançados, São Paulo, jan./abr. v.11, p.59-79, 1991.

– SZMRECSÁNYI, T. *Tecnologia e degradação ambiental: O caso da agroindústria canavieira no estado de São Paulo*. **IN:** Informações Econômicas, São Paulo, v.24, n. 10, p.73-78, out. 1994.

ESTRATÉGIAS NA CADEIA PRODUTIVA DO AÇÚCAR BRASILEIRO

Maria Rita Pontes Assumpção[1]
Vívian Karina Bianchini[2]

[1] Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção – Rod. Washington Luís, km 235. CEP 13565-905 São Carlos – SP Tel: (16)2608236
E-mail: *dmrp@power.ufscar.br*
[2] Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção – Rod. Washington Luís, km 235. CEP 13565-905 São Carlos – SP Tel: (16)2608236
E-mail: *vivian@dep.ufscar.br*

Resumo: A indústria do açúcar exerce grande influência na economia brasileira. O objetivo deste artigo é apresentar algumas estratégias que promoveram mudanças na cadeia produtiva do açúcar e, por conseqüência, na rede de suprimento da indústria de alimentos (bebidas, doces e balas). Os resultados foram obtidos por meio de visitas, entrevistas e aplicação de questionários semi-estruturados em duas empresas: uma usina de açúcar e uma empresa responsável pela comercialização do açúcar *commoditie*.

Palavras Chave: redes de suprimento, cadeia produtiva, indústria açúcareira e indústria de alimentos.

1 Introdução

A partir do final da década de 1980 e principalmente após a extinção do IAA (Instituto do Açúcar e Álcool), ocorrida em março de 1990, a agroindústria canavieira do Brasil entrou em uma nova fase caracterizada por um processo de desregulamentação de suas atividades. Tal processo pode ser resumido numa seqüência iniciada pela liberação da produção e da comercialização, com o fim do monopólio do governo federal nas exportações e extinção das cotas de comercialização interna de açúcar em 1988, passando pela eliminação das cotas de produção em 1991 e pela liberação da comercialização do álcool combustível em 1998, para chegar à liberação dos preços dos bens, em fevereiro de 1999 (Ramos, 2002).

Desde então, a agroindústria açucareira nacional vem se deparando com uma nova realidade do mercado, no qual as exigências por menores custos, diferenciação de produtos, confiabilidade e redução dos prazos de entrega, melhoria no controle de qualidade e da flexibilidade para a diversificação produtiva, têm propiciado a implementação de mudanças provenientes da necessidade da inovação tecnológica e organizacional (Alves, 1998). Essas mudanças estão promovendo toda uma reestruturação no suprimento industrial, evidenciando a crescente integração das cadeias agroindustriais à rede de alimentos processados.

O objetivo deste artigo é apresentar algumas estratégias que promoveram mudanças na cadeia produtiva do açúcar e, por conseqüência, na rede de suprimento da indústria de alimentos (bebidas, doces e balas), cujo açúcar é o principal insumo.

1.1 Contextualização da agroindústria açucareira

Desde o tempo do império, a indústria do açúcar exerce grande influência na economia brasileira e este setor, nos últimos dez anos, teve um desenvolvimento tão grande que poucos foram os setores da economia nacional que conseguiram acompanhar tal ritmo (Veiga Filho, 2001).

Segundo dados do USDA (*United States Department of Agriculture*), o Brasil assumiu nos anos noventa a posição de liderança nas exportações mundiais de açúcar, sendo que os principais importadores

foram os países do Oriente Médio (Arábia Saudita, Emirados Árabes e Irã), da África (Nigéria, Egito e Marrocos) e da Europa Oriental, com destaque para a Rússia que é a principal importadora. Atualmente, a participação do valor das exportações de açúcar sobre o valor total nacional das exportações corresponde a 3,47% (Udop, 2003).

Em relação ao destino da produção, verifica-se que existe uma tendência de diminuição do consumo direto de açúcar. Szmrecsányi (2002) afirma que o açúcar deixou de constituir nas últimas décadas um simples bem de consumo direto, de primeira necessidade e de difícil substituição, para transformar-se, cada vez mais, em produto intermediário usado como insumo para a indústria de fermentação, principalmente para produção de derivados como ácido cítrico, glutamato monossódico, componentes para fabricação de alimentos. Outro fator que explica a diminuição do consumo direto do açúcar no varejo é a preferência pelo consumo de alimentos prontos e congelados que, conseqüentemente, leva ao crescimento do consumo industrial do açúcar.

2 Referencial Teórico

2.1 Redes de suprimento

Segundo SLACK (2002), uma rede de suprimento é formada por todas as unidades produtivas que estão ligadas para prover o suprimento de bens e serviços até os clientes finais. FOMBRUN (1982, *apud* Grandori, 1995) afirma que o conceito de redes se refere a uma noção abstrata de um conjunto de nós e relações de conexão entre eles. Assim, para Grandori (1995) redes são formas de organizar atividades econômicas por meio da cooperação e coordenação de ações entre empresas ou unidades organizacionais especializadas.

Jones (1990, *apud* Slack, 2002) salienta que existem três razões importantes para considerar, em nível estratégico, toda a rede da qual uma operação faz parte:

- Ajuda a empresa a compreender como pode competir mais efetivamente;
- Ajuda a identificar ligações entre nós especialmente significativas na rede;
- Ajuda a empresa a focalizar uma perspectiva de longo prazo na rede.

De acordo com NOHRIA (1992), citado por BATALHA (2001), a utilização da noção de rede para o estudo das organizações e seus comportamentos está fundamentada em cinco premissas básicas:

- todas as organizações estão ligadas a um conjunto importante de relações sociais;
- o ambiente de uma organização pode ser visto como uma rede de outras organizações;
- as ações dos atores das organizações podem ser explicadas por suas relações dentro da rede;
- redes condicionam e são condicionadas pelas ações de seus integrantes;
- análises comparativas de organizações devem considerar as características das redes nas quais elas estão inseridas.

A perspectiva de rede de suprimento também é útil porque sugere três decisões estratégicas de projeto especialmente importantes (Slack, 2002):

1. Como a rede deve ser configurada? Inclui aspectos da forma de ordenação da rede e da decisão de integração vertical.
2. Onde deve ser localizada cada operação da parte da rede pertencente à empresa? Inclui a decisão de optar por uma empresa próxima dos fornecedores, dos clientes ou em algum lugar entre eles.
3. Que capacidade de produção deve ter cada operação da parte da rede pertencente à empresa ao longo do tempo? Inclui decisões sobre os incrementos de capacidade mediante as necessidades de expansão da empresa.

Com base nos conceitos apresentados, este artigo considera que a rede de suprimento é composta por cadeias produtivas individuais. Assim, a rede de suprimento da indústria de alimentos é composta pelas cadeias produtivas do açúcar e dos demais insumos necessários à fabricação de bebidas, doces e balas.

2.2Cadeia produtiva agroindustrial

Uma cadeia produtiva agroindustrial é definida a partir da identificação de determinado produto final, que no caso deste artigo corresponde ao açúcar.

Segundo BATALHA (2001), dentro da problemática de pesquisa agroindustrial, a noção de cadeia produtiva representa uma certa "linearidade", porém a busca frenética pela agregação de valor aos produtos agroindustriais resulta em produtos finais cada vez mais complexos e que colocam em questão essa linearidade. Nestes casos específicos, a abordagem de redes de empresas é mais apropriada para o desenvolvimento dos estudos do agronegócio.

A tendência à integração das empresas, como tem ocorrido com as usinas de açúcar e a indústria de alimentos é fruto da necessidade das primeiras fortalecerem seu posicionamento junto ao mercado industrial. Este movimento responde ao previsto no conceito de cadeia de valor de Porter (1999) em que o fluxo tecnológico na conformação dos produtos deve buscar eficiência e produtividade em seus processos produtivos e logísticos. A organização da produção de determinado conjunto de produtos e serviços, quando combinada em uma organização coletiva para agregação de valor, converge a uma rede industrial, como compreendido por Lundgren (1995).

O escopo de análise deste artigo é destacado na Figura 3, a qual mostra o suprimento de açúcar aos mercados externo e doméstico. A cadeia produtiva agroindustrial do açúcar inicia-se anterior à usina, desde o plantio da cana-de-açúcar que serve de insumo para a produção de açúcar. A partir da usina, segue-se com os canais logísticos apresentados.

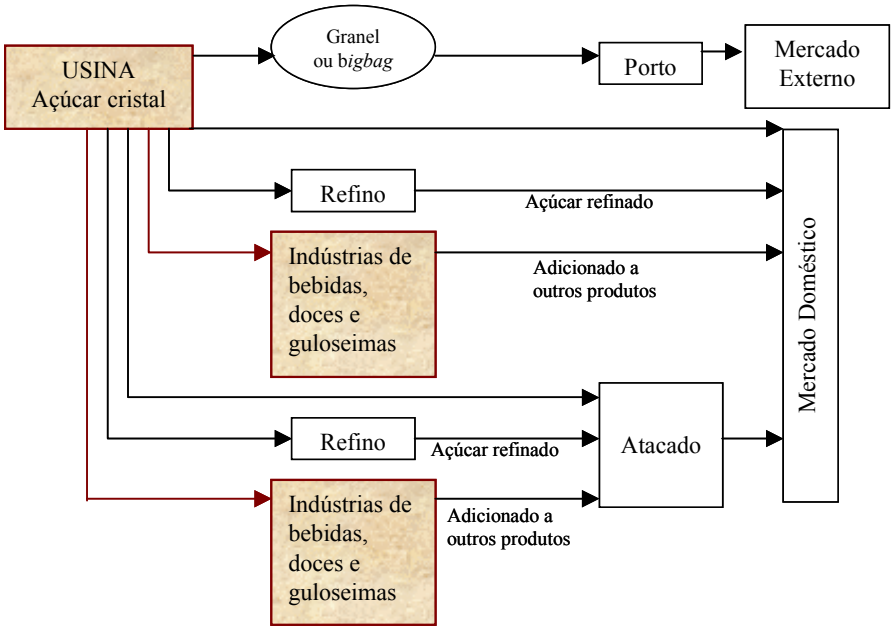


Figura 3: Canais logísticos para a movimentação de açúcar a partir da usina.
Fonte: Adaptado de Alves (1997).

2.3 A gestão da cadeia de suprimentos

A gestão da cadeia de suprimentos (*supply chain management-SCM)* é um conceito estratégico que inclui amplas considerações de longo prazo da posição da empresa na rede de suprimentos, como também o controle de fluxo de curto prazo através da cadeia de suprimentos (Slack *et al*, 2002). Dessa forma, está relacionada à gestão do fluxo de materiais e informações entre as unidades produtivas que formam as cadeias (ou ramos) de uma rede de suprimentos.

Para Cooper *et al.* (1997), a SCM é a integração dos processos de negócio, do consumidor final

até o primeiro fornecedor de matéria-prima, buscando disponibilizar produtos, serviços e informações que agregam valor aos clientes e outros agentes do processo. Essa integração promove uma seqüência de eventos direcionados à satisfação do cliente. A SCM também envolve o compartilhamento de custos, a resolução de conflitos, junção de interesses e a definição das responsabilidades de todos os agentes envolvidos (HANDFIELD *et al.*, 1999).

Slack (2002) vê a gestão da cadeia imediata da empresa como a distribuição física dos produtos (do lado da demanda) e a gestão de compras e suprimento (os canais de fornecimento de seus insumos) que integrados, compõe a gestão de materiais da empresa. A extensão da cadeia imediata para os fornecedores de seus fornecedores e clientes de seus clientes é a cadeia de suprimento da empresa (Figura 4). Segundo este mesmo autor, a abordagem de cadeia de suprimento auxilia a empresa a compreender como competir efetivamente, pela identificação das ligações significativas na rede.

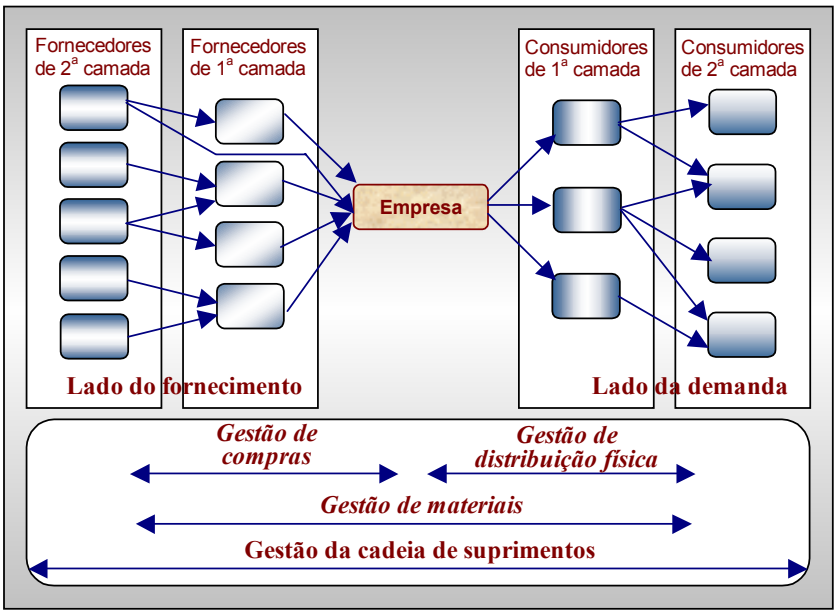


Figura 4: A gestão de diferentes partes da cadeia de suprimentos.
Fonte: Adaptado de Slack et al. (2002).

Seuring (2002) explica os processos de tomada de decisão para implementação da gestão da cadeia de suprimentos, por meio de uma matriz que relaciona as dimensões do produto e o tipo de relacionamento dos agentes dentro da rede de suprimentos (Figura 5).

Este autor busca, desta forma, criar estrutura para compreender as decisões que sustentem a SCM, identificando as principais etapas para otimizar os processos na rede de suprimentos:

I. **Configuração do produto e da rede**: determinar os potenciais produtos e serviços a serem oferecidos e qual o melhor mecanismo de coordenação entre os possíveis parceiros para a co-produção e comercialização dos produtos/serviços.

II. **Projeto do produto na cadeia de suprimentos**: definir quem serão os responsáveis pela pesquisa e desenvolvimento do produto e pelas demais etapas do processo de desenvolvimento do produto, considerando as competências de cada empresa.

III. **Formação da rede produtiva**: estabelecimento de parcerias entre os clientes e fornecedores, explicitando claramente suas funções dentro da cadeia de suprimentos. Determinam-se também os pontos estratégicos dos estoques de segurança e especificam-se os *lead-time* de cada empresa visando a melhor coordenação da rede.

IV. **Processo de otimização da cadeia de suprimentos**: a otimização da estrutura produtiva de cada empresa tem como principais objetivos a redução dos *lead-time* e do nível de estoques em toda a rede.

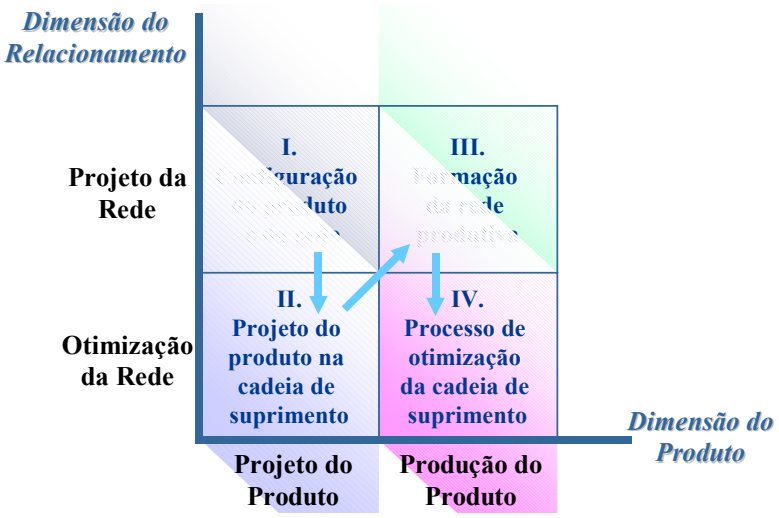


Figura 5: Matriz de relacionamento-produto da SCM.
Fonte: Seuring, 2002

3 Método de pesquisa

Optou-se por realizar uma pesquisa exploratória, com o uso do método qualitativo de estudo de caso, que se refere à observação de fenômenos em seu *habitat,* analisando o processo de funcionamento do objeto de análise, para exploração de seus aspectos e identificação de relações entre eles (Bryman, 1990).

A análise de mais de um estudo de caso confere aos resultados maior robustez do que se a pesquisa fosse sobre um único caso (Yin, 2001). Dessa forma, duas empresas foram analisadas: uma usina de açúcar e a empresa responsável pela comercialização dos produtos dessa usina.

Os resultados foram obtidos por meio de visitas, entrevistas e aplicação de questionários semi-estruturados nas duas empresas localizadas no interior de São Paulo.

4 Apresentação dos Resultados

A usina de açúcar visitada foi a Cia. Energética Santa Elisa, uma empresa de grande porte localizada em Sertãozinho, interior de São Paulo. Trata-se da maior produtora de açúcar do grupo de usinas acionistas que compõem a Crystalsev, a segunda empresa que foi objeto de análise deste trabalho.

Os estudos de casos foram conduzidos com o intuito de evidenciar as estratégias, adotadas na cadeia produtiva do açúcar, as quais estão promovendo uma reestruturação na rede de suprimento da indústria de bebidas, doces e balas.

As principais estratégias observadas foram:

- diferenciação de produtos;
- associação de usinas para a comercialização de produtos;
- entregas *just-in-time* de açúcar *commoditie*;
- fusões e aquisições de usinas,
- diversificação de mercados,
- atuação como *trading*.

<u>Diferenciação de produtos:</u>

A diferenciação de produtos tem sido uma exigência das grandes empresas produtoras de

refrigerantes, doces e balas, as quais transferem para as usinas uma etapa de seu processo produtivo, ou seja, a dissolução do açúcar. Essa iniciativa faz com que as usinas agreguem valor ao açúcar *commoditie*, produzindo os açúcares diferenciados: líquido (solução aquosa utilizada em bebidas carbonatadas) e invertido (solução de glicose, frutose e sacarose com grande poder anticristalizante utilizada em doces, biscoitos e balas).

A usina Santa Elisa, em 2001, realizou investimentos próprios e passou a suprir algumas empresas de doces e balas com o açúcar invertido. Neste caso, a comercialização do açúcar diferenciado passou a ser realizada diretamente pela usina, sem a intervenção da empresa comercial Crystalsev. Com isso, a usina estabeleceu uma organização própria de venda de produtos diferenciados, com força de vendas específica para cada tipo de produto.

Com esta estratégia, a usina passa a realizar seus próprios contratos, buscando estabelecer salvaguardas contratuais mais convenientes, dada a alta especificidade dos ativos envolvidos nesses relacionamentos.

Em outra iniciativa de diferenciação de produto, agora do melaço em pó, a usina optou por verticalizar a atividade produtiva, por meio da aquisição de uma fábrica de melaço em pó e transferência da mesma para perto da usina (alta especificidade locacional influenciando o projeto da rede). A usina também investiu no conhecimento já existente do pessoal de vendas da fábrica que foi incorporada, realizando a contração do responsável pelas vendas e também adquirindo a carteira de clientes da antiga fábrica de melaço em pó.

A responsabilidade por assegurar a qualidade dos produtos diferenciados e o atendimento das especificações ficou a cargo da usina.

A logística de distribuição teve que passar por adaptações pois os produtos diferenciados são transportados em caminhões tanques (a granel) ou em tambores de 200 Kg, para os clientes que ainda não possuem instalações de armazenagem do açúcar.

A inovação por meio da diferenciação de produtos foi uma tentativa da usina de fornecer açúcar para a produção de refrigerantes da empresa Ypiranga, de Ribeirão Preto. Observando essa iniciativa de inovação para busca de novos mercados, a partir da matriz de relacionamento/produto, verifica-se que a empresa, ao reestruturar a cadeia de suprimentos para atender a indústria de bebidas, pecou por não considerar a primeira etapa descrita na matriz, pois optou por produzir açúcar invertido e não o açúcar líquido que é o consumido na fabricação de refrigerantes. Embora localizada próxima a engarrafadora de refrigerantes, que já investiu no sistema de recepção e armazenagem para açúcar líquido (ativos altamente específicos), a Santa Elisa não é a fornecedora do produto.

O açúcar líquido produzido por outras usinas ainda não tem uma cadeia de suprimento estruturada e as vendas são ocasionais, sem desenvolvimento de contratos de longo prazo com seus clientes.

Associação de usinas:

Para a venda de seus produtos *commodities* a usina Santa Elisa investiu na formação de uma entidade comercial com um *pool* de outras usinas associadas.

A Crystalsev Comércio e Representações LTDA surgiu em 1997 por meio de uma aliança estratégica (*joint venture*[1]) entre sete usinas processadoras de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, dentre as quais, a Santa Elisa. Localizada na cidade de Ribeirão Preto, interior de São Paulo, a empresa tem como principal objetivo a comercialização de açúcar e álcool nos mercados interno e externo, otimizando a relação das usinas produtoras com seus clientes. Assim, a usina cria seus canais de comercialização para os mercados interno e externo, diluindo os custos associados com outras usinas.

Com a formação da Crystalsev, os acionistas conseguiram reduzir os custos com estruturas administrativas e operacionais de cada usina, não incorrendo em duplicação dos mesmos. Além disso, conquistaram economias de escala, otimização da produção, especialização de serviços, nova imagem e posicionamento frente aos clientes e agentes da cadeia produtiva do açúcar, maior capacidade de diferenciação dos produtos, fluxo logístico mais eficiente, maior poder de financiamento, operações mais

---

[1] *Joint venture:* associação de duas ou mais empresas separadas para a formação de uma nova empresa, sob controle comum, que visa a participação no mesmo mercado relevante das empresas-mãe. Fonte: Disponível em <www.fazenda.gov.br>. Acesso em 18/11/02.

estáveis e implementação de gestão profissional (NEVES, 2001).

Entregas *just-in-time*:

A usina realiza entregas *just-in-time* de açúcar sólido para empresas de balas e confeitos doces (situadas longe do mercado convencional de vendas), estruturando seu contrato de fornecimento com vantagem de preço pelo produto ofertado, para compensar o pagamento de frete mais alto dada a distância da fábrica do cliente até a usina. Com esta estratégia a usina busca um potencial cliente para o açúcar invertido, embora ainda não o tenha convencido das vantagens do uso deste produto. A necessidade de investimentos nos ativos específicos para recepção de açúcar invertido é o grande bloqueio para incorporação deste produto na carteira de insumos comprados pela fábrica de balas, que neste caso é de médio porte.

Fusões e aquisições:

Essa estratégia constitui uma alternativa para a adequação do porte e da estrutura organizacional das empresas ao mercado e à conjuntura econômica mundial. As vantagens são a viabilização da expansão (seja da esfera produtiva à distribuição) em prazo e custos menores, diminuição dos riscos associados ao planejamento e desenvolvimento de linhas de produtos, remoção de barreiras à entrada de novos mercados e de concorrentes em potencial (Passin e Neves, 2001, *apud* Shikida et al, 2002).

Em outubro de 1997, a usina Santa Elisa adquiriu a usina São Geraldo, aumentando sua capacidade de processamento de cana-de-açúcar, objetivando a prospecção de novos mercados, além da fabricação de outros tipos de produtos.

Diversificação de mercados:

A Crystalsev passou a comercializar o açúcar sólido com empresas intermediárias, da rede de suprimento da indústria de alimentos, que o utilizam em processos tecnologicamente mais complexos, tais como:

- produção de ácido cítrico,
- produção de xarope de glicose (produto substituto do xarope de milho) e;
- produção de ingredientes específicos ou composição com outros insumos para fornecimento à indústria de bens de consumo final, bases completas (pré mistura de ingredientes).

Essas empresas intermediárias promoveram mudanças na forma da rede de suprimentos pois a indústria de bebidas, por exemplo, passou a receber as bases completas de uma só empresa intermediária (agora responsável pela mistura dos insumos) e não mais de vários fornecedores de aromas, açúcar, conservantes, etc, acarretando na diminuição de fornecedores diretos, proporcionando um desenvolvimento conjunto mais eficiente.

Atuação como *trading*:

O suprimento do mercado externo é realizado por meio das *tradings* internacionais, as quais comercializam os produtos nas principais bolsas de mercados futuro, porém outra estratégia da Crystalsev, é a atuação da própria empresa como *trading*, comprando e vendendo produtos diretamente no mercado internacional e estabelecendo contatos em várias partes do mundo. Esse tipo de atuação já tem obtido bons resultados em alguns países, como por exemplo, a Arábia Saudita.

Podem ser destacadas como principais estratégias a serem implementadas:

- Auxílio na reestruturação interna das usinas associadas; automatizando processos, buscando certificações junto aos clientes, investindo em atividades logísticas (transbordo usina-ferrovia-porto)e em processos para co-geração de energia a partir do bagaço (investimentos em ativos tecnológicos específicos);
- Finalização e implementação do projeto, já em andamento, de montagem de uma refinaria do grupo, colocando a marca Crystalsev no varejo (especificidade de marca);
- Busca de profissionalização da gestão das usinas, substituindo a gestão familiar e investindo em treinamento e especialização dos gerentes de alto escalão (investimentos em ativos humanos).
- Expansão da comercialização de produtos e, por conseqüência, aumento da atuação da

Crystalsev.

5 Considerações finais

Observou-se com os estudos de casos que as principais estratégias, adotadas pela usina e por sua entidade de representação, foram a diferenciação de produtos, associação para a comercialização de produtos, as entregas *just-in-time* de açúcar *commoditie*, as fusões e aquisições de usinas, a diversificação de mercados e atuação como *trading*.

A usina Santa Elisa possui, em sua estrutura organizacional interna, pessoal dedicado às vendas de seus produtos diferenciados. As atividades associadas à cadeia de suprimento do açúcar *commoditie*, para o mercado interno e externo, são de responsabilidade da Crystalsev e, portanto, são compartilhadas com as demais usinas acionistas, possibilitando a redução dos custos incorridos com a venda deste produto e acúmulo de conhecimento, com conseqüente criação de condições para otimização dos processos de negócios estabelecidos.

São apontadas duas principais dificuldades para estruturação de relacionamentos de longo prazo na cadeia de suprimento do açúcar invertido: a oferta de produto não adequado para a industria de bebidas e a ausência de interesse dos consumidores industriais, de médio e pequeno porte, neste tipo de produto, devido aos elevados investimentos em ativos específicos para recepção e uso.

A cadeia de suprimento de melaço em pó é verticalizada, qual seja, a usina produz a cana-de-açúcar para a produção do melaço e também a estrutura produtiva para transformá-lo em melaço em pó, além de contar com força de vendas para sua comercialização. O melaço em pó foi desenvolvido pelo antigo proprietário da fábrica e a usina adquiriu a patente do produto, conquistando uma tecnologia ainda não difundida. Dessa forma, a usina tornou-se a única produtora de melaço em pó no Brasil.

6 Referências Bibliográficas

– ALVES, M.R.P. Logística Agroindustrial. In: ***Gestão Agroindustrial.*** BATALHA, M.O., São Paulo: Editora Atlas. 1997. p 139-212. 2001. 167 p.

– ALVES, M. R. P. A. (1998). ***Mudança tecnológica no setor sucroalcooleiro.*** In: Anais XX Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica. Anais em CD-ROM. 17 a 20 de novembro de 1998, São Paulo, SP, Brasil.

– ASSUMPÇÃO A., M. R. P. ***A Liga do Açúcar: Integração da Cadeia Produtiva do Açúcar à Rede de Suprimento da Indústria de Alimentos.*** São Paulo. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2001**.** Tese (Doutorado).

– BATALHA, M.O. (2001) ***Gestão Agroindustrial.*** São Paulo: Editora Atlas. 1997.

– BIANCHINI,V.K. *Caracterização das Mudanças no Processo Produtivo e no Fornecimento de Açúcar das Indústrias do Setor Sucroalcooleiro para as Indústrias de Alimentos.* **Trabalho de Graduação**. Engenharia de Produção Química. UFSCar. 2001.

– BRYMAN, A. ***Quantitative Data Analysis for Social Scientists.*** Londres: Routledge,1990

– COOPER, M.C.; LAMBERT, D.M. & PAGH, J.D. (1997). ***Supply Chain Management: More than a New Name for Logistics.*** In: The International Journal of Logistics Management. V. 8. N. 1, 1997. Pp: 1-13.

– COOPER, M.C.; LAMBERT, D.M. & PAGH, J.D. (1998). ***Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities.*** In: The International Journal of Logistics Management. V. 9. N. 2, 1998. Pp: 1-18.

– GRANDORI, A.; SODA, G.(1995) Inter-firms Networks: Antecedents, Mechanisms and Forms. In: Organization Studies. 16/2. 183-214.

– HANDIFIELD, R. B.;NICHOLS, E. L. Jr. ***Introdution to Supply Chain Management***. New Jersey: Prencetice Hall Inc, 1999.

– LUNDGREN, A. (1995). **Technological innovation on network evolution.** NY: Routledge.

– PORTER, Michael E. (1990). ***Vantagem Competitiva: Criando e Sustentando um Desempenho Superior.*** Rio de Janeiro: Campus. 511 p.

– RAMOS, P. (2002) Heterogeneidade e Integração Produtiva na Evolução Recente da Agroindústria Canavieira do Centro-Sul. In: ***Agroindústria Canavieira no Brasil.*** MORAES, M.A.F.D. *et al*. São Paulo. 1ª ed.

– SEURING, S.; GOLDBACH, M. (2002). Supply Chain Costing – A Conceptual Framework. In: ***Cost Management in Supply Chains***. Heidelberg, New York. Physica-Verlag, 2002. pp15-30.

– SHIKIDA, P.FA.(2002) *et al*.Notas sobre Dinâmica Tecnológica e Agroindústria Canavieira no Brasil. In:***Agroindústria Canavieira no Brasil.*** MORAES, M.A.F.D.*et al*.São Paulo.1ª ed.

– SLACK, N., *et al* (2002) ***Administração da Produção.*** São Paulo: Atlas. 2ª. ed. Caps 3,6 e13.

– SZMRECSÁNYI, T. (2002) Efeitos e Desafios das Novas Tecnologias na Agroindústria Canavieira. In: ***Agroindústria Canavieira no Brasil.*** São Paulo. 1ª ed.

– United States Department of Agriculture USDA. Disponível em: <http://www.usda.gov/> Acesso em 11/04/2003.

– Usinas e Destilarias do Oeste Paulista UDOP. Disponível em: <http://www.udop.com.br/> Acesso em 11/04/2003.

– VEIGA FILHO, A.A.(2001). ***Panorama das Exportações de Açúcar Brasileiro.*** Revista Eletrônica do Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo. www.iea.org.br.

– YIN, R.K. ***Case Study Research. Design and Methods***. 2nd ed. London, Sage Publications, 2001.

LOS EDULCORANTES INTENSIVOS.

Pablo L. Gutiérrez Moreno
Lucia Cruz González
Gladys Menéndez Zequeira

Instituto Cubano de Investigaciones Azucarera. (ICINAZ)
pablo@icinaz.co.cu

Edulcorantes, Azúcar, Aspartamo, Acesulfame K, Sucralosa

RESUMEN

Las sustancias que se utilizan para endulzar se clasifican en tres grupos: Azúcar y tipos de azúcar; Sustitutos del Azúcar (polioles) y Edulcorantes (edulcorantes intensivos). Estos últimos son compuestos orgánicos que no son carbohidratos que poseen un mayor poder edulcorante que el azúcar y tienen un valor nutritivo muy bajo. Los más conocidos son: Acetosulfame K, Alitamo, Aspartamo, Ciclamato, Neohespiridin, Sacarina, Stevia, Sucralosa y Thaumatina.

En el presente trabajo se exponen las características más importantes, así como los criterios adversos que aparecen en la web sobre el uso de estos edulcorantes intensivos con el fin de valorar los riesgos que conlleva su utilización en la confección de los alimentos.

INTENSIVE SWEETENERS

Pablo L. Gutiérrez Moreno
Lucia Cruz González
Gladys Menéndez Zequeira

CUBAN SUGAR RESEARCH INSTITUTE (ICINAZ)
pablo@icinaz.co.cu

Sweeteners, Sugar, Aspartame, Acesulfame K, Sucralose

ABSTRACTS

Substances that are wed to sweeten are classified in three groups: Sugar and sugar types; sugar substitutes (polyols, sweeteners extensors) and sweeteners (intensive sweeteners). These last are organic compounds that are not carbohydrates and that poses a greater sweetener power than sugar. The better known are: Acetosulfame K, Alitame, Aspartame, Cyclamate, Neohespiridine, Saccharin, Stevia, Sucralose and Thaumatin.

The present paper shows the main characteristics, as well as the adverse criteria that have shown up in the Web about the use of these intensive sweeteners with objective of weighing the risks associate with its use in food.

INTRODUCCIÓN

Los descubrimientos de sustancias más dulces que la sacarosa comenzaron desde el siglo XIX, algunas de las cuales han sustituido al azúcar como endulzante.

Las sustancias que se utilizan para endulzar se clasifican en tres grupos:

Azúcar y tipos de azúcar

El azúcar es el nombre genérico para una clase de carbohidratos que se metabolizan fácilmente. Los más conocidos son:

Sacarosa (de la caña de azúcar y de remolacha)
Lactosa (de la leche)
Maltosa (de malta , almidón hidrolizado)
Fructosa (de las frutas)
Glucosa o dextrosa (de la uva)

Sustitutos del Azúcar (polioles, extensores de edulcorantes)

Los sustitutos de azúcares son alcoholes de azúcares (también conocidos como poliholes). Ellos son derivados del almidón y varios azúcares. El contenido calórico de estos sustitutos de azúcares es de alrededor del 40% mas bajo que el azúcar. Puesto que ellos tienen menor efectos en el metabolismo, ellos son apropiados para diabéticos. Sin embargo su gran consumo produce flatulencia y diarreas. Los más conocidos son:

Lactitol
Maltitol
Manitol
Sorbitol
Xilitol
Isomaltitol
Eritritol

Edulcorantes (edulcorantes intensivos)

Los edulcorantes son compuestos orgánicos que no son carbohidratos que poseen un mayor poder edulcorante que el azúcar y tienen un valor nutritivo muy bajo. Los más conocidos son:

Acetosulfame K
Alitamo
Aspartamo
Ciclamato
Neohespiridina
Sacarina
Stevia
Sucralosa
Thaumatina

La sustitución del azúcar está por tanto determinada en buena parte por la conveniencia técnica de un edulcorante. Los edulcorantes potentes se usan especialmente en la producción de bebidas no alcohólicas donde la simple adición de más agua compensa el volumen de azúcar perdido.

La posibilidad técnica de sustitución del azúcar en alimentos y bebidas se calcula que es:

100% para las bebidas no alcohólicas, helado, yogur, dulces congelados, postres de gelatina, conservas de fruta, encurtidos, judías secas, salsas y productos cárnicos;
50% para los productos enlatados,
10% para confitería con azúcar,
y 5% para galletas, chocolate, rellenos de tartas y mermeladas.

Basándose en esta evaluación, una sustitución del azúcar equivalente a unos 3 millones de toneladas de azúcar blanco, es factible técnicamente.

La industria de alimentos consigue grandes ventajas comerciales cuando sustituye el azúcar por edulcorantes potentes en la producción alimentaria. En la industria de las bebidas, por ejemplo, la sustitución del azúcar por edulcorantes potentes puede dar lugar a un ahorro de hasta el 75% de los costos de inversión.

Una de las ventajas comerciales más importantes de la utilización de edulcorantes potentes en la producción alimentaria está relacionada con el hecho de que su combinación (mezcla) proporciona a menudo un dulzor total superior al que se consigue con la suma del dulzor proporcionado por cada elemento individualmente. Este efecto sinérgico permite menores niveles de dosificación de los edulcorantes y, según la industria alimentaria, un descenso en el costo de los edulcorantes en la fabricación de bebidas no alcohólicas de hasta el 40 por ciento. Además, la mezcla puede ayudar a superar problemas de inestabilidad del dulzor y conducir a mejoras del sabor. También se sostiene, principalmente por los que promueven la práctica, que la mezcla ofrece beneficios sanitarios a los consumidores al reducir su exposición a un único edulcorante.

En el presente trabajo se exponen las características más importantes, así como los criterios adversos que aparecen en la web sobre el uso de estos edulcorantes intensivos con el fin de valorar los riesgos que conlleva su utilización en la confección de los alimentos.

DESARROLLO

A continuación se presentan los perfiles de los edulcorantes intensivos más conocidos y que han sido aprobado para su consumo:

1- Nombre ACESULFAME K
1.1- Nombre químico: Potassium salt of 3,4-dihydro-6-methyl-1,2,3-oxathiazine-4-one-2,2-dioxide.
1.2- Fórmula Química:

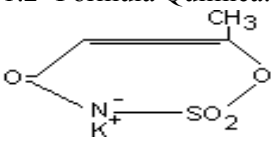


Fig. 1 Acesulfame K
1.3- Características: Polvo cristalino blanco, sin olor.
1.4- Estabilidad: Estable al calor y resiste a ser cocinado u horneado.
1.5- Dulzor: 200 +
1.6- Ingesta Diaria Aceptable (IDA): 9 mg/kg de peso corporal. corporal.

1.7- Criterios adversos : Algunos expertos del cáncer plantean que las pruebas de carcinogenicidad no son concluyentes y deben realizar pruebas mejor diseñadas y realizar estudios a largo plazo.

1.8- Ventajas

Es hipocalórico.
Sabor dulce rápidamente perceptible.
Resistente al calor y por ende adecuado para cocinar y hornear.
No provoca caries dentales.
Apto para diabéticos.
Sinérgico al combinarse con otros edulcorantes.
Realza e intensifica los sabores

1. 9- Desventajas

Cuando se le utiliza en altas concentraciones puede deja un suave regusto.

2- Nombre ALITAME

2.1- Nombre químico: L--aspartil-N-(2,2,4,4-tetrametil-3-tietaril)-D-alaninamida hidratada

2.2- Fórmula Química:

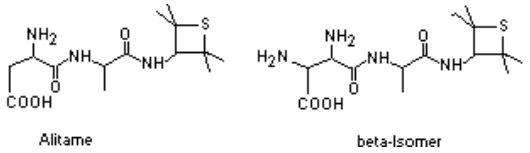


Fig. 2 Alitame

2.3- Características: Sólido cristalino blanco, polvo no higroscópico, olor característico, que es soluble en agua, alcohol y propilenglicol.

2.4- Estabilidad: Estable en un rango de pH máximo entre 5.0 y 8.0.

2.5- Dulzor: 2000+

2.6- Ingesta Diaria Aceptable (IDA): 1 mg/kg de peso corporal.

2.7- Criterios adversos: En la FDA aparece en la lista de los expedientes suspendidos por deficiencias en la solicitud.

2.8- Ventajas

Es relativamente estable a la descomposición y al calor.
Un kilogramo de alitame equivale a 2 y 3 toneladas de azúcar.
No provoca caries dentales.
Apto para diabéticos.

2.9- Desventajas

Es estable solo en un rango de pH entre 5.0 y 8.0.
Su uso debe ser muy bien controlado.

3- Nombre ASPARTAME

3.1- Nombre químico: Éster metílico de la N-L-α-aspartil-L-fenilalanina

3.2- Fórmula Química:

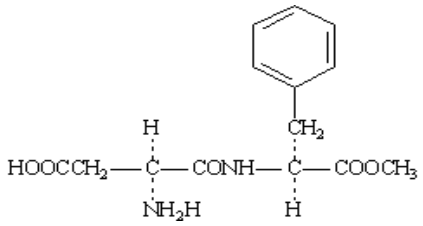


Fig. 3 Aspartame

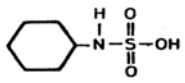
3.3- Características: Polvo blanco, inodoro, cristalino, teniendo un gusto dulce fuerte.
3.4- Estabilidad: A temperatura ambiente, se descompone alrededor de un 10% al mes.
3.5- Dulzor: 200 +
3.6- Ingesta Diaria Aceptable (IDA): 0-40 mg/kg de peso corporal.
3.7- Criterios adversos: Hay criterios de que el aspartame es la causa de docenas de problemas que van desde la visión borrosa hasta esclerosis múltiple (deterioro de la médula espinal) y enfermedad de Alzheimer (deterioro grave de las funciones del cerebro).
3.8- Ventajas

Es 200 veces más dulce que la sacarosa.
Presenta un sabor limpio sin dejar rastros de otros sabores en la boca.
No provoca caries dentales.
Apto para diabéticos.

3.9- Desventajas

No puede utilizarse en alimentos que son sometido a altas temperaturas.
Su estabilidad se reduce a lo largo del tiempo, lo que limita el periodo de almacenaje de las bebidas carbonatadas.
Humanos con fenilcetonuria no pueden consumir el aspartamo.

4- Nombre CICLAMATO
4.1- Nombre químico: Ciclohexilsulfamato de sodio
4.2- Fórmula Química:



Acido ciclámico

Fig. Ácido Ciclámico

4.3- Características: Polvo cristalino o cristal blanco, soluble en agua, levemente soluble en etanol y escasamente soluble en éter.
4.4- Estabilidad: Es muy estable, y no le afecta la acidez ni el calentamiento.
4.5- Dulzor: 30-50 +
4.6- Ingesta Diaria Aceptable (IDA): 11 mg/kg de peso corporal. corporal.
4.7- Criterios adversos: En muchos países ha sido prohibido porque se sospecha que en el intestino las bacterias pudieran transformarlo en una sustancia cancerígena.
4.8- Ventajas

Sin contenido calórico
Estable en altas y bajas temperaturas: buena vida útil
Sabor agradable
Apropiado para cocina y hornear
No provoca caries dentales.
Apto para diabéticos.
Sinérgico al combinarse con otros.

4.9- Desventajas

El ciclamato no tiene la consideración universal de aditivo alimentario sin riesgos.

5- Nombre NEOHESPERIDINA DC

5.1- Nombre químico: Neohesperidina dihidrocalcona

5.2- Fórmula Química:

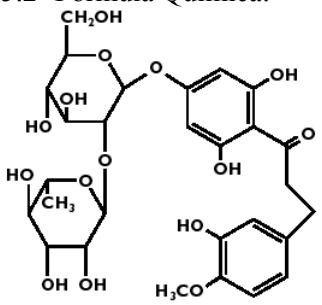


Fig. 5 Neospiridine DC

5.3- Características: Polvo blanco cristalino, soluble en agua caliente.

5.4- Estabilidad: Es estable en estado sólido.

5.5- Dulzor: 400-600 +

5.6- Ingesta Diaria Aceptable (IDA): 5 mg/kg de peso corporal. corporal.

5.7- Criterios adversos: No se plantean.

5.8- Ventajas

Presenta notables efectos sinérgico con otros edulcorantes.

Mejora el perfil de sabor general y la sensación bucal de ciertos alimentos.

Actúa más como un realzador y modificador de sabor que como edulcorante.

Tiene propiedades reductoras de sabor amargo.

Estable al calor y puede ser usada en procesos de pasteurización o de UAT (Ultra Alta Temperatura).

No provoca caries dentales.

Apto para diabéticos.

5.9- Desventajas

A altas concentraciones presenta una dulzura de larga permanencia asociada con un regusto mentolado o alicorado.

6- Nombre SACARINA

6.1- Nombre químico: Amida del ácido ortocarboxilbenzenosulfónico

6.2- Fórmula Química:

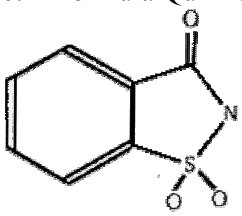


Fig. 6 Sacarina

6.3- Características: Polvo blanco cristalino.

6.4- Estabilidad: Resistente al calentamiento y a los medios ácidos.

6.5- Dulzor: 300- 500 +

6.6- Ingesta Diaria Aceptable (IDA): 5 mg/kg de peso corporal. corporal.

6.7- Criterios adversos: En los años setenta varios grupos de investigadores indicaron que dosis altas de sacarina (5% del peso total de la dieta) eran capaces de inducir la aparición de cáncer de vejiga en las ratas.

6.8- Ventajas

Es hipocalórico

Altamente estable, tiene una larga duración. Indicada para cocinar y hornear

No provoca caries dentales.
Apto para diabéticos.
Presenta efectos sinérgico con otros edulcorantes.

6.9- Desventajas

La sacarina deja un sabor amargo.
Además, se ha encontrado que causa tumores cancerosos en ratas, las cuales concentran mucha orina en sus vejigas.

7- Nombre STEVIA

7.1- Nombre químico: Stevia steviosida

7.2- Fórmula Química:

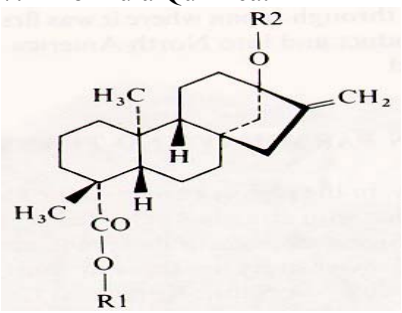


Fig. 7 Steviosido

7.3- Características: Polvo blanco, cristalino, soluble en agua y en solventes orgánicos.

7.4- Estabilidad: Muy buena estabilidad al calor, es estable en un rango amplio de pH: de 3 a 9.

7.5- Dulzor: 300 +

7.6- Ingesta Diaria Aceptable (IDA) : No Especificada

7.7- Criterios adversos: La FDA, Canadá y la Unión Europea no la han aceptado como aditivo alimenticio por existir dudas sobre las consecuencias de su ingestión.

7.8- Ventajas

Es hipocalórico
Totalmente natural
No fermenta
Exaltador de sabores
Estable a altas temperaturas
No provoca caries dentales.
Apto para diabéticos.

7.9- Desventajas

No presenta desventajas aparentes.

8- Nombre SUCRALOSA

8.1- Nombre químico: 1,6-Dicloro-1,6-dideoxy-beta-D-fructofuranosil-4-cloro-4-deoxy-alpha-D-galactopiranosido.

8.2- Fórmula Química:

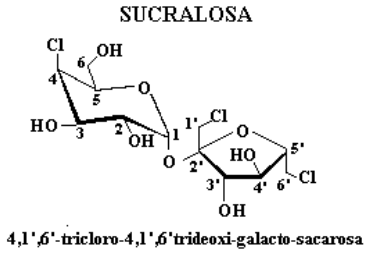


Fig. 8 Sucralosa

8.3- Características: Polvo cristalino blanco, prácticamente inodoro.

8.4- Estabilidad: Es altamente estable a temperaturas bajas o altas.

8.5- Dulzor: 650 +
8.6- Ingesta Diaria Aceptable (IDA): 5 mg/kg de peso corporal.
8.7- Criterios adversos: Investigaciones previas a la aprobación demostraron que la sucralosa provocó reducción de la glándula del timo (por encima de un 40%) y agrandó el hígado y los riñones.
8.8- Ventajas

Tiene un sabor igual que el azúcar.
No presenta regusto desagradable.
Es hipocalórico.
Es estable a altas temperaturas. Puede ser utilizada en procesos de horneado.
Es prácticamente estable en productos ácidos.
No provoca caries dentales.
Apto para diabéticos y pacientes que padecen de fenilcetonuria.
No existe ningún grupo de población excluido de usar Sucralosa.

8.9- Desventajas

No se conocen hasta el momento ninguna desventaja en el uso de la sucralosa.

9- Nombre TAUMATINA
9.1- Nombre químico: TAUMATINA
9.2- Fórmula Química:
Es una proteína de un Peso Molecular: 22204 Da y una Longitud: 207 AA.
9.3- Características: polvo cristalino.
9.4- Estabilidad: Los enlaces bisulfuros le confieren alta estabilidad térmica y mantiene la estructura terciaria de la cadena de polipéptido.
9.5- Dulzor: 2000-3000+
9.6- Ingesta Diaria Aceptable (IDA): No Especificada
9.7- Criterios adversos: No se plantean.
9.8- Ventajas

Totalmente natural
Ingrediente multifuncional con ventajas sobre los sabores y los edulcorantes
Estable en forma seca y congelada
No provoca caries dentales.
Apto para diabéticos.
Estable al calor y a la acidez
Sinérgico al combinarse con otros edulcorantes.
Agrega sensación bucal

9.9- Desventajas

Percepción retardada de la dulzura: la percepción dura largo tiempo y deja un regusto alicorado a elevados niveles de utilización.

Dentro de los edulcorantes aprobados para su consumo, algunos son naturales como la Stevia y Taumatina, otros se producen a partir de productos naturales por vía sintética como la Neoespiridina y Sucralosa y otros se obtienen mediante la síntesis química pura, como el Acesulfame K, ciclamato y sacarina y otros mediante la combinación de la biotecnología y la química como el Aspartame y Alitame.

El mercado de los edulcorantes de alta intensidad es uno de los mercados más dinámicos. De todos ellos es el Aspartame es el que más se encuentra distribuido y domina la mayor parte de los mercados.

En los Estados Unidos, el mayor consumidor de estos aditivos alimentarios y se espera que para el 2009 el comercio de estos edulcorantes aumente a 776 millones de dólares con un aumento anual de un 3% y el Aspartame que domina un 90% de este mercado será de un 70% para esa fecha debido a su desplazamiento por el Acesulfame K y la Sucralosa.

Tabla I. Demanda de edulcorantes de alta intensidad por tipos en los USA. (millones de USD)

	1999	2004	2009
Demanda de edulcorantes de alta intensidad (lb)	28 680	24 672	33 265
USD/lb	23.9	25.3	23.3
Demanda de edulcorantes de alta intensidad	685	623	776
Aspartame	550	580	535
Acesulfame k	22	60	105
Sacarina	8	10	7
Sucralosa	11	65	125
Alitame y otros		2	4

En la Tabla I se puede ver como se proyecta este mercado para los años 2004 y 2009 donde la Sucralosa se prevé que aumentará su mercado de 11 a 65 y posteriormente a 125 millones de USD desde el 1999 hasta el 2009.

La consultoría Biomundi realizó un amplio Estudio de Mercado sobre Edulcorantes enfatizando en la Sucralosa y la Estevia por encargo del ICINAZ. En este estudio se da una visión del entorno del mercado de la Sacarosa y la Estevia en América Latina y el Caribe así como el consumo de edulcorantes en Cuba.

Lo más importante de este estudio es la información obtenida del mercado cubano de edulcorantes donde se comprobó que el principal endulzante utilizado en nuestro país es el azúcar de caña y que no se producen edulcorantes intensivos.

Según el Registro Nacional Médico–Sanitario el único edulcorante que se comercializa como aditivo alimentario es una mezcla de sacarina sódica y ciclamato bajo la marca Ship Dilk® de la compañía española Azaconsa SL. Este producto se ofrece principalmente en las instalaciones turísticas.

Se detectó el consumo en la industria alimentaria de estos edulcorantes (sacarina sódica y ciclamato) los cuales son importados directamente por sus empresas, como en la Coracan S.A. que produce refrescos instantáneos.

El importador de la industria farmacéutica Farmacuba distribuye para la producción de medicamento Sacarina Sódica y Aspartamo de importación.

La Unión Suchel con sus empresas Mixtas: Suchel Camacho, Suchel Unilever y Suchel Tropical es la mayor importadora de edulcorante principalmente Sacarina Sódica.

Los volúmenes de importación de edulcorantes intensivos, aunque no se precisan detalladamente en el estudio se puede estimar que no sobrepasen las 30 toneladas anuales.

DISCUSIÓN

Lo más importante de estos edulcorantes es que son más dulces que la sacarosa, aportan muy pocas calorías al organismo, lo cual previene la obesidad, todos pueden ser consumidos por diabéticos y no producen caries. La mayoría son sinérgicos y pueden ser utilizados en mezclas disminuyendo la dosis de edulcorante a utilizar y así reduce el riesgo a la exposición del organismo a un mismo edulcorante.

Para su uso debe tenerse en cuenta los riesgos que corremos, pues como se ve en los perfiles presentados, algunos de ellos han sido prohibidos, como es el caso del Ciclamato en USA por sus propiedades

cancerígenas. La Sacarina ha pasado por momentos de suspensión de su uso en USA y otros países. El Alitame se encuentra entre los expedientes suspendidos por la FDA por deficiencias en la solicitud.

El Acesulfame K y la Sucralosa han sido aprobados como edulcorantes en la mayoría de los países sin embargo aparecen criterios adversos respecto a su seguridad porque no se consideran confiables las pruebas realizadas, no existen pruebas a largo plazo o las realizadas demostraban que causaban problemas a la salud.

Desde su descubrimiento en 1965, el aspartame ha sido ampliamente estudiado por las agencias reguladoras de más de 100 países y por organizaciones científicas importantes.

Los estudios del aspartame en literatura médica contienen la correlación siguiente. De los 166 estudios importantes para la cuestión de la seguridad humana, 74 tenían financiamiento relacionado con la firma comercial Nustrasweet® (firma productora de aspartame) y 92 fueron financiados independientemente.

El 100% de la investigación que financió la firma comercial atestiguada la seguridad del aspartamo, mientras que el 92% de la investigación financiada independientemente identificaron algunos problemas.

Algunos de los síntomas que se encontraron fueron:

Dolor de cabeza, jaqueca, vértigos, cambios del humor, pérdida de la memoria, náusea, diarrea, dolor abdominal, disturbio de la visión, fatiga, debilidad, disturbio del sueño y erupción en la piel. También problemas circulatorio como: entumecimiento y palpitaciones.

La Stevia no ha sido aprobada como edulcorante en USA, Canadá y La Unión Europea por sus dudas en cuanto a su seguridad sin embargo a sido consumida por los indios guaraníes desde hace cientos de años.

Como se pudo ver anteriormente, todo parece indicar que la aprobación de un producto para su uso en alimento no deja de estar influenciada por el factor económico dirigido por las grandes empresas que monopolizan el mercado de estos productos. Por lo tanto, los que importan, utilizan en la elaboración de alimentos y medicamentos, así como los que ofrecen estos productos en las instalaciones para el turismo, tienen que estar bien informados e informar a la población sobre los riesgos que corren al consumir cada uno de estos edulcorantes.

Como se pudo ver en el estudio de mercado, en Cuba se importan los tres edulcorantes más debatidos por los problemas que causan a la salud.

Conclusiones:

La utilización de los edulcorantes intensivos reporta beneficios económicos al poder sustituir grandes cantidades azúcar.

Los edulcorantes intensivos aportan muy pocas calorías al organismo, lo cual previene la obesidad.

Los edulcorantes intensivos pueden ser consumidos por diabéticos y no producen caries.

La mayoría son sinérgicos y pueden ser utilizados en mezclas disminuyendo la dosis de edulcorante a utilizar y así reduce el riesgo a la exposición del organismo a un mismo edulcorante.

En Cuba se importan los tres edulcorantes más debatidos por los problemas que causan a la salud.

Recomendaciones:

Los que importan, utilizan en la elaboración de alimentos y medicamentos, así como los que ofrecen estos productos en las instalaciones para el turismo, tienen que estar bien informados e informar a la población sobre los riesgos que corren al consumir cada uno de estos edulcorantes.

Bibliografía

1. Jacobson M. F., L. Lefferts and A. Garland Acesulfame-K Toxicity Information Center. http://www.holisticmed.com/acek/.

2. Acesulfame potassium. http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v16je02.htm.

3. C.C.C. Low Carlorie Sweeteners. Acesulfame http://www.caloriecontrol.org/acesulf.html

4. C.C.C. Low-Calories Sweeteners. Alitame. http://www.caloriecontrol.org/alitame.html

5. Aspartame (NutraSweet) Toxicity Info Center. www.holisticmed.com/aspartame/

6. Información del Aspartame en español. www.presidiotex.com/asparspan

7. Aspartame Dangers Revealed!. www.sweetpoison.com/

8. Cyclamate. History. http://www.fangda.com.hk/english/

9. Low Calolries Sweeterness. Cyclamate. http://www.caloriecontrol.org/cyclamat.html.

10. Toxicological evaluation of some flavouring substances and non-nutritive sweetening agents. http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v44aje35.htm

11. Neohesperidine Dihydrochalcone (NHDC). http://www.evesa.com/product/nhdc.html.

12. Sobredosis de sacarina - Información general. http://pcs.adam.com/ency/article/002686.htm

13. Sacarina. http://www.farmaciasahumada.cl/stores/fasa/html/Mft/drogas/d765.htm

14. The Sweet Secret of Stevia. http://www.practicalhippie.com/stevia.htm.

15. Todo sobre la Stevia http://www.geocities.com/iesnchile/todostevia.html

16. Official Sucralose Site - What is sucralose (Splenda)? (Made from sugar, but without any calories). http://www.officialsucralosesite.com/what

17. Mercola J. The Potential Dangers of Sucralose. http://www.mercola.com/2000/dec/3/sucralose_dangers.htm

18. Thaumatin. http://www.finchcms.edu/cms/biochem/walters/sweet/thaumatin.html

19. González I. y N. García, Biomundi. Estudio de Mercado Sobre los Edulcorantes. 2002.