MEMORIAS

DIVERSIFICACION 2008

Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados

ICIDCA
Instituto Cubano de Investigaciones
de los Derivados de la Caña de Azúcar

PDVSA
Agrícola
República Bolivariana de Venezuela

Fondo
de Modernización
del Estado

DIVERSIFICACION 2008

Nota de la Casa Editorial ICIDCA

El contenido y formato de los trabajos es responsabilidad individual de cada uno de sus autores.

ALCOHOL Y BEBIDAS

EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE DETERMINACIÓN DEL BRIX POR REFRACTOMETRÍA EN DESTILERÍAS

Autores: Verónica Navarro Hernández[*]; Milagros Aguirre Lois[**]; Oscar Queris Hernández[***]; Juan F. Burunate Hernández[****].

[*] Grupo de Control de Calidad. Dirección de Calidad. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Carretera de Tapaste y 8 Vías. APDO 10: San José de las Lajas. La Habana. Cuba. veronica@censa.edu.cu
[**] Laboratorio de Control de Calidad. Ronera Las Guasimas. Carretera de Managua. Ciudad de la Habana.
[***] Planta de Bebidas. Instituto de Investigación para la Industria Alimenticia (IIIA). Carretera al GUATAO, Km 31/2, La Lisa, Ciudad de la Habana. noalores@infomed.sld.cu
[****] Departamento de Producción. Destilería Habana. Calle F Esq. a 12, Lawton, 10 de octubre. Ciudad de la Habana.

RESUMEN

La determinación del brix tiene gran importancia en la industria alcoholera, ya que permite controlar el proceso dentro de la producción de alcohol y calcular además la eficiencia. En esta industria se utiliza tradicionalmente la determinación de sólidos disueltos o lo que es lo mismo el porcentaje en peso de azúcar o grados brix mediante el método del areómetro para miel final, miel diluida y miel fermentada.
El uso y empleo del refractómetro en la medición del brix en las destilerías, no es común, haciéndose difícil un seguimiento de la medición del brix durante la fermentación alcohólica en miel fermentada.
El presente trabajo expone datos comparativos de mediciones del brix por refractómetro y por aerómetro durante el proceso de fermentación en los fermentadores de una destilería Cubana partiendo de la necesidad de encontrar un método rápido y más fácil de realizar no como técnica analítica de laboratorio, sino por los operarios que trabajan en la sala de fermentación de una destilería, además de permitir datos confiables con una menor cantidad de muestra y la conservación del aparato medidor (refractómetro de mano), por un tiempo útil mayor que los aerómetros de cristal utilizados tradicionalmente y que son más fáciles de romperse. Los resultados evidenciaron que ambos métodos son válidos para su uso en Destilerías.

Palabras clave: Brix, refractómetro, aerómetro, miel fermentada.

ABSTRACT

The determination of brix is of great importance in the industry Distilleries, since it allows to control the process inside the production of alcohol and also calculate efficiency. The industry is traditionally used Distilleries determining dissolved solids or what is the same percentage by weight of sugar or degrees brix using the method of areómetro for final cane molasses diluted cane molasses and fermented cane molasses.
The use and use of a refractometer measurement brix in the distilleries, is not common, making it difficult to monitor the measurement of brix during fermentation in alcoholic fermented cane molasses.
This paper presents comparative data on measurements of brix by refractometer and aerómetro during the fermentation process in the fermenters a Cuban distillery on the need to find a quick and easier to perform not as analytical laboratory technique, but because operatives working in the fermentation room of a

distillery, in addition to allowing reliable data with fewer shows and maintenance of the apparatus meter (refractometer hand) for a good time aerómetros higher than the traditionally used glass and are easier to break. The results showed that both methods are factible to use in distillery.

Key words: Brix, refractometer, aerometer, fermented cane molasses.

INTRODUCCIÓN

La fermentación alcohólica es la reacción enzimática más antigua conocida. Se creía que este fenómeno y otros similares eran reacciones espontáneas.

En el proceso de obtención de alcohol la fermentación es la etapa más importante, pues además de ser esta etapa de formación del mismo, es también la que rige el consumo de miel, que equivale al 50 - 80 % de los costos de producción, además de la formación del dióxido de carbono, la reproducción de la levadura y la formación de congéneres que influyen grandemente en la formación de los productos finales. Se plantea que en el proceso de fermentación se debe alcanzar una eficiencia de 80 – 90 % debido a que el 10 – 15 % de los azúcares fermentables lo utilizan las levaduras para su metabolismo y reproducción.
En Cuba el sustrato utilizado para la producción de etanol por vía fermentativa es la miel final de caña de azúcar.
El proceso de fermentación discontinua, es el más generalizado y consiste en realizar las fermentaciones en fermentadores independientes unos de otros mediante la adición en cada uno de ellos del fermento (cultivo de levaduras en miel diluida) y la miel diluida.
En la etapa de llenado del fermentador como un paso más en el desarrollo y multiplicación de las levaduras los podemos acometer de 3 formas diferentes:

1. De modo lento y continuo.
2. En tres o más etapas de llenado llamadas “refrescos”.
3. De modo rápido y continuo.

La elección del método depende fundamentalmente de los recursos de refrigeración disponibles, ya que el propósito es evitar la elevación de la temperatura más allá de los niveles aceptados por nuestros microorganismos según lo reportado por David (1986) y Navarro (2003).
Para obtener etanol es necesario primeramente la reproducción de las células de los microorganismos empleados en el proceso, ya que a mayor población de microorganismos en el proceso obtendremos mayor cantidad de etanol. Según estos autores, esto se logra con la fermentación aeróbica que no es más que una fermentación con oxigeno necesario para que los microorganismos se multipliquen (Sánchez, 1996).
La fermentación anaeróbica es la etapa final del proceso de fermentación. Es el más sencillo y primitivo de mecanismo biológico que permite la obtención de energía de las moléculas nutritivas. Impacto de la medición del grado Brix en la calidad del alcohol etílico.
El cumplimiento del esquema de control de la fermentación es vital para lograr un alcohol etílico con calidad, siendo uno la medición del grado Brix uno de los factores más importante, por lo que periódicamente durante el proceso se controla su grado para conocer el desarrollo de la fermentación. Cuando determinaciones consecutivas de este parámetro tengan el mismo resultado numérico, la fermentación ha terminado. El tiempo de duración del proceso es de aproximadamente 24 horas.
El grado Brix que se alimenta a los fermentadores se calcula sobre la base de los azúcares totales de la miel final, el grado Brix y el porcentaje de alcohol que se desee obtener, según la calidad de las mieles
En las Destilerías Cubanas como medida de control durante el proceso de fermentación en las salas de fermentación, se utiliza el método de determinación del Brix aerómetrico de forma directa. Es conocida la importancia de que los operarios de la sala cumplan estrictamente con el esquema de control de mediciones de Brix para ir valorando el avance de la fermentación y determinar el justo momento en que finalice la

fermentación no solo de forma visual, al cesar la movilidad por escape de dióxido de carbono en los fermentadores.

Factores que inciden en el no cumplimiento del esquema de control

El seguimiento del proceso fermentativo en nuestras Destilerías se dificulta a veces por la escasez de los Aerómetros Brix y los Baumé y por la facilidad de sufrir roturas constantemente al ser utilizados por los operarios durante el proceso continuo por lo que si se logra demostrar la confiabilidad y rapidez en los datos de las mediciones del Brix por el Refractómetro se resolvería el seguimiento del proceso fermentativo de las dos maneras y se obtendrían resultados más alentadores de eficiencia al poder cumplir con las exigencias del Esquema de Control.

Importancia del uso de métodos de control de la calidad en fermentación alcohólica.

Al utilizar métodos de control de calidad en la fermentación estamos controlando no solo el proceso de fermentación como tal, sino también estamos teniendo un control económico de la Destilería, ya que el costo de la tonelada de miel incide directamente en las ganancias de la Destilería. El método que se utiliza tradicionalmente es la determinación del Brix mediante el Aerómetro

El método de determinación del Brix mediante el Aerómetro se basa en el empuje que experimenta cualquier cuerpo sumergido en una fase líquida o gaseosa y en la proporcionalidad que existe en dicho empuje, esto se llama Brix aparente. La determinación aerométrica de los sólidos disueltos puede utilizarse para obtener la masa de solutos en solución, la que fundamentalmente esta compuesta por sacarosa, sustancia utilizada para graduar los aerómetros Brix, por lo tanto, con ellos se determina sacarosa real en soluciones acuosas puras, lo que se conoce como Brix (Colectivo de autores, 1982).

Como método alternativo estamos evaluando la determinación del Brix por Refractómetro.

La determinación del Brix refractómetrico en principio se basa en el fenómeno que experimenta un rayo de luz, con longitud de onda definida cuando atraviesa dos fases con diferente densidad óptica.

La refracción entre el seno del ángulo incidente y el del refractado se denomina índice de refracción y constituye una constante física confiable para identificar sustancias y/o determinar la concentración de soluciones. Aunque la escala refractómetrica se define a 20 ^{0}C existen tablas para corregir los valores obtenidos a otras temperaturas.

El método del refractómetro se emplea en la Industria Azucarera por su sencillez y rapidez al obtener resultados. Según la ICUMSA este método mantiene status aceptable (IMCUSA, 1994)

La literatura plantea que el método refractométrico para la determinación de sólidos disueltos es aplicable a los productos iniciales, intermedios y subproductos en el control del proceso de fabricación del azúcar y en la comercialización de las mieles.

El Refractómetro que se utiliza por lo regular es del tipo ABBE, que permite leer soluciones oscuras y aprecia 0.2 ^{0}Br.

Este trabajo plantea como objetivo general: evaluar la posibilidad del uso del método de medición del Brix por Refractómetro en miel fermentada para hacer mediciones con datos confiables y rápidos con una menor cantidad de muestra y que facilite el trabajo de los operarios en el seguimiento de la fermentación alcohólica, resultado más económico al evitar las condiciones roturas de los aerómetros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon los instrumentos Refractómetro de mano del tipo ERMA % Bx, y el Aerómetro Brix, calibrados a 15 ° C.

Para realizar las determinaciones se emplearon los métodos de determinación directa del Brix por Aerómetro según Manual del MINAZ (1982) y el de determinación directa del Brix por Refractometría. Ambas metodologías se emplearon de forma comparativa en cada una de las muestras.

Las determinaciones se realizaron en baticiones fermentadas (n= 100). Se tomaron muestras de siete fermentadores cada dos horas, realizándose en paralelo mediciones de los sólidos disueltos por refractometría y por aerometría. Se realizó análisis de regresión y análisis de varianza, por el sistema Excel y el paqueta SAS, versión 9,0. Se compararon los resultados de los métodos por análisis de regresión y análisis de varianza, tamandose como fuente de variación los equipos y los métodos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ciclo de fermentación fluctuó entre 16 – 28 horas, tomando como el final de la fermentación cuando se agota todo el azúcar existente en el fermentador y dos mediciones de Brix consecutivas con un período de 2 horas dan la misma lectura.

Tabla I. Lecturas del Brix obtenido en miel fermentada

Muestra	Areómetro (Bx)	Refractómetro (Bx)	Diferencia (Bx)
1	13.5	14.0	0.5
2	12.7	13.5	0.8
3	11.9	13.0	1.1
4	11.1	12.0	0.9
5	10.8	11.7	0.9
6	10.5	11.3	0.8
7	9.8	10.8	1.0
8	9.6	10.4	0.8
9	8.8	9.5	0.7
10	7.7	8.7	1.0
11	7.3	8.0	0.7
12	6.7	7.6	0.9
13	6.7	7.6	0.9
14	13.0	14.0	1.0
15	12.6	13.6	1.0
16	11.7	12.6	0.9
17	10.8	11.7	0.9
18	9.8	10.5	0.7
19	9.6	10.3	0.7
20	8.1	8.9	0.8
21	7.7	8.6	0.9
22	7.3	8.1	0.4
23	6.9	7.7	0.8
24	6.7	7.4	0.7
25	6.5	7.3	0.8
26	6.5	7.3	0.8
27	12.6	13.4	0.8
28	11.3	12.2	0.9
29	11.4	11.9	0.5
30	11.5	12.0	0.5
31	11.1	11.6	0.5

32	10.8	11.6	0.8
33	9.8	10.7	0.9
34	8.9	9.8	0.9
35	8.0	8.8	0.8
36	7.7	8.4	0.7
37	6.7	7.4	0.7
38	6.2	6.7	0.5
39	5.8	6.2	0.4
40	5.8	6.2	0.4
41	13.5	14.5	1.0
42	12.6	13.5	0.9
43	11.9	12.8	0.9
44	10.3	11.0	0.7
45	9.8	10.3	0.5
46	9.0	9.7	0.7
47	8.7	9.2	0.5
48	8.1	8.6	0.5
49	7.0	7.7	0.7
50	6.9	7.5	0.6
51	6.0	6.5	0.5
52	5.9	6.5	0.6
53	4.6	5.1	0.6
54	4.6	5.1	0.6
55	14.0	15.0	1.0
56	13.5	14.3	0.8
57	12.6	13.4	0.8
58	11.8	12.5	0.5
59	11.6	12.0	0.4
60	11.1	11.6	0.5
61	10.8	11.4	0.6
62	9.3	9.6	0.3
63	8.3	8.5	0.2
64	7.7	8.2	0.5
65	6.9	7.5	0.6
66	6.0	6.8	0.8
67	5.9	6.4	0.5
68	5.9	6.4	0.5
69	14.4	14.8	0.4
70	13.5	14.4	0.9
71	12.7	13.3	0.6
72	11.0	11.7	0.7
73	10.9	11.5	0.6
74	10.3	10.7	0.4
75	9.8	10.3	0.5
76	9.0	9.6	0.6
77	8.7	9.5	0.8
78	7.0	8.0	1.0
79	9.0	9.6	0.6

80	8.7	9.5	0.8
81	7.0	8.0	1.0
82	6.9	7.6	0.7
83	5.0	5.9	0.9
84	4.6	5.4	0.8
85	4.6	5.4	0.8
86	14.0	14.8	0.8
87	13.5	14.2	0.7
88	12.6	13.1	0.5
89	11.9	12.4	0.5
90	11.1	11.7	0.6
91	10.0	10.6	0.6
92	9.8	10.4	0.6
93	8.9	9.4	0.5
94	8.0	8.8	0.8
95	7.7	8.0	0.3
96	6.7	7.0	0.3
97	6.3	6.5	0.2
98	5.8	6.0	0.2
99	5.5	5.7	0.2
100	5.5	5.7	0.2

Los resultados de la Tabla I, muestran diferencias entre ambos métodos que van desde 0,2 hasta 1,1 Bx cuando se analiza una misma muestra. Los resultados obtenidos en el seguimiento de la fermentación bajo las condiciones de una destilería cubana nos ayudan a pensar en la posibilidad de la utilización del refractómetro en las mieles fermentadas de acuerdo a los valores reflejados en la tabla 1 observándose que las diferencias entre los métodos no son tan representativas si consideramos que siempre existe la posibilidad de error de paralaje y de la diferencia del modo de lectura y de trabajo entre los operadores de cada Destilería, además de las condiciones de cada una de ellas.

Por otra parte, la figura 1 muestra la relación obtenida entre la medición del Brix por refractómetro y por el densímetro donde se observa que se obtiene un coeficiente $r^2 = 0.9941$ altamente satisfactorio para mediciones de este tipo.

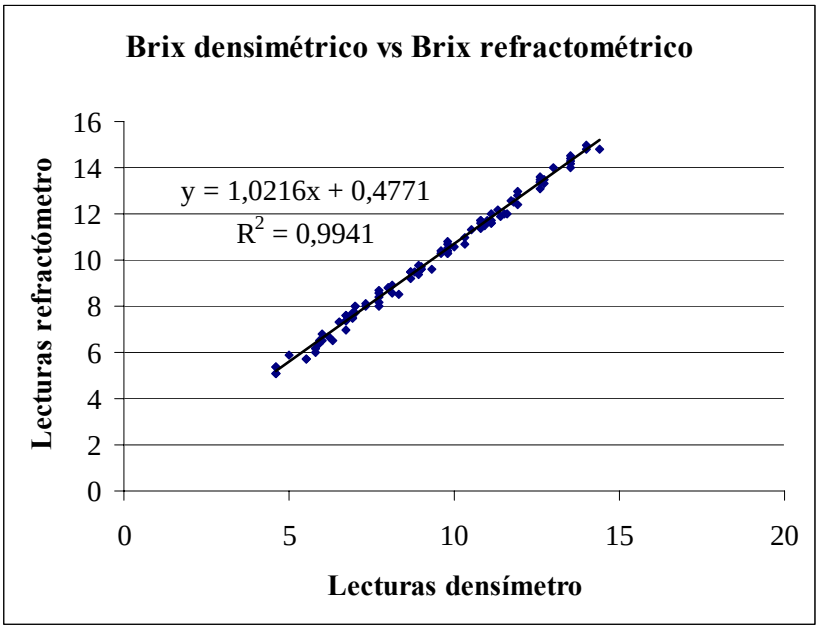


Figura 1. Relación de las mediciones del brix por ambos métodos

Con la evaluación del método de refracción se garantiza la obtención de valores similares a los del método de referencia, además de constituir una variante más económica y práctica en las condiciones de las destilerías cubanas, al requerir menor cantidad de muestras y mayor durabilidad de este tipo de instrumentación.

El análisis estadístico de los resultados demostró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos ($p>0,05$), al aplicar análisis de varianzas bifactorial, lo que demuestra que los resultados obtenidos, por ambos métodos, son comparables (Sistema estadístico SAS 9.0), lo que permite utilizar el método de refracción en destilerías como método de trabajo. El análisis de la regresión como método estadístico aportó resultados similares con una $r = 0.9941$ lo que demuestra la alta correlación entre ambos métodos. Igualmente se evidenció que no existe influencia del proceso (fermentación) en los resultados al procesar los datos de los diferentes fermentadores estudiados. No se ha encontrado en la literatura referencia alguna al método de refracción en miel fermentada.

A pesar de los resultados obtenidos que demuestran la factibilidad técnica del método propuesto, se requiere extremar las condiciones de operación debido a la existencia de factores ambientales (iluminación, temperatura) que pueden incidir en la precisión y exactitud de los resultados, además de requisitos adecuados en la manipulación de las muestras (formación de espumas) que pueden interferir en las mediciones.

CONCLUSIONES

1. Se compararon las mediciones de Brix en miel fermentada utilizando los dos métodos de forma directa en una sala de fermentación obteniéndose una ecuación que relaciona ambos métodos.
2. Se demostró la efectividad del método de medición del Brix refractómetrico en miel fermentada en las condiciones de una Destilería Cubana.

3. Se facilita el trabajo de los operadores en la sala de fermentación al utilizar menor cantidad de muestras.
4. La utilización del refractómetro para el seguimiento de la fermentación por los operadores, contribuye al ahorro económico bajo las condiciones de las Destilerías en Cuba, ya que los aerómetros son fáciles de romperse por ser de vidrio y muchas veces no aparecen los sustitutos inmediatamente y el cumplimiento del Esquema de Control de la fermentación se incumple por falta de datos y se destilan los fermentadores sin saber exactamente si la fermentación terminó, basándose solamente en la observación visual y la experiencia.

REFERENCIAS

1. Colectivo de autores MINAZ. (1982). Manual Analítico de Control Unificado para la producción de azúcar crudo. DNMCC. MINAZ.
2. David, E. (1986). Caña, Azúcar y Alcohol. Cenca. MINAZ.
3. Hobart, H., Willard, A. (1987). Instrumental Methods of Analysis.
4. ICUMSA. (1994). Method Book.
5. ICUMSA. (1994). Proc 20th Session.
6. Navarro, H. V. (2003). Tecnología de avanzada en la producción de alcohol etílico. Reporte cátedra fundamentos bioquímicos y microbiológicos. Facultad de Ing. Química CUJAE.
7. Sánchez, C. O. (1996). Monografía, Obtención de bioetanol. CENDA. Cuba.
8. Sistema estadístico SAS. (2006). Versión 9.0.
9. Sistema estadístico Microsoft Excel XP. Versión 10. (2001).

METODO DE FERMENTACION ACOSTA PARA OBTENER CONCENTRACIONES DE ALCOHOLES SUPERIORES EN AGUARDIENTES MENORES DE 350MG/L.

Autor: Delvis Rafael Acosta Martínez.
Dra. Josefina A. Jover de la Prida.

Email: damartinez@uclv.edu.cu
Dpto de Ingeniería Química. Universidad Central de Las Villas.

Resumen

El método de fermentación Acosta para obtener concentraciones de alcoholes superiores en aguardientes menores de 350 mg/l, no es mas que una interrupción del proceso de fermentación llevado a cabo por la *Saccharomyces cerevisiae* en la producción de etanol, desviando su ruta metabólica hacia la formación de biomasa, logrando en cierto punto de la fermentación alcohólica un equilibrio entre la concentración de etanol formada y la concentración de alcoholes superiores, siendo esta ultima mínima aumentando así las producciones de bebidas y licores los cuales le incrementan la entrada de divisa al país para el crecimiento de su economía.

Palabras clave: alcoholes superiores, fermentación, aguardiente.

Summary

The method of Acosta fermentation to obtain concentrations of alcohol superiors in smaller brandies of 350 mg/l, is not but that an interruption of the process of carried out fermentation by the *Saccharomyces cerevisiae* in the ethanol production, turning aside its metabolic route towards the formation of biomass, obtaining in certain point of the alcoholic fermentation a balance between the formed concentration of ethanol and superiors alcohol concentration, being this completes minimum increasing therefore the rhum productions and liquors which increase the entrance to him from currency to the country for the growth of their economy.

Key words: alcohol superiors, fermentation, rhum

Introducción

La necesidad de incrementar el desarrollo de tecnologías y nuevos productos derivados de la caña de azúcar es unas de las temáticas actuales, de gran interés para el país ya que se quiere lograr la eficiencia en las producciones y con esto aumentar la economía del país.

Es bueno destacar que para hacer un buen ron se requiere que alrededor del 10% de su composición lo constituya aguardiente añejo de alta calidad, de ahí la importancia de contar con procedimientos que garanticen la producción de dicho componente en las destilerías, en la actualidad se necesita también, de significativos volúmenes de soleras para lograr incrementos productivos que posibiliten satisfacer la demanda, consecuencia de su creciente aceptación en el mercado nacional e internacional.

En la industria alcoholera desde hace años se busca una tecnología de fabricación del aguardiente crudo a partir de azúcar de caña con la que el mismo tenga una calidad extrema para su posterior utilización en la fabricación de diferentes bebidas y licores.

Es por tanto, que partiendo del interés que existe, por las mejoras que ocasiona para el mercado la producción de aguardiente crudo de azúcar de caña y tratando de buscar una tecnología relevante para la producción del mismo, se realiza el presente trabajo en la destilería "Santa Fé", ubicada en la provincia de Villa Clara.

La producción de aguardiente se realiza a partir de las melazas o mieles finales del proceso de producción de azúcar de caña.
En estas mieles finales se acumulan la mayor cantidad de los no azúcares contenidos en el jugo de la caña, La composición de las melazas es muy variable, se reportan más de 200 sustancias formando parte de las mismas, entre las más sobresalientes están :
a) Los azúcares fermentables: la sacarosa con un 35.53%, la glucosa 9.90% y la fructosa 10.04%.
b) No azúcares orgánicos nitrogenados: El nitrógeno total que contienen las melazas llega desde 0.4 a 0.6% y de esto el nitrógeno asimilable es la mitad o menor. La mayor cantidad de estos elementos son aminoácidos, proteínas y nitrógeno amoniacal.
c) No azúcares orgánicos no nitrogenados: están compuestos por materiales oscurecedores o colorantes, que generalmente se producen por las reacciones de los azúcares reductores con los aminoácidos (reacción de Maillard) como resultado se obtienen productos de color oscuro tales como las melanoidinas, caramelos, derivados del furfural, aldehídos, y otras sustancias colorantes.
d) Ácidos no nitrogenados: entre los que se encuentran los ácidos volátiles que ocupan cerca del 70% de la acidez total de las mieles , los principales son el ácido acético, butírico, isobutírico, fórmico, propiónico y valérico. Los ácidos orgánicos tales como málico, láctico aconítico y cítrico, y los ácidos grasos : laúrico, mirístico, palmítico, esteárico, oleíco y linoleico. Con los ácidos hay que tener una atención especial debido a su influencia negativa en la fermentación alcohólica.
e) Vitaminas: Este es uno de los grupos de compuestos de mayor importancia en la industria fermentativa por constituir catalizadores de la reacción de las levaduras. Estas son estables al calor y al medio alcalino y quedan concentradas en las mieles. Las vitaminas más significativas son el ácido pantoténico e isonitol aunque se puede encontrar en menor medida riboflavina, niacina y la tiamina.
f) Los no azúcares inorgánicos están compuestos por más de 20 metales y no metales, los que se agrupan fundamentalmente en cenizas y trazas, en estas últimas se hallan: plomo, molibdeno, vanadio, plata, titanio, cobre, cromo, bario, cinc, silicio y estaño.
Se ha demostrado también que la miel contiene varios aminoácidos, entre ellos valina y leucina, de acuerdo con la reacción de Ehrlich, la valina produce isobutanol (2- metil-1- propanol) y la leucina produce alcohol isoamílico (3- metil-1-butanol) y la isoleucina produce alcohol amílico (2-metil-1-butanol). Esta reacción juega un papel importante en la formación de los aceites de fusel específicos pero la concentración de los aminoácidos en el mosto no es lo suficientemente alta como para la formación de la cantidad de estos compuestos de aceite de fusel. Se plantea que otra vía de formación de estos compuestos es directamente de la glucosa o del perecimiento de microorganismos durante el envejecimiento de la fermentación. En fin se concluye que el 75% de los alcoholes superiores (isobutílico, isoamílico y amílico) son formados de azúcares y el 25% por denominación oxidativa de los aminoácidos. Las células de levaduras sintetizan alcoholes superiores por rutas comunes en ciertas reacciones con la síntesis de aminoácidos homólogos. Los aminoácidos pueden provenir de las mieles y de las células de levaduras.

Parte Experimental.
Desde hace mucho tiempo la industria alcoholera cubana busca con creses un método fermentativo por el cual se obtenga aguardiente crudo de caña de concentraciones de alcoholes superiores menores de 350 mg/L, es por ello que se iniciaron una serie de estudios los cuales llevaron hacia un método de fermentación alcohólica al que denominamos "Acosta".

Como se sabe la concentración de Alcoholes Superiores aumenta con el paso de la fermentación alcohólica llegando hasta valores sumamente grandes, es por ello que en cierto punto del proceso se interrumpe la ruta metabólica de la *Saccharomyces cerevisiae* como productora de etanol. Este microorganismo se encamina a la formación de biomasa producto el cual es tratado en la planta de recuperación del mismo sin afectar el índice de consumo de miel en la fábrica.

Para comenzar se caracterizó una miel final con los siguientes resultados:

Brix 84.32^0 Bx

Densidad 1.44062 g/L

pH 5.7

Azúcares Fermentables 57.866 g/L

Azúcares Infermentables 3.062 g/L

Lodos 7.389 %

Se realiza un seguimiento del comportamiento de varias variables durante la fermentación utilizando el método tradicional de las destilerías cubanas (Tabla I) y utilizando el propuesto (Tabla II).

Hora	Bx	T^0 C	pH	C	V	B	Art	A	AS
11:00	13.4	26	4.9	72	100	2.0	22	0.8	220
1:00	12.4	26	4.9	138	99	3.5	21	1.0	230
3:00	11.5	28	4.7	142	99	3.5	18	1.4	333
5:00	9.76	29	4.2	100	90	3.8	12	2.5	368
7:00	9.22	30	4.0	83	90	5.0	11	3.4	400
9:00	7.91	31	4.0	69	90	6.1	9	3.9	438
11:00	6.25	29	4.0	60	90	7.7	8	4.8	520

Tabla I. Resultados de las variables principales por el método tradicional

Hora	Bx	T^0 C	pH	C	V	B	Art	A	AS
11:00	13.8	26	5.0	79.5	100	2.89	22.8	0.81	213
1:00	12.76	26	5.0	80	100	3.20	19.8	1.4	240
3:00	10.19	28	4.7	162	99	4.00	19.0	2.8	299
5:00	10.33	30	4.2	225	97	4.50	12.2	2.56	260
7:00	7.59	30	4.0	238	100	5.21	11.0	2.89	291
9:00	7.15	27	4.0	250	100	10.2	10.5	3.70	305
11:00	5.61	27	4.0	300	99	12.12	9.5	4.50	300

Tabla II. Resultados de las variables principales por el método propuesto

Leyenda
Bx: grados Brix
C : conteo celular , 10^6 células/ mL
V: viabilidad en %
B: biomasa , g/L
Art: g/L
A: % alcohólico
AS: alcoholes superiores, mg/L

Comparando las tablas I y II se aprecia que hay una diferencia significativa entre el método tradicional y el propuesto para la obtención de aguardientes, con concentraciones de alcoholes superiores menores de 350 mg/L. Luego si se tiene en cuenta un buen % de remoción de la columna de destilación y una buena operatividad del equipo se obtendrán concentraciones de alcoholes superiores muy por debajo de los 300 mg/L, aplicando el método propuesto. Para este método se necesita de fermentadores provistos de una conexión para aire.

En el caso del prefermento se desarrollara en los prefermentadotes con las mismas exigencias del etanol estando listo cuando este alcance conteos celulares no menores de 200 millones de células por mililitro de caldo fermentado. Las condiciones de asepsia del proceso son las establecidas para la producción de etanol.

Método Acosta para obtener Aguardientes con concentraciones de Alcoholes Superiores menores de 350mg/l.

- Primero se añade al fermentador un volumen de miel al Brix de corrida orientado por el laboratorio para la producción de alcohol.
- A este fermentador también se le añaden fosfato de amonio, de sulfato de amonio y nutriente de levadura en cantidades adecuadas para una buena y mas rápida fermentación.
- Luego se hace llegar al fermentador el prefermento listo para ser inoculado en el colchón antes preparado así evitamos el maltrato de la cepa, después de observar el comienzo de la fermentación la cual se observa en aproximadamente 10 minutos.
- Se añade la siembra del fermentador con la miel diluida al Brix de corrida orientado por el laboratorio para la producción de alcohol.
- Cuando esta siembra halla descendido el 70% del Brix con que fue sembrado se le añade un refresco que no es mas que un volumen de miel diluida al Brix de refresco orientado por el laboratorio para la producción de alcohol, que tiene como objetivo enfriar un poco el sistema el cual en este momento tiene una temperatura casi fatal para la levadura, además de diluir un poco los alcoholes superiores que hasta el momento se han formado conjuntamente con el etanol. Este refresco alcanza el volumen total del fermentador.
- Al cabo de dos horas y media el % alcohólico del fermentador se encontrara entre 4 y 5 %. La biomasa formada es luego tratada en la planta de recuperación de levadura como alta fuente proteíca para la alimentación animal.
- Al cabo de dos horas y medias ya el Brix habrá bajado y el % alcohólico subido como resultado de la conversión de los azúcares por la levadura durante la fermentación, los alcoholes superiores que hasta entonces se habrán formados se encuentran en concentraciones de entre 300 y 315 mg/L. Luego durante la destilación teniendo en cuenta el % de remoción de la columna y logrando una buena operación se obtienen valores de aproximadamente 250 a 260 mg/L Este es el punto óptimo para lograr que la cepa del microorganismo nos entregue un % alcohólico deseado con concentraciones bajas de alcoholes superiores y se mantenga la eficiencia de la fermentación.

El déficit de producción esta dada principalmente por la falta de aguardiente crudo de azúcar de caña para las fabricaciones de bodega. Entonces si se obtiene una producción normal de aguardiente con calidad sin necesidad de afectar la producción del ron por no poseer el aguardiente de alta calidad incrementaríamos la producción de aguardiente y paralelamente a ésta la de ron, lo cual representaría un aumento de los ingresos totales de la empresa y a su vez del país.

Conclusiones

1. Se logra obtener un aguardiente con concentración de alcoholes superiores menor de 350 mg/L, lo cual es importante para la industria ronera cubana.

2. Se confirma la viabilidad técnica y operacional de producir aguardiente por el método propuesto en el presente trabajo en las instalaciones existentes en la destilería Santa Fé.

Recomendaciones

1. Se recomienda al Dpto de Derivados del MINAZ tome en consideración la presente propuesta para poner en práctica el método elaborado por los autores y dar seguimiento a nuevos estudios sobre este tema con el objetivo de profundizar en el mismo.

Bibliografía

1. Biart J. (1982) Estudio de las mieles finales de la caña de azúcar. Edición Científico Técnico, La Habana, Cuba.
2. Jover, J. (1998) Caracterización de la fermentación alcohólica y su incidencia en la calidad. Tesis en Opción al Grado de Master en Bioquímica. ISCMVC, Cuba.
3. Manual de los derivados de la caña de azúcar, (1992) México, (Geplacea ed.).
4. Sentheshanmugathanan, S. (1990), *Biochem J.* 74 , 568-576.

ANALISIS DEL PROCESO DE DESTILACION ALCOHOLICA UTILIZANDO LA HERRAMIENTA DE SOFTWARE DESTILA 5.0

Rafael Hurtado, Mauricio Ribas y Raúl Sabadí

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: **rafael.hurtado@icidca.edu.cu**

Resumen

El alcohol es el más importante derivado de la caña de azúcar. Por tal motivo, los esfuerzos por alcanzar una mejor eficiencia en su proceso productivo son muy importantes. En este contexto, el uso de los modernos sistemas de cómputo para la simulación de procesos es necesario, pues nos brindan las posibilidades de analizar varias alternativas en el proceso de producción y hacer un estudio detallado de su comportamiento cuando hay perturbaciones.
En este trabajo se presenta la herramienta de software DESTILA 5.0, orientada a la simulación de esquemas de producción para la obtención de alcohol hidratado. A partir de una configuración de trabajo dada, este sistema genera un modelo matemático de naturaleza no lineal basado en los balances totales, alcohólico, de energía y otras restricciones tecnológicas, el cual es solucionado con el método numérico adecuado. El software permite análisis de sensibilidad y diseños experimentales. En el primer caso, es posible variar un parámetro de operación en un rango de trabajo dado mientras que en el segundo caso, diseños de dos y tres niveles pueden ser realizados usando combinaciones entre dos y siete variables. En ambos casos, los resultados pueden ser vistos en forma gráfica y analítica. Se desarrollan dos casos de estudio y sus resultados muestran cómo este software puede ser utilizado por los ingenieros de proceso como un soporte en la toma de decisiones.

Palabras clave: Destilación alcohólica, Simulación, Software, Análisis de sensibilidad, Diseño experimental

Abstract

Alcohol is the most important sugar cane by-product. So, the efforts in order to reach a better efficiency in its productive process, are very important. In this context, the use of modern computer systems for process simulation is necessary, because they give us the possibilities to analyze several alternatives in the production process making a detailed study of its behavior when perturbations are present.
In this work, software tool DESTILA 5.0 is shown. It is oriented to simulate production schemes for obtaining hydrated alcohol. From a given industrial configuration, the system generates a non linear mathematical model based on total, alcoholic and energy balances, also including technological constraints, which is solved using an appropiate numerical method. Sensitivity analysis and experimental designs can be made using the software. In the first case, it is possible to study a decision variable in a work range while in the other one, designs with two or three levels may be done using combinations between two and seven variables. In both cases, the results are presented in graphical and analytical views. Two study cases are developed. Their results show the way in which the software can be used by process engineers as a decision support system.

Key words: Alcoholic distillation, Simulation, Software, Sensitivity analysis, Experimental design

Introducción

Existen variadas razones para usar las técnicas de simulación por las cuales se ha convertido en una práctica común simular sistemas a partir del empleo de software orientado a este fin. La principal razón para ello es el costo ya que la simulación es un método para desarrollar, modificar, analizar y probar sistemas o procesos sin la necesidad de su implementación física. El avance de las herramientas de simulación de procesos ha sido espectacular en las últimas décadas a partir del desarrollo de las nuevas tecnologías de la información, las cuales permiten potencialidades de cálculo para solucionar los complejos modelos matemáticos que describen los procesos tecnológicos. Hoy en día puede considerarse que la simulación es la tecnología clave para el diseño y el desarrollo de procesos, el dimensionamiento de equipos y la optimización de los procesos Feliu (2006) y por este motivo se desarrollan eventos a nivel internacional donde se discuten los avances alcanzados en el tema y las perspectivas de desarrollo de las herramientas y metodologías de simulación como un soporte para la toma de decisiones técnicas y gerenciales. Una perspectiva desde el punto de vista industrial con énfasis en los recientes desarrollos, tecnologías emergentes y aspectos donde se requiere más trabajo investigativo es realizada por Britt (2004) mientras que un análisis crítico de los éxitos y los fracasos en la modelación de procesos tecnológicos puede encontrarse en Pantelides (2004).
La ingeniería química se ha visto influenciada por el desarrollo de los medios de computación y en particular de los simuladores de proceso, las bases de datos y los sistemas automatizados de diseño. La importancia de la simulación de procesos ha sido reconocida por la industria como uno de los aspectos que debe reforzarse en la preparación del profesional, junto a otros aspectos, entre los que destacan, el control ecológico, el análisis de costos y evaluación de proyectos, el control de los procesos y la instrumentación Zumalacárregui (2001). Es necesario tomar en cuenta que el costo de la experimentación con el sistema físico es muy elevado y estas técnicas de simulación permiten desarrollar estudios orientados a:

- ✓ stabilidad y sensibilidad de un proceso ante cambios de parámetros operacionales.
- ✓ Evaluación de un conjunto de alternativas posibles para la selección de la mejor, según una función objetivo dada.
- ✓ Diseño de nuevos sistemas.
- ✓ Cambios de escala de un proceso.
- ✓ Capacitación para operadores y directivos.

Los simuladores de procesos pueden ser modulares (ASPEN ONE, HYSYS, CHEMCAD y SuperPro Designer), fenomenológicos (FLUENT, MULTIFLOW) o matemáticos (MATLAB, MAHTCAD) y son ampliamente utilizados en la industria en general.
En el caso particular de la industria azucarera y de derivados también se han desarrollado simuladores para el análisis de procesos destacando SUGARS Weiss (1999) y muy especialmente cuando se vincula a un sistema de monitoreo avanzado del proceso (Morgenroth (2003) con el cual se recupera información en línea para su análisis con el simulador, lo que garantiza un control del proceso de forma más eficiente. Para el proceso de destilación, de forma particular, se han desarrollado diferentes simuladores con fines específicos y pueden mencionarse entre ellos los descritos en Garrido (2004), Rueda (2001) y Marriaga (2006).
En el presente trabajo se describe la herramienta de software DESTILA 5.0 orientada a la simulación de esquemas de producción de alcohol hidratado. A partir de la configuración del área de trabajo sobre la base de la definición del número de condensadores acoplados a las columnas destiladora y rectificadora, el empleo o no de intercambiador de calor para las vinazas y el análisis de empleo de algunas corrientes según el esquema de producción, se genera un modelo matemático de naturaleza no lineal que es resuelto por un algoritmo de tipo Newton que es una variante del método descrito por Powell (1970).
DESTILA 5.0 está desarrollada para ser ejecutada sobre el sistema operativo Windows e incorpora las interfases de trabajo de los usuarios para la configuración del esquema de producción a simular, la captación de los datos requeridos y los estimados iniciales de las variables así como los algoritmos de solución para resolver el modelo matemático generado. Se analizan dos casos de estudio para mostrar la flexibilidad en el trabajo y las potencialidades del sistema.

Modelo matemático

El modelo matemático que caracteriza el comportamiento del proceso de destilación se basa fundamentalmente en el planteamiento de los balances totales, alcohólicos y de energía en cada columna del esquema. Además se plantean las ecuaciones de balance total, cálculo del calor transferido y balance de energía para los condensadores y el intercambiador de calor de las vinazas, así como algunas relaciones prácticas que se deben cumplir en la operación del proceso tecnológico (Hurtado, 2006).

Para construir el modelo se realizaron las siguientes suposiciones:

1. Se considera que el sistema trabaja a presión atmosférica.
2. Se consideró una mezcla binaria de etanol y agua.
3. Se trabaja en estado estacionario.
4. El flujo de alimentación entra a la columna destiladora en un único plato.
5. La alimentación a la columna entra como un líquido a temperatura entre $55°C \leq T \leq 78°C$.
6. La extracción del etanol neutro se realiza en los últimos platos de la columna rectificadora.
7. Se realiza extracciones laterales de aceite de fusel en la zona situada unos platos por encima de la alimentación a la columna rectificadora.
8. El esquema puede tener acoplados hasta tres condensadores en la columna rectificadora y un condensador que su función es calentar el vino proveniente de los fermentadores. También se permite acoplar hasta tres condensadores en el tope de la columna destiladora.
9. Se considera equilibrio termodinámico entre la fase líquida y vapor.
10. La composición del vapor que abandona la columna por el tope es igual a la de la corriente de destilado y reflujo.
11. No hay pérdidas de calor en las columnas, se asume que son adiabáticas
12. La mezcla binaria etanol-agua se comporta como un sistema no ideal y para corregir la falta de idealidad se emplean los valores reportados en la International Critical Tables.

A continuación se describe el modelo matemático que representa el funcionamiento de un esquema de destilación como el mostrado en la Figura 1.

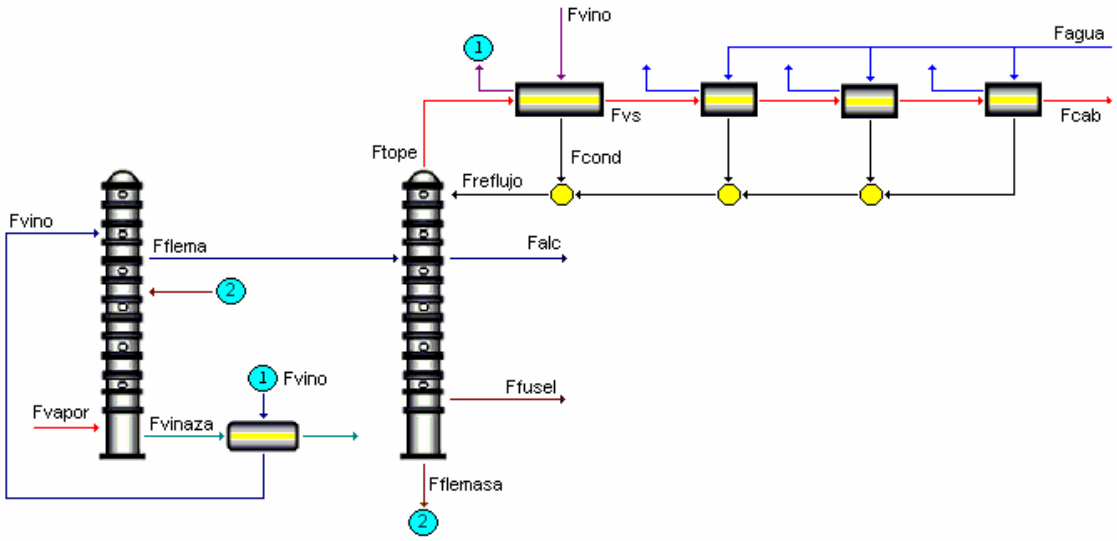


Figura 1: Esquema general del proceso de obtención de alcohol hidratado

Columna destiladora

Balance Total

$$\frac{dF_{dest}}{dt} = F_{vino} + F_{vapor} + F_{flemasa} - F_{flema} - F_{vinaza} = 0 \quad (1)$$

Balance Alcohólico

$$\frac{d(F_{dest}X_{dest})}{dt} = F_{vino} * X_{vino} + F_{flemasa}X_{flemasa} - F_{flema} * Y_{flema} - F_{vinaza}X_{vinaza} = 0 \quad (2)$$

Balance Energético

$$\frac{d(F_{dest}H_{dest})}{dt} = F_{vino} * H_{vino} + F_{vapor} * H_{vapor} + F_{flemasa} * H_{flemasa} - F_{flema} * H_{flema}$$
$$-F_{vinaza} * H_{vinaza} = 0 \quad (3)$$

Columna rectificadora

Balance Total

$$\frac{dF_{rect}}{dt} = F_{flema} - F_{cab} - F_{alc} - F_{fusel} - F_{flemasa} = 0 \quad (4)$$

Balance Alcohólico

$$\frac{d(F_{rect}X_{rect})}{dt} = F_{flema} * Y_{flema} + F_{tope} * Y_{tope} - F_{cab} * X_{cab} - F_{alc} * X_{alc} - F_{fusel}X_{fusel}$$
$$-F_{flemasa} * X_{flemasa} = 0 \quad (5)$$

Balance Energético

$$\frac{d(F_{rect}H_{rect})}{dt} = F_{flema} * H_{flema} - F_{tope} * (H_{tope} - H_{cab}) - F_{cab} * H_{cab} - F_{alc} * H_{alc}$$
$$-F_{fusel}H_{fusel} - F_{flemasa} * H_{flemasa} = 0 \quad (6)$$

Intercambiador de calor para las vinazas

Balance de Energía

$$\frac{d\left(F_{vinaza}H_{vinaza}\right)}{dt} = F_{vinaza}(H_{vinaza} - H^{S}_{vinaza}) + Q^{transf}_{k} = 0 \quad (7)$$

Ecuación para el cálculo del calor transferido

$$Q^{transf}_{K} = U_K * A_K * LMDT_K \quad (8)$$

Condensadores

Balance Total

$$\frac{dF_i}{dt} = F_i^{VE} - F_i^{cond} - F_i^{VS} = 0 \tag{9}$$

Balance de Energía

$$\frac{d(F_i^L H_i^L)}{dt} = F_i^L (H_i^{EL} - H_i^{SL}) + Q_i^{transf} = 0 \tag{10}$$

Ecuación para el cálculo del calor transferido

$$Q_i^{transf} = U_i * A_i * LMDT_i \tag{11}$$

Cálculo de la corriente de reflujo a la rectificadora

$$F_{rect}^R = \sum_{i=1}^{nc} F_i^{cond} \tag{12}$$

Relación de reflujo, cabezas y fusel en la rectificadora

$$R_{ref} = \frac{F_{tope}}{F_{alc}} < 1 \ (\approx 0.86) \tag{13}$$

$$R_{cab} = \frac{F_{cab}}{F_{alc}} * 100 > 1 \ (4 \square 10\%) \tag{14}$$

$$R_{fusel} = \frac{F_{fusel}}{F_{alc}} * 100 \ (\approx 3\%) \tag{15}$$

Cálculo de las concentraciones de etanol en el líquido y el vapor

Para el cálculo de las concentraciones de etanol en la fase líquida y vapor se utilizaron los datos de equilibrio reportados en la International Critical Table y se realizó un ajuste regresional con los mismos obteniéndose las siguientes relaciones de dependencia.

$$\begin{aligned} X_{Eta} &= f(T) \\ Y_{Eta} &= g(X_{Eta}) \end{aligned} \tag{16}$$

donde:

X_{Eta} : Concentración másica de etanol en la fase líquida (fracción).

Y_{Eta} : Concentración másica de etanol en la fase de vapor (fracción).

T : Temperatura del líquido saturado $(°C)$

Cálculo de entalpías

Para calcular las entalpías de los líquidos presentes en el proceso se tuvo en cuenta las siguientes suposiciones:

1) Se considera una mezcla de líquidos saturados.
2) Se consideró como estado de referencia el de los líquidos puros y saturados a 273 $°K$ o sea 0 $°C$, siendo las entalpías de los componentes puros en estas condiciones igual a cero.

Entalpía de la mezcla líquida saturada

$$H_{ls}(X,T) = X_{Eta} * H^{p}_{alc}(T) + (1 - X_{Eta}) * H^{p}_{agua}(T) + Q_s \qquad (17)$$

donde:

$H_{ls}(X,T)$: Entalpía de la mezcla de líquido saturado $\left(Kcal/kg\right)$.

$H^{p}_{alc}(T)$: Entalpía del componente puro alcohol $\left(Kcal/kg\right)$.

$H^{p}_{agua}(T)$: Entalpía del componente puro agua $\left(Kcal/kg\right)$

$Q_s \approx 0$: Calor integral de solución. En este caso se consideró aproximadamente cero teniendo en cuenta los valores de Q_s reportados en la literatura por Perry (1980).

Entalpía del vapor saturado

Para el cálculo de las entalpías de las corrientes de vapor saturado se utiliza la siguiente expresión:

$$H_{vs}(Y_{Eta}) = 640.07 - 369.915 * Y_{Eta} \qquad (18)$$

$H_{vs}(Y_{Eta})$: Entalpía del vapor saturado $\left(Kcal/kg\right)$

Herramienta de software

El software DESTILA ha sido diseñado e implementado para ser ejecutado sobre el sistema operativo Windows. Cuenta con una interfase de trabajo en la cual se tiene una vista gráfica del proceso, sus corrientes principales y los índices generales del proceso (Figuras 2 y 3).

El usuario debe configurar el esquema de trabajo, introducir la información de entrada requerida mediante tablas asociadas a cada equipo (datos y estimados iniciales, aunque existe un mecanismo de generación automática de estimados a partir de los datos) y ejecutar la opción de simular, la cual presenta tres modos:

- ✓ Standard: Ejecuta la simulación del proceso generando el modelo matemático según el esquema de trabajo, para unas condiciones de operación dadas
- ✓ Análisis de sensibilidad: Permite variar una variable de decisión en un rango de trabajo con vistas a analizar el comportamiento del sistema ante esta perturbación. Puede analizarse aquí la respuesta del sistema ante situaciones extremas que es uno de los objetivos principales en la simulación de procesos.
- ✓ Diseños experimentales: Pueden variarse simultáneamente entre dos y siete variables de decisión en rangos de trabajo para estudiar como responde el sistema ante las diferentes combinaciones de estas variables. Aquí se selecciona el tipo de diseño a efectuar (2 ó 3 niveles), el sistema genera la matriz experimental y ejecuta la simulación del proceso para cada combinación.

Para cada una de estas opciones de simulación se obtienen los resultados correspondientes, tanto analíticos como gráficos, los cuales pueden ser impresos o enviados a otras aplicaciones (EXCEL o STATISTICA) con vistas a su procesamiento estadístico.

Análisis de casos de estudio

Partiendo de la información tecnológica generada por los esquemas de destilación de alcohol hidratado correspondientes a dos destilerías de 700 y 1000 Hl/d de capacidad se decidió mediante el empleo de la herramienta DESTILA 5.0 realizar la simulación de ambos esquemas y analizar sus resultados.

El primero de ellos está compuesto por una columna destiladora sin intercambiador de vinazas en el fondo, columna rectificadora provista de un Calienta vino, Condensador parcial primario y Condensador total secundario. El flujo de vino de alimentación es de 45000 kg/h con una concentración alcohólica de 5 % másica y temperatura de alimentación al Calienta vino de 35 ^{o}C.

El segundo contiene una columna destiladora con intercambiador de vinazas en el fondo, columna rectificadora conectada a una batería de condensadores en serie compuesta por un Calienta vino, Condensador parcial primario y dos condensadores verticales. El flujo de vino de alimentación es de 60000 kg/h a la misma concentración alcohólica y temperatura del esquema anterior.

Los valores de coeficientes de transferencias de calor y distribución de áreas por cada condensador son:

Tabla I: Configuración de los condensadores por cada esquema.

Esquema 1

Variable	UM	Calienta Vino	Etapa 1	Etapa 2
Área	m²	70.000	65.000	30.000
Coeficiente de transferencia	kcal/hm²°C	550.000	550.000	550.000
Temperatura de entrada del agua	°C	30.000	30.000	30.000

Esquema 2

Variable	UM	Calienta Vino	Intercambiador de Vinazas	
Area	m²	45.000		
Coeficiente. de transferencia	kcal/hm²°C	880.000	880.000	
Temperatura de entrada del vino	°C	35.000		
Variable	UM	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Área	m²	40.000	14.000	10.000
Coeficiente de transferencia	kcal/hm²°C	880.000	880.000	880.000
Temperatura de entrada del agua	°C	30.000	30.000	30.000

Las Figuras 2 y 3 muestran los principales resultados obtenidos de la simulación para ambos esquemas. En ellas se puede observar que los valores de eficiencia de la destilación, consumos de vapor y agua de enfriamiento en los dos esquemas son muy similares así como la generación de vinazas. Sin embargo el esquema uno produce alrededor de 735 hl/d y el segundo 980 hl/d. Esto se debe a la diferencias de flujos de alimentación existente entre ambos procesos. Se debe señalar que el segundo esquema necesita aprovechar el calor de las vinazas para calentar el vino hasta una temperatura de 60 ^{o}C para ser introducido en la columna.

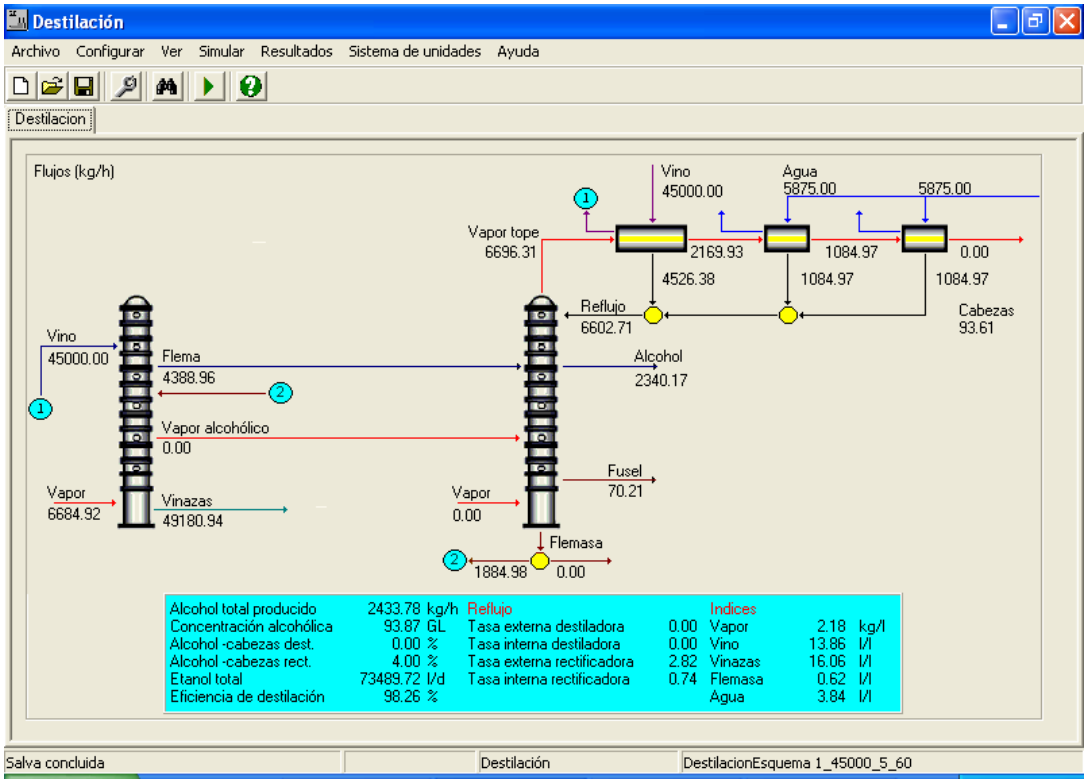


Figura 2: Representación gráfica del esquema 1 de destilación

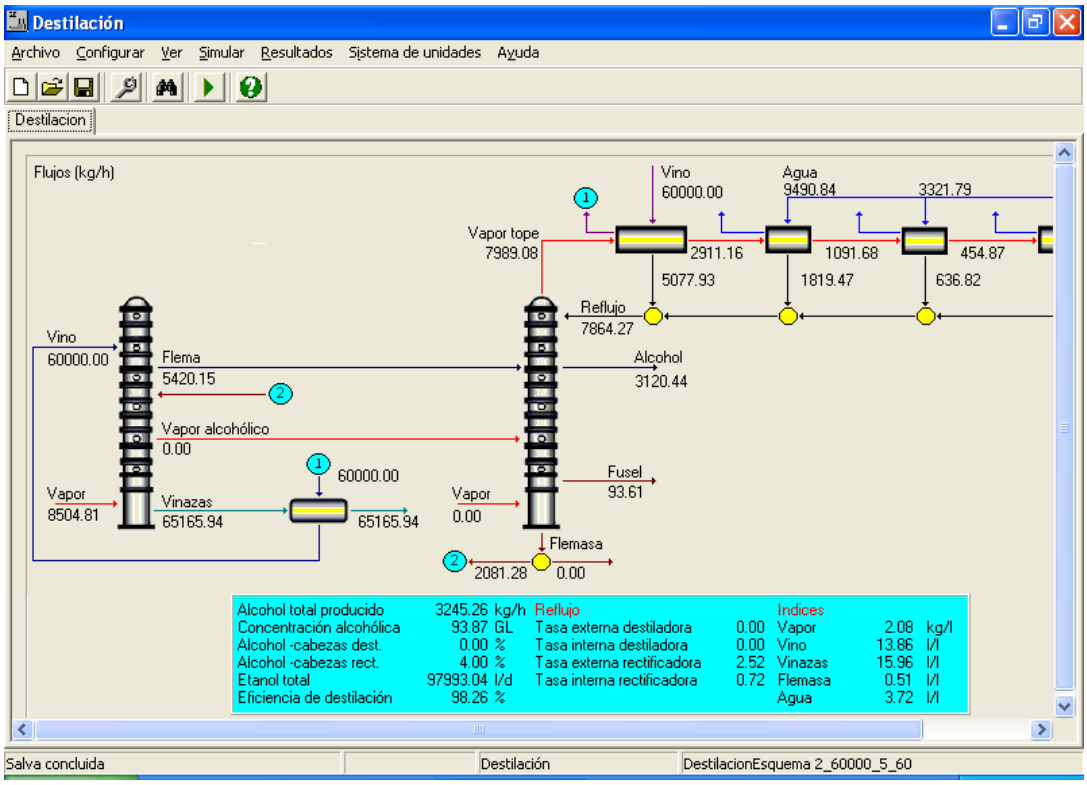


Figura 3: Representación gráfica del esquema 2 de destilación

A continuación, tomando el segundo esquema como base, se decidió realizar un diseño de experimento con el sistema Destila 5.0 para analizar el comportamiento del proceso ante perturbaciones en los valores de flujo de alimentación, grado alcohólico de la alimentación y temperatura de alimentación del vino a la columna, tal como se muestra en la Figura 4.

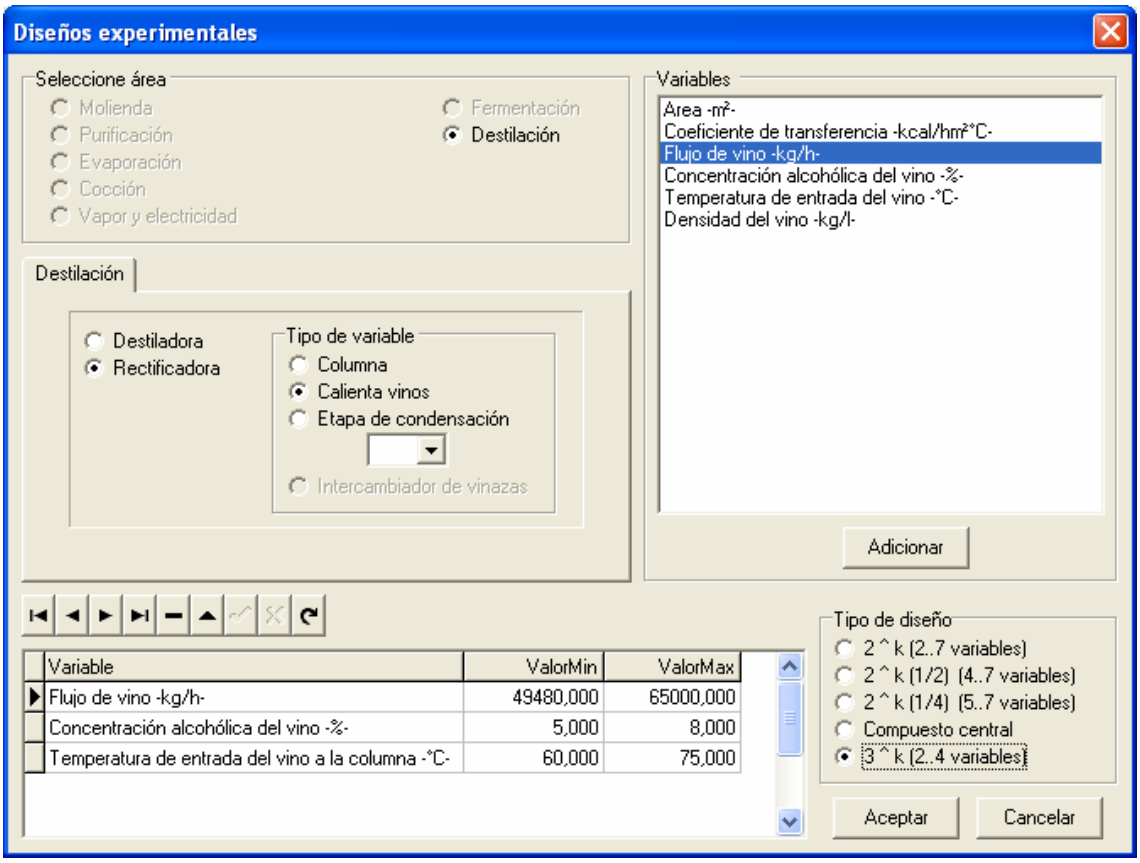


Figura 4: Preparación del diseño experimental a efectuar

A partir de esta información el sistema construye una matriz experimental con 27 corridas independientes provenientes del tipo de diseño seleccionado (en este caso un diseño factorial 3^3). En la Tabla II se muestran los diferentes factores considerados en el diseño con sus niveles.

Tabla II: Niveles por cada factor

Variables	UM	Nivel -1	Nivel 0	Nivel -1
Flujo de alimentación de vino	Kg/h	49480.0	57240.0	65000.0
Grado alcohólico de la alimentación	%	5.0	6.5	8.0
Temp. alimentación a la columna	^oC	60.0	67.5	75.0

En la Figura 5 se presentan los resultados del diseño, los que muestran como disminuye el consumo de vapor del esquema en la medida que se aumenta la concentración alcohólica del vino y la temperatura de entrada de este a la columna.

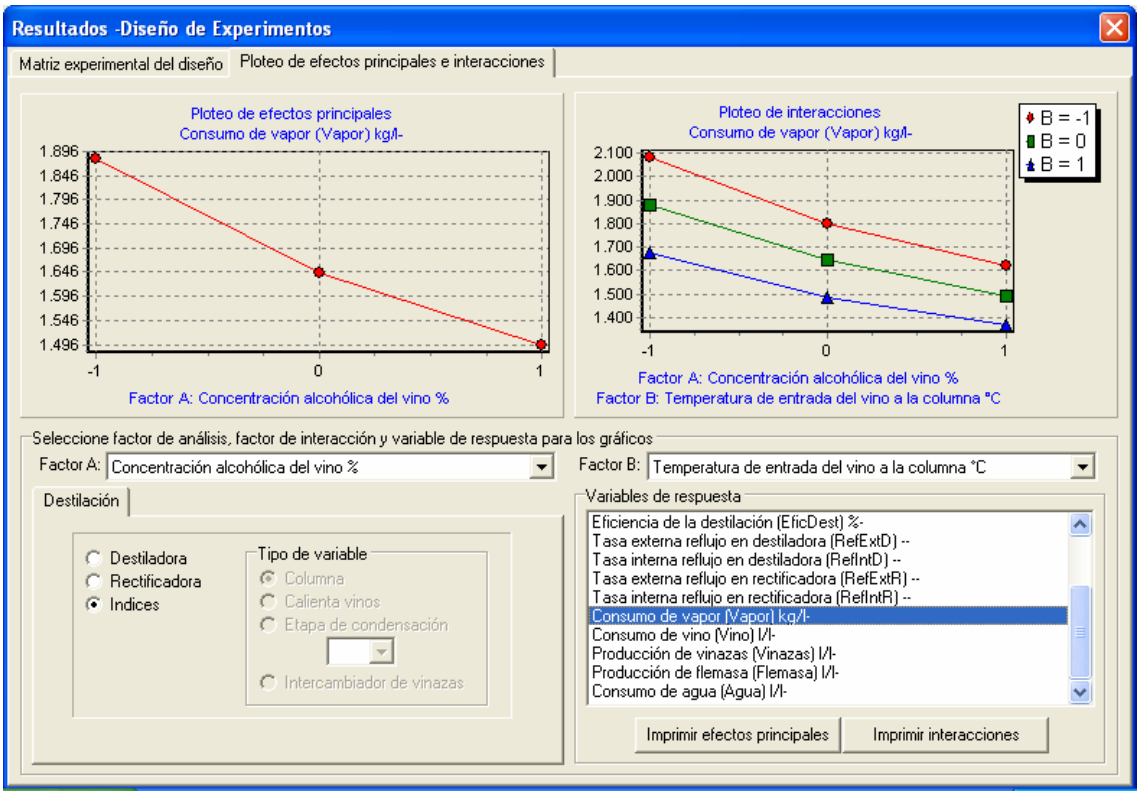


Figura 5: Resultados del diseño de experimento

Conclusiones

- ✓ El modelo matemático generado de forma automática según la configuración del proceso tecnológico permite el análisis de diferentes esquemas de producción de alcohol hidratado.
- ✓ El análisis de sensibilidad y los diseños experimentales aumenta las posibilidades de análisis que pueden efectuarse sobre el comportamiento del proceso ante perturbaciones. Los resultados de estos análisis se presentan de forma analítica y gráfica, pudiéndose exportar a EXCEL o STATISTICA para la realización de otros estudios.
- ✓ La herramienta de software es configurable, presenta una interfase de trabajo amigable para los usuarios y puede considerarse como un apoyo para la toma de decisiones en la industria. Los casos de estudio presentados ilustran como puede ser utilizado este sistema para el análisis del proceso.

Trabajo futuro

Incorporar otros esquemas tecnológicos de producción de alcohol con vistas a garantizar que el sistema abarque una mayor cantidad de alternativas así como agregar elementos económicos, lo cual incrementará las prestaciones de la herramienta de software y sus posibilidades de utilización.

Referencias

Britt, H., et. Al. (2004) “Modelling and simulation in 2004. An industrial perspective”, Proceedings of FOCAPD 2004, 55-68.

Feliu, J.A. (2006), “Importancia de la termodinámica en la simulación de procesos”, Ingeniería Química, Año XXXVIII, 438, 111-117.

Garrido, N. (2004) “SIDEL: Sistema de diseño y simulación de destilerías”, VII Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados, Diversificación 2004.

Hurtado, R., Ribas, M., et. Al. (2006), “Simulación de un proceso de destilación alcohólica con el software DESTILA 3.0”, IX Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados, Diversificación 2006, ISBN-959-7165-20-1

Marriaga, N. (2006) “Simulación computacional de una destilería de alcohol”, VII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar”, Tecnicaña 2006, Cali.

Morgenroth, B., Weiss, W. (2003), “Advanced monitoring system for process control”, CITS 2003, Madrid

Rueda, A. (2001) “Modelado y simulación dinámica en Ecosimpro de una columna de destilación de etanol de la industria azucarera.”, I[a] Reunión de Usuarios de EcosimPro, UNED, Madrid, 3-4 Mayo.

Pantelides, C., Urban, Z.E. (2004), “Process modelling technology: A critical review of recent developments”, Proceedings of FOCAPD 2004, 69-81.

Perry, R.H., Green, D.W., “Perry’s chemical engineers’ handbook”, Mc Graw Hill, 1999.

Powell, M. J. D. (1970), "A Fortran Subroutine for Solving Systems of Nonlinear Algebraic Equations," Numerical Methods for Nonlinear Algebraic Equations, P. Rabinowitz, ed., Ch.7.

Zumalacárregui, L., Valverde, J. L. (2001), “Ejemplo para el uso de un simulador en los estudios de ingeniería química”, Educación Química, 12 (4), 203-208.

Weiss, W. (1999), “Cane factory process modelling using Sugars^{TM} for Windows”, 29th Annual Joint Meeting of the Florida and Louisiana Divisions, Ft. Walton Beach, Florida, June 16-18.

Notación

NC: Número de condensadores utilizados.

i: Índice que se utiliza para enumerar la cantidad de condensadores acoplados al tope de la columna rectificadora $(i = 1,...,NC)$

j: Índice que se utiliza para identificar a las distintas corrientes dentro del proceso $j = (vino, flema, flemasa, vinaza, vapor, alcohol, cabezas, fusel)$

F_j:	Flujo másico de la corriente j	kg/h
H_j:	Entalpía de la corriente j	$kcal/kg$
X_j:	Concentración másica de etanol en la fase líquida de la corriente j	fracción
Y_j:	Concentración másica de etanol en la fase vapor de la corriente j	fracción
F_i^{VE}:	Flujo del vapor de entrada al condensador i	kg/h
F_i^{Cond}:	Flujo de salida del condensado del condensador i	kg/h
F_i^{VS}:	Flujo del vapor de salida del condensador i	kg/h
F_i^{L}:	Flujo del líquido de enfriamiento al condensador i	kg/h

H_i^{EL} :	Entalpía de entrada del líquido de enfriamiento al condensador i	$kcal/kg$
H_i^{SL} :	Entalpía de salida del líquido de enfriamiento del condensador i	$kcal/kg$
U_i :	Coeficiente de transferencia de calor del condensador i	$kcal/m^2h$
A_i :	Área de transferencia de calor del condensador i	m^2
Q_i^{transf} :	Calor transferido en la condensación dei	$kcal/h$
$LMDT_i$:	Diferencia media logarítmica de temperatura en el condensador i	$(°C)$
R_{ref} :	Relación práctica de reflujo al tope de la columna rectificadora	fracción
R_{cab} :	Relación práctica de extracción de cabezas de la columna rectificadora	porciento
R_{fusel} :	Relación práctica de extracción de aceite fusel de la columna rectificadora	porciento

"USO DE ALGUNAS HERRAMIENTAS ANALÍTICAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA AUTENTICIDAD DEL RON VIGÍA, UN ESTUDIO PRELIMINAR"

Autores: **Magdalena Lorenzo Izquierdo**[1], MSc. E.P. Zayas[2], Mercedes Guerra[1], Téc. D. Crespo[1], Gretel Mieres[1].

[1]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. Email: magdalena.lorenzo@icidca.edu.cu
[2]Facultad de Ingeniería Química. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". CUJAE. Cuba.

Resumen

El control de la calidad ha sido siempre preocupación de los productores de alimentos, es esta una de las razones por la que han sido desarrolladas numerosas técnicas y regulaciones en aras de lograr un adecuado control de la misma. La autenticidad, sin embargo, va un poco más allá ya que persigue probar que cada producto es único e irrepetible. El fraude y la adulteración, en ocasiones puede traer consigo problemas serios de salud a los consumidores así como pérdidas económicas a productores.
En el presente trabajo se analiza la posibilidad de diferenciar el Ron Vigía de otros añejos mediante la determinación de los espectros UV-vis e IR con transformada de Fourier y el empleo de la Quimiometría. Se emplearon muestras de rones añejos de diferentes origen de producción y fueron analizadas en el Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE) y el laboratorio de polímeros del ICIDCA.
Se analizaron muestras puras y mezclas de rones adulteradas. Con los resultados obtenidos se logra diferenciar tipos de añejos, estos mostraron que existe separación por grupos al realizar los Análisis de Componentes Principales (PCA). La mejor separación de los grupos se logra cuanto más adulterado haya sido el ron.
Palabras clave: Autenticidad, espectroscopía, rones añejos, quimiometría, Análisis de Componentes Principales.

Summary

The quality control has always been concern of foods producers, for that reason many techniques and regulations have been developed to obtain a correct quality control. Authenticity, however, goes beyond quality control since it is intended to prove that each product is unique and unrepeatable. The fraud and adulteration, that sometimes may bring serious health problems to the consumers as well as economic losses to producers, may be avoided with authenticity proving.
This paper analyze the possibility to differentiate the Vigía aged Rum from other rums or mixtures by means of the determination of UV visible and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectra of samples and the use of the Chemometrics. Samples of aged rums of different production origin were analyzed by the Center of Reference for the Production of Alcohols and Drinks (CERALBE) and the laboratory of polymers of the ICIDCA. Pure aged rum samples and adulterated mixtures with white rum were analyzed.

With the obtained results it is possible to differentiate types of rums. It is showed that separation may be achieved in different groups when Principal Component Analysis was performed (PCA). The more adulterated the mixture the more separated, in PCA analysis, from the pure aged rum.

Key words: Authenticity, spectroscopy, aged rums, Chemometrics, Principal Component Analysis.

Introducción

Cuba cuenta ya con una tradición ronera y en el mundo entero se aprecian los aromáticos rones cubanos, exportándose una amplia variedad de rones de diferentes marcas, tales como: *Havana Club*, Santiago de Cuba, Cubay, Santero, Mulata. Caribbean Club, Legendario y Arecha entre otros. Un producto auténtico es aquel que responde a la descripción dada por su fabricante pero este puede ser adulterado con otro producto de más baja calidad y venderse como el original. La adulteración de bebidas alcohólicas es una práctica común no solo en las fábricas donde se producen sino en los lugares donde se venden como bares y restaurantes.

Según la legislación existente en Europa se otorgan sellos de protección a los alimentos en los que está demostrada su diferenciación en cuanto al área geográfica, a que poseen carácter tradicional tanto en las materias primas como en los medios de producción o a que presenten un vínculo geográfico común en al menos uno de los estadios de la producción, procesamiento o preparación.

Existen numerosos estudios reportados en la literatura relacionados con la caracterización de bebidas alcohólicas. El elevado potencial de la espectroscopia infrarroja en el análisis de bebidas alcohólicas ya fue vislumbrado por Bellanato y colaboradores (1988) a partir del análisis de extractos de brandies y cogñacs. Recientemente el grupo de Cuadrado y col (2005) y de Ponte y col. (2006) demostró la factibilidad de la espectroscopia cercana infrarroja y la espectroscopia media infrarroja de transformada de Fourier (EMIFT) para el monitoreo analítico en fabricas de vinos.

El Autentificador de marcas fue producido y comercializado por SAD (*Spectroscopic & Analytical Developments*). Este Autentificador está basado en el espectro de absorción ultravioleta y visible de marcas específicas de whiskeys escoceses los cuales producen rangos de absorbancia consistentes los cuales permitieron el desarrollo de este método rápido, barato y móvil. Las muestras analizadas con un espectro fuera del intervalo para referencias genuinas son por esto estimadas sospechosas, permitiendo que su autenticidad sea más tarde confirmada en el laboratorio mediante cromatografía de gases. Mackenzie, W. M. y Aylott, R. (2004) plantearon que esta novedosa aplicación permitió llevar a cabo los análisis de autentificación de marcas en lugares remotos donde la cromatografía gaseosa no estuviera disponible y también ha permitido la introducción de pruebas de campo utilizando un espectrofotómetro portátil, manuable y pequeño.

La autenticidad del ron cubano no ha sido determinada de acuerdo a estos estándares y resulta imperioso entrar en este mundo donde se reconoce la autenticidad de los alimentos según Zayas, y O'Donnell (2007), es por eso que nuestro trabajo tiene entre sus principales objetivos utilizar la Espectroscopia UV-vis e IR como herramientas útiles para demostrar autenticidad en rones añejos y adulterados al realizar análisis multivariante con datos experimentales de los espectros y Análisis de Componentes Principales (PCA).

Materiales y Métodos

Se realizaron estudios de espectros IR y UV-vis en muestras de ron carta blanca, ron Vigía, Mulata, rones añejos que no han sido identificados por confidencialidad a los clientes y muestras adulteradas de Vigía y Mulata con un 20 y 50 % de Ron carta Blanca. Para el análisis de los Componentes Principales (PCA) no se tuvieron en cuenta los rones añejos sin identificar.

Espectrofotometría UV-VIS.
Equipo utilizado: Espectrofotómetro UV-VIS ULTROSPEC 2000
Muestra: Muestra Ron Base 20-1, 20-2
Longitud de la cubeta (cm.): 10 cm.
Longitud de onda inicial:200 nm
Longitud de onda final: 600 nm
Velocidad de registro: 4000 nm/min.
Blanco: Aire

Espectrofotometría IR.
Los espectros se realizan en un Espectrómetro FTIR modelo Vector 22 (Brüker Optik). en el rango de 4000 a 600 cm^{-1} , en unidades de absorbancia con aditamento de ATR a resolución de 4 cm^{-1} con una acumulación de 30 scans y un ajuste de la línea base en 64 puntos. El procesamiento de los espectros se realiza mediante el Software OPUS NT. Ç

Quimiometría o Estadística Multivariante.
Se empleó el Análisis de Componentes Principales para transformar las variables originales en nuevas variables llamadas Componentes Principales y se utilizó la técnica de validación cruzada para determinar el número de componentes principales que se necesitan en el modelo, este método es más extenso en tiempo que la corrección por *leverage* pero el estimado de la varianza residual es más confiable.
Estos datos espectroscópicos, preparados en Excel, se exportaron al software UNSCRAMBLER v. 8.0 (CAMO ÅS, N-7401 Trondheim, Noruega) se realizaron los análisis con la data completa de todas las muestras denominándose datos originales.
El Análisis de componentes principales (PCA) se realizó para diferentes condiciones, o sea, se realizaron transformaciones a las mediciones como la corrección multiplicativa de dispersión (MSC) o derivadas al conjunto de variables de forma tal que se obtuvieran las mejores separaciones de los grupos.

Resultados

Espectrometría Ultravioleta
Primeramente se analizaron los diferentes tipos de rones a los que se le realizan espectros normales con bandas muy anchas alrededor de 284 nm, con evidencias marcadas de absorciones múltiples, por lo que se decide aplicar la técnica de Espectroscopia electrónica derivativa con el orden de la cuarta derivada y los resultados donde se observan múltiples componentes se reflejan en la Tabla I

Tabla I Espectros normales de rones y espectros de la cuarta derivada de la banda de absorción correspondiente a 284 nm

Muestras	Banda de absorción del espectro normal (nm)	Componentes de la banda de absorción a 284 (nm)
Ron Añejo 1	274	267,275, 284
Ron Añejo 2	284	270, 273, 281, 284,
Ron Carta Blanca 1	284	270, 273, 281, 284
Ron Añejo 3	284	269, 278, 281, 284
Ron Añejo 4	278	261, 278, 280, 284
Ron Carta Blanca 2	284	265, 274, 281, 284, 285, 288
Ron Añejo 5	278	268, 278, 284
Ron Mulata(Añejo)	284	270, 273, 281, 284,
Ron Vigía (Añejo)	284	270, 273, 281, 284,
Ron Carta Blanca 3	284	265, 274, 281, 284, 285, 288
Ron Vigía 20%	284	270, 273, 281, 284,
Ron Vigía 50%	284	270, 273, 281, 284,
Ron Mulata 20%	284	270, 273, 281, 284,
Ron Mulata 50%	284	270, 273, 281, 284,

De la Tabla I se observa la presencia de varias componentes en la banda de absorción que se encuentra alrededor de 284 nm puede tener origen a las bandas de vibración de los compuestos aromáticos, aunque, parece indicar la presencia de mezclas.

La adulteración de muestras se analiza teniendo en cuenta la comparación de los espectros de los añejos Vigía, Mulata y Ron Carta Blanca con las mezclas realizadas de estos rones añejos con la adición del 20 y 50 % de Ron Carta Blanca como se observa en el Figura 1

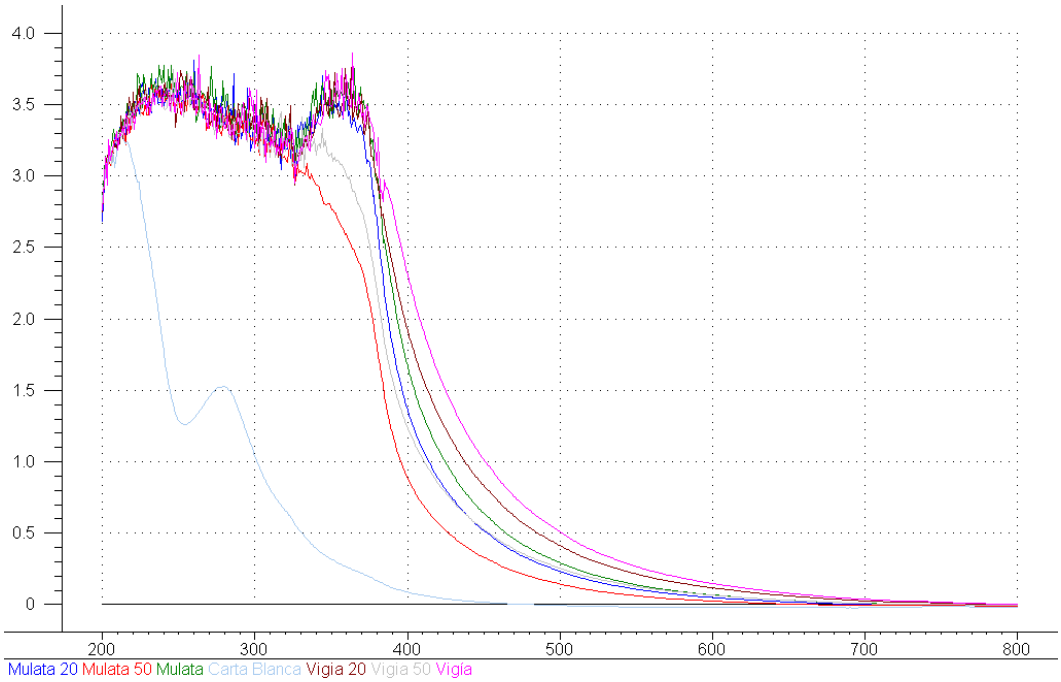


Figura 1 Espectros UV-visible del Ron Carta Blanca y los añejos Mulata y Vigía con las mezclas preparadas.

Se observa un espectro bien diferente correspondiente al Carta Blanca mientras que los otros tienen grandes absorbancias debido a que son bebidas coloreadas. Independientemente del ruido que se presenta en la zona de máxima absorbancia es posible diferenciar las muestras con la aplicación de la Quimiometría.
El Análisis de componentes principales (PCA) aparece con la Figura 2

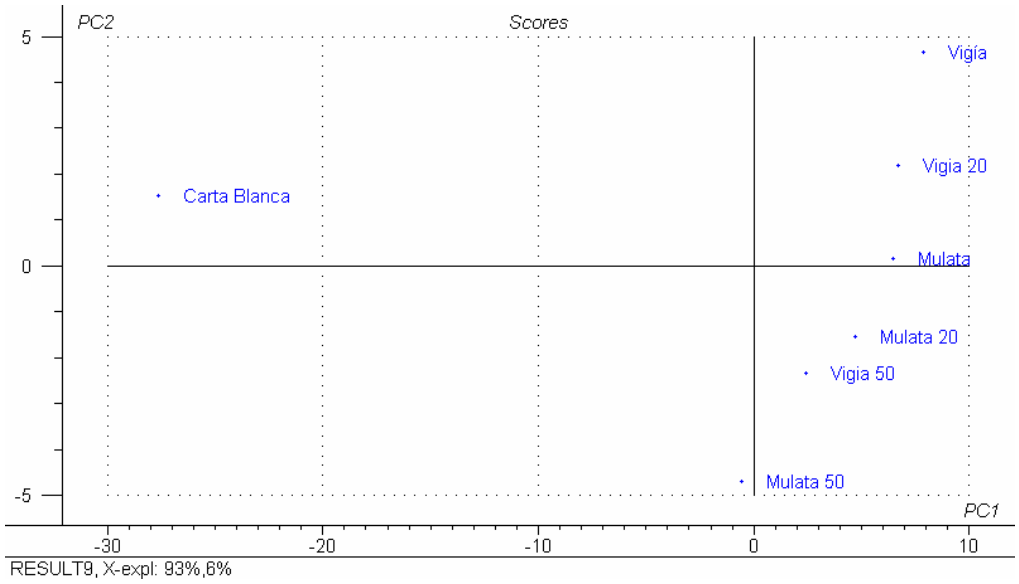


Figura. 2 Análisis de componentes principales (PCA) con datos originales de los espectros UV visible.

En esta figura se evidencia que la varianza explicada por los dos primeros componentes comprende el 98 % de la varianza total y existe una correcta separación de los grupos de muestras. El carta blanca se encuentra bien separado de los añejos así como las muestras adulteradas se separan de sus añejos originales de acuerdo al nivel de adulteración
Cuando se eliminó el ron carta blanca del análisis queda la siguiente distribución en la Figura 3:

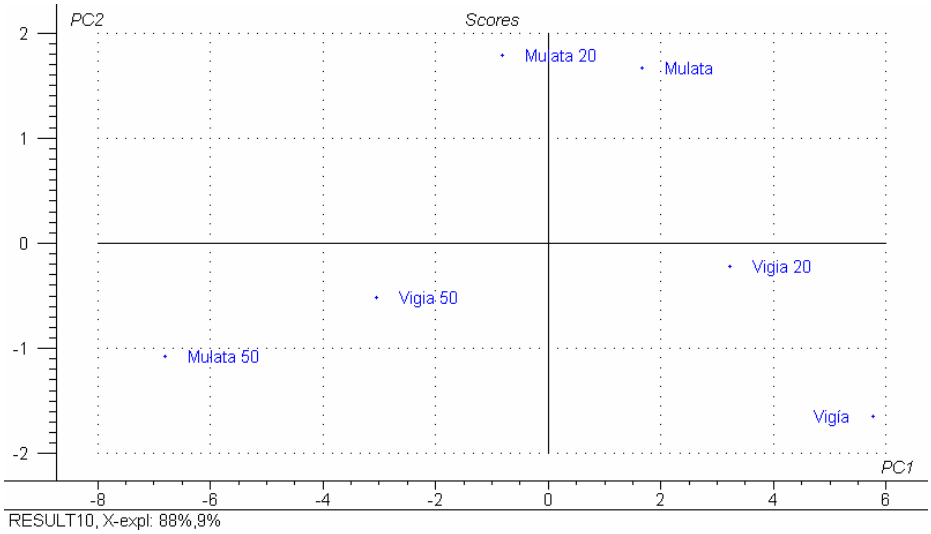


Figura. 3 PCA con datos originales eliminando carta blanca

Aquí se observa como tanto el Mulata como el Vigía al 50% de adulteración están a la derecha del primer componente mientras que las del 20% permanecen más cercanas al añejo original. Este comportamiento es lógico.
Buscando una mejor separación de los grupos se realizó MSC así como Savitsky Golay 1 derivada, Savitsky Golay 2 derivada, pero con estas transformaciones no se obtuvieron mejores resultados.

Espectrometría FT-IR
Al realizar el estudio por espectrometría FT-IR de los diferentes rones se realizaron las asignaciones de los espectros donde se observa que en los espectros aparece una banda de absorción ancha en la zona de 3347 cm^{-1} características de los grupos hidroxilos (Fig. 4). En la zona de 2980 a 2890 aparecen bandas de baja intensidad características de los grupos CH_3 y CH_2 alifáticos. En la zona del espectro de 1453 a 1328 aparece las bandas de doblaje de los grupos CH_3 ,CH_2 y OH. En 1086 aparece el streching C-O y 1044 el doblaje de torsión del grupo CH_2 .
Con la asignación se puede concluir que tenemos un espectro muy similar al etanol, en cuanto a números de banda y posición, pero existe variación en las intensidades relativas
En los espectros IR no se observan frecuencia característica de grupos aromáticos que ratifiquen los resultados alcanzados en la Espectroscopia UV, esto se puede explicar por los niveles bajos de concentración en que puedan estar los compuestos aromáticos.

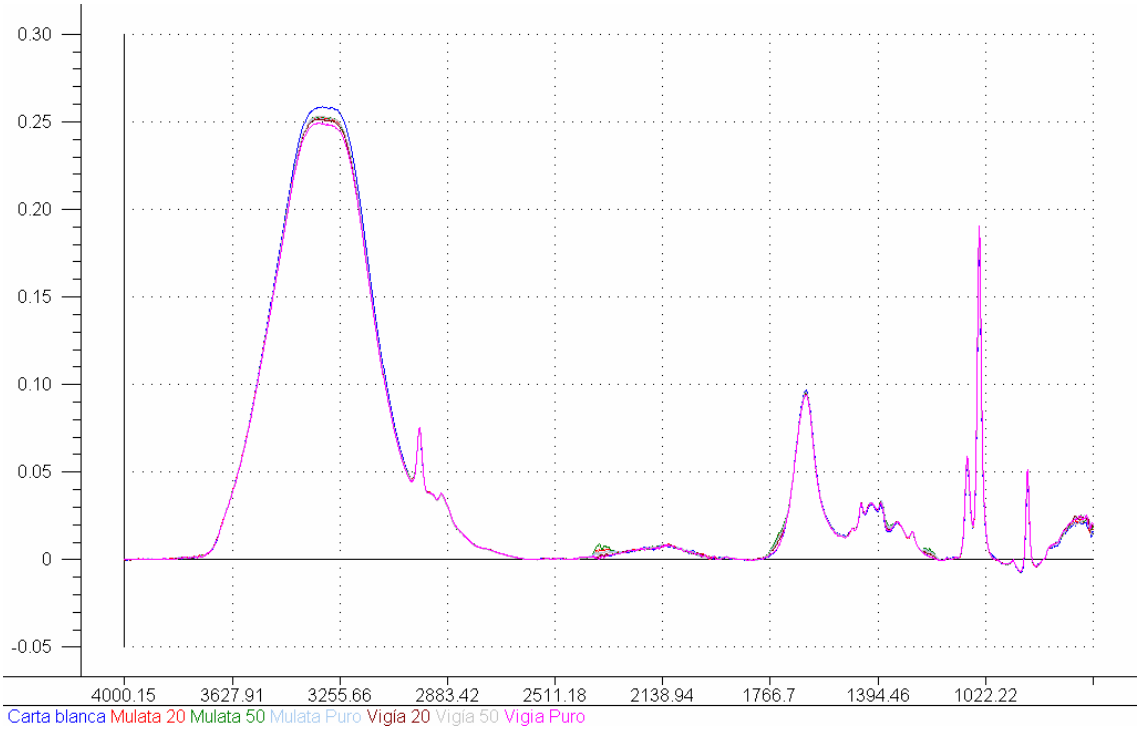


Figura 4 Espectros FTIR de las muestras de Vigía, Carta Blanca, Mulata y muestras adulteradas.

Los espectros se muestran muy similares y no es posible diferenciar los diferentes rones y adulteraciones con solo este análisis pero aplicando la quimiometría se obtuvo el siguiente resultado que se muestra en la Figura 5

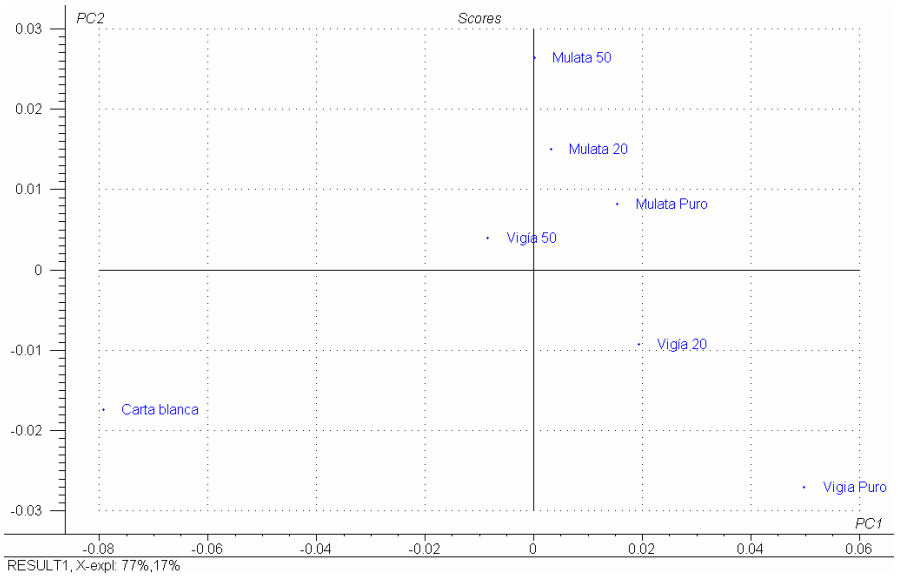


Figura 5 PCA con los datos originales

En el gráfico de los puntos se observa como la separación es muy similar a la del UV y lógica ya que el 20% está más cercano a los añejos puros y el Carta Blanca separado notablemente. Con este resultado queda explicada un 94 % de la varianza total. Se realizó un análisis posterior del gráfico de puntos eliminando los intervalos de ruido pero la mejora no fue significativa en cuanto a la varianza explicada.

Conclusiones

1. El uso del IR y UV sirven como herramientas analíticas rápidas y confiables para el análisis de muestras complejas de rones.
2. En este estudio se logra diferenciar tipos de añejos, estos mostraron que existe separación por grupos al realizar los Análisis de Componentes Principales (PCA).
3. La mejor separación de los grupos se logra cuanto más adulterado haya sido el ron.

Referencias

- Bellanato, J. & Bravo-Abad, F. Análisis de componentes del brandy por espectroscopÍa infrarroja Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment. 28, 379-394. 1988
- Urbano Cuadrado, M. Luque de Castro, M. D. Pérez-Juan, P. Gómez-Nieto, M. Comparison and joint use of near infrared pectroscopy and Fourier transform mid infrared spectroscopy for the determination of wine parameters. Talanta vol. 66 218– 224. 2005.
- Pontes. M.J.C. et. al. Classification of distilled alcoholic beverages and verification of adulteration by near infrared spectrometry. Food Research International Volume 39, Issue 2, Pages 182-189. 2006.
- MacKenzie, W. M. and Aylott, R. I. Analytical strategies to confirm Scotch whisky authenticity. Part II: Mobile brand authentication. The Analyst, 129(7), 607 – 612. 2004.
- Zayas, E. y O'Donnell, C. Autenticidad de bebidas alcohólicas. Un estudio preliminar. Memorias del tercer Simposio Internacional de Química, 5-8 de junio 2007. ISBN 978959250373

IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA LA PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO CINÉTICO DE UNA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.

Autores: Ribas*, M., Doménech, F.

***** 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: mauricio.ribas@icidca.edu.cu.

Resumen

En este trabajo se presenta una metodología para la descripción del comportamiento cinético del proceso de fermentación alcohólica. La misma permite evaluar parámetros importantes como, la velocidad específica de crecimiento, el rendimiento celular basado en el consumo de azucares, rendimiento de producto basado en el crecimiento de biomasa y la productividad. El punto de partida para resolver el problema de estimación lo constituye el conocimiento de los valores del flujo de CO_2 desprendido durante la fermentación, las condiciones iniciales y finales del proceso y una estimación del coeficiente de mantenimiento.
La estrategia consiste en integrar las facilidades de EXCEL para la manipulación de datos con las potencialidades numéricas del software MATLAB 7.0 para resolver el modelo de ecuaciones diferenciales que se forma.
Los valores cinéticos están basados en datos experimentales obtenidos mediante la ejecución de fermentaciones discontinuas a temperaturas entre 32 y 38 $°C$.
Los resultados demuestran que la metodología estima satisfactoriamente las observaciones experimentales provenientes de fermentaciones discontinuas.

Palabras clave: Fermentación alcohólica, Modelación dinámica, Procesos de fermentación.

Abstract

In this paper we present a methodology for description the kinetic behavior of the fermentors. The same one allows to evaluate important parameters as, specific growth rate, cellular yield based on sugar consumption, yield of product based on cell growth and productivity. The starting point to solve the estimation problem is to know the observed values of CO_2 gas stream which evolves during alcoholic fermentation, the initial and final conditions of the process and the maintenance coefficient.
This strategy integrates the EXCEL facilities for data manipulation with the numerical potentialities of MATLAB 7.0 for solving a differential model. The kinetics was determined for batch fermentations at temperatures between 32 and 38 $°C$ based on experimental data.
The results demonstrate that the methodology fit batch experimental observations very satisfactorily.

Key words: Alcoholic fermentation, Dynamic modeling, Fermentation processes.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un marcado interés en el estudio de todos los pasos incluidos en la producción de etanol con el objetivo de reducir costos. La modelación matemática del proceso de fermentación alcohólica potencialmente reduce costos por la eliminación de trabajo experimental innecesario, ya que permite estudiar las interacciones existentes entre varios parámetros del proceso a través de la simulación. Además posibilita comprender el proceso, lo cual es de mucha ayuda para la definición de políticas operacionales que pueden ser aplicadas en la optimización y control posterior del proceso.

El estudio cinético de un proceso está determinado por la variación de una o más variables durante el tiempo. A su vez estas variables podrían estar relacionadas con otros factores que deben ser tenidos en cuenta. La identificación de estos factores y sus relaciones, eventualmente permiten establecer modelos apropiados para la descripción del proceso o parte de este.

Este es el caso de la fermentación alcohólica donde es necesario conocer como varía la biomasa (Síntesis) en el sistema, el contenido de sustrato, producto (metabolito), el calor evolucionado y el flujo de CO_2 desprendido durante la reacción.

Obtener un modelo preciso para la descripción cinética de la fermentación alcohólica es de gran interés para conocer las variaciones que sufre el proceso por las fluctuaciones de la calidad de la materia prima lo cual tiene su impacto en el rendimiento, la productividad y conversión. También se debe tener en cuenta los cambios que ocurren en muchas plantas de etanol producto a las variaciones de la levadura en el proceso y por último la alta sensibilidad que presenta ante pequeñas desviaciones de la temperatura Domenech (2006) y Rivera (2006).

En este trabajo se implementa una estrategia en ambiente EXCEL que se combina con MATLAB para la solución de un modelo cinético que describe el comportamiento de una fermentación alcohólica. Los resultados del modelo fueron comparados con valores experimentales

2. MODELO MATEMÁTICO

El proceso de fermentación alcohólica puede ser representado matemáticamente mediante el siguiente conjunto de ecuaciones diferenciales que describen los niveles de concentración de etanol, biomasa y sustrato en el medio.

Para el crecimiento de biomasa se define la razón específica de crecimiento como:

$$\mu = \frac{1}{x}\frac{dx}{dt} \qquad (1)$$

Donde:

μ: Velocidad específica de crecimiento celular $\left(h^{-1}\right)$

x: Concentración de biomasa en un tiempo t $\left(g * L^{-1}\right)$

t: Tiempo de fermentación $\left(h\right)$

Teniendo en cuenta que las levaduras producen etanol buscando energía para crecer y mantenerse y que durante el proceso de fermentación anaeróbica se sintetizan 2 moléculas de ATP que pueden ser utilizada para estos fines entonces esto implica que:

Acumulación del CO_2 evolucionado	=	CO_2 producido por la síntesis de biomasa	+	CO_2 producido por procesos endógenos.

$$\frac{dCO_2}{dt} = \frac{1}{Y_{x/CO_2}}\frac{dx}{dt} + mx \tag{2}$$

donde:

CO_2: Concentración másica del CO_2 evolucionado $\left(g * L^{-1}\right)$

Y_{x/CO_2}: Rendimiento de biomasa basado en el CO_2 producido por la síntesis. $\left(\text{g biom.*g}^{-1}CO_2\right)$.

m: Coeficiente de mantenimiento basado en el CO_2 evolucionado producto de procesos endógenos. $\left(\text{g } CO_2 \text{ evolucionado*g}^{-1}biom.*h^{-1}\right)$

Asumiendo como constante los coeficientes involucrados en la ecuación (2) e integrando la misma en todo el intervalo de tiempo que dura la fermentación se puede plantear que:

$$\int_0^n \frac{dCO_2}{dt}dt = \frac{1}{Y_{x/CO_2}}\int_0^n \frac{dx}{dt}dt + m\int_o^n xdt \tag{3}$$

Si se parte del supuesto de que se conoce el comportamiento del CO_2 durante toda la fermentación. Entonces esta información puede ser utilizada para describir el comportamiento de la biomasa dentro del fermentador y estimar los principales parámetros cinéticos que rigen la fermentación.

Efectivamente si se emplea el método de los trapecios para resolver las integrales que aparecen en (3) y se despeja la concentración de biomasa (x) se obtiene:

$$\int_0^n \frac{dx}{dt}dt = Y_{x/CO_2}\left[\int_0^n \frac{dCO_2}{dt}dt - m\int_o^n xdt\right]$$

$$x_n = x_0 + Y_{x/CO_2}\left[\int_0^n \frac{dCO_2}{dt}dt - m\int_o^n xdt\right]$$

$$x_n = x_0 + Y_{x/CO_2}\left[\frac{\Delta t}{2} * \left(\left.\frac{dCO_2}{dt}\right|_0 + 2\left(\sum_{i=1}^{n-1}\left.\frac{dCO_2}{dt}\right|_i\right) + \left.\frac{dCO_2}{dt}\right|_n\right) - m\frac{\Delta t}{2} * \left(x_0 + 2\sum_{i=1}^{n-1} x_i + x_n\right)\right]$$

Reorganizando la ecuación anterior se puede llegar a una ecuación similar encontrada por Sato (1983) para el caso de la fermentación en fase sólida.

$$x_n = \frac{\left[Y_{x/CO_2} \frac{\Delta t}{2} * \left(\left. \frac{dCO_2}{dt} \right|_0 + 2\left(\sum_{i=1}^{n-1} \left. \frac{dCO_2}{dt} \right|_i \right) + \left. \frac{dCO_2}{dt} \right|_n \right) + \left(1 - \frac{a}{2}\right) x_0 - a \sum_{i=1}^{n-1} x_i \right]}{\left(1 + \frac{a}{2}\right)} \tag{4}$$

donde $a = mY_{x/CO_2}$

La otra ecuación que conforma el modelo estequiométrico de la fermentación alcohólica tiene que ver con el balance de sustrato a partir del CO_2 evolucionado. En este caso se puede plantear lo siguiente:

Acumulación del CO_2 evolucionado	=	CO_2 producido debido al consumo de sustrato por las células de biomasa

$$\frac{dCO_2}{dt} = -Y_{CO_2/s} \frac{ds}{dt} \tag{5}$$

donde:

s: Concentración de sustrato en un tiempo t $\left(g * L^{-1}\right)$

$Y_{CO_2/s}$: Rendimiento de CO_2 basado en el consumo sustrato. $\left(\text{g } CO_2 * \text{g}^{-1}\text{sustrato}\right)$.

La ecuación (5) también puede ser integrada utilizando el método de los trapecios y asumiendo que el parámetro de rendimiento no varía durante el proceso.

$$\begin{aligned} &\int_0^n \frac{dCO_2}{dt} dt = -Y_{CO_2/s} \int_0^n \frac{ds}{dt} dt \\ &s_n = s_0 - \frac{1}{Y_{CO_2/s}} \frac{\Delta t}{2} \left[\left. \frac{dCO_2}{dt} \right|_0 + \left. \frac{dCO_2}{dt} \right|_n + \sum_{i=1}^{n-1} \left. \frac{dCO_2}{dt} \right|_i \right] \end{aligned} \tag{6}$$

donde:

s_i: Concentración de sustrato en el instante de tiempo $t = i$

Para plantear la ecuación de balance de etanol en la fermentación se tuvo en cuenta un aspecto muy importante que tiene que ver con las pérdidas de etanol debida al desprendimiento de CO_2. Aquí se asume que el etanol en la fase líquida está en equilibrio termodinámico con el predominante en la fase de vapor del CO_2.

La composición de las burbujas en la fase de vapor puede ser descrita de manera estándar asumiendo aditividad de las presiones parciales y coeficientes de fugacidad de uno.
Luego si se desprecian componentes volátiles menores se tiene:

$$P_T = P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{Eta} \tag{7}$$

donde:

P_T : Presión total del sistema (atm)

P_{CO_2} : Presión parcial de vapor del CO_2 (atm)

P_{H_2O} : Presión parcial del vapor de agua (atm)

P_{Eta} : Presión parcial de vapor del etanol (atm)

Las presiones parciales de etanol y agua pueden ser calculadas considerando una mezcla no ideal y utilizando los coeficientes de actividad.

$$P_{Eta} = P^0_{Eta}\gamma_{Eta}x_{Eta} \tag{8}$$

donde:

x_{Eta} : Fracción molar del etanol en la fase líquida.

P^0_{Eta} : Presión del componente puro etanol (atm)

γ_{Eta} : Coeficiente de actividad del etanol.

Para el cálculo de la presión del componente puro etanol se empleó la ecuación de Antoine que expresa su dependencia con la temperatura de la fermentación.

$$Log(P^0_{Eta}) = A_{Eta} - \frac{B_{Eta}}{T + C_{Eta}} \tag{9}$$

donde:

$A_{Eta} = 8.11220$

$B_{Eta} = 1592.864$

$C_{Eta} = 226.184$

T : Temperatura de fermentación $(°C)$

Para determinar el coeficiente de actividad del etanol γ_{Eta} se empleó la ecuación reportada por Pemberton (1978) la cual ofrece resultados termodinámicos consistentes para el intervalo de temperatura en que tiene lugar la fermentación alcohólica $(T < 50°C)$ y fracciones molares entre 0 y 0.046. Debe tenerse en cuenta que muchas fermentaciones alcohólicas no exceden 12% (w/w) [14.8% (v/v)] de etanol y esto corresponde a una fracción molar de 0.05.

$$Ln(\gamma_{Eta}) = a - b\left[\frac{1}{T+273} - \frac{1}{323.15}\right] \tag{10}$$
$$a = 1.6027e^{-2.8235x_{Eta}}$$
$$b = 982.27 - 6891.39x_{Eta}$$

Una vez estimada la presión parcial del etanol P_{Eta} entonces se puede calcular la fracción molar del etanol en la fase vapor Y_{Eta} como:

$$Y_{Eta} = \frac{P_{Eta}}{P_T} \tag{11}$$

Asumiendo que la fracción molar del etanol y el agua en la fase de vapor es mucho menor que uno. La razón de formación de CO_2 puede ser modificada para tener en cuenta la razón de pérdidas de etanol.

$$\frac{dCO_2}{dt} = Y_{Eta}\frac{PM_{Eta}}{PM_{CO_2}}\left[-Y_{CO_2/s}\frac{ds}{dt}\right] \tag{12}$$

PM_{Eta} : Peso molecular del etanol.

PM_{CO_2} : Peso molecular del CO_2.

Finalmente el balance de producto basado en el CO_2 evolucionado se puede plantear como:

Acumulación del Etanol producido	=	Etanol que se forma y no se va en la corriente de CO_2.	-	Etanol que se forma y se pierde por efecto de arrastre.

$$\frac{dE}{dt} = \left[Y_{E/CO_2}\frac{dCO_2}{dt} - Y_{Eta}\frac{PM_{Eta}}{PM_{CO_2}}\frac{dCO_2}{dt}\right] \tag{13}$$

Integrando la ecuación anterior y aplicando el método de los trapecios se llega a:

$$\int_0^n \frac{dE}{dt}dt = \left[Y_{E/CO_2} - Y_{Eta}\frac{PM_{Eta}}{PM_{CO_2}}\right]\int_0^n \frac{dCO_2}{dt}dt$$
$$E_n = E_0 + \left[Y_{E/CO_2} - Y_{Eta}\frac{PM_{Eta}}{PM_{CO_2}}\right]\frac{\Delta t}{2}\left[\left.\frac{dCO_2}{dt}\right|_0 + \left.\frac{dCO_2}{dt}\right|_n + \sum_{i=1}^{n-1}\left.\frac{dCO_2}{dt}\right|_i\right] \tag{14}$$

donde:

E_i : Concentración de etanol en el instante de tiempo $t = i$

La utilización de la ecuación (14) conjuntamente con las ecuaciones (6) y (4) permiten calcular de manera secuencial los valores de concentración de biomasa, sustrato y producto en cada instante de tiempo $t = n$ utilizando la información desde $t = 0$ hasta $t = n - 1$.

Una ventaja que presenta esta metodología es que nos permite conocer los perfiles de biomasa, sustrato y producto en el fermentador sin necesidad de asumir un modelo cinético de crecimiento ya sea del tipo clásico de Monod (1942), Moser (1958), Contois (1959) etc. Estos modelos dependen de distintos parámetros que en muchas ocasiones no son conocidos por el usuario y difíciles de estimar.

Al ser el coeficiente de mantenimiento uno de los parámetros más importantes que se estimaría con este enfoque. El procedimiento puede ser utilizado en el estudio del peso que tiene este coeficiente para comparar esquemas de fermentación alcohólica con recirculación de levadura y sin recirculación de levadura. Así como su relación con el balance de nutrientes.

Después de tener toda la información del comportamiento en el tiempo de la biomasa, sustrato y producto dentro del fermentador entonces el próximo paso consiste en establecer un modelo cinético de crecimiento celular como el de Monod (1942) y estimar sus parámetros.

En este caso primero se determina el intervalo de tiempo en que ocurre la fase de crecimiento exponencial y se estiman los parámetros del modelo lineal de cinética de crecimiento de Monod mediante el método de los mínimos cuadrados.

Modelo de Monod

$$\mu = \frac{\mu_{\max} * S}{K_s + S}$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{K_s + S}{\mu_{\max} * S} \qquad (15)$$

$$\frac{1}{\mu} = \left(\frac{K_s}{\mu_{\max}} \right) \frac{1}{S} + \frac{1}{\mu_{\max}}$$

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Pasos a seguir:

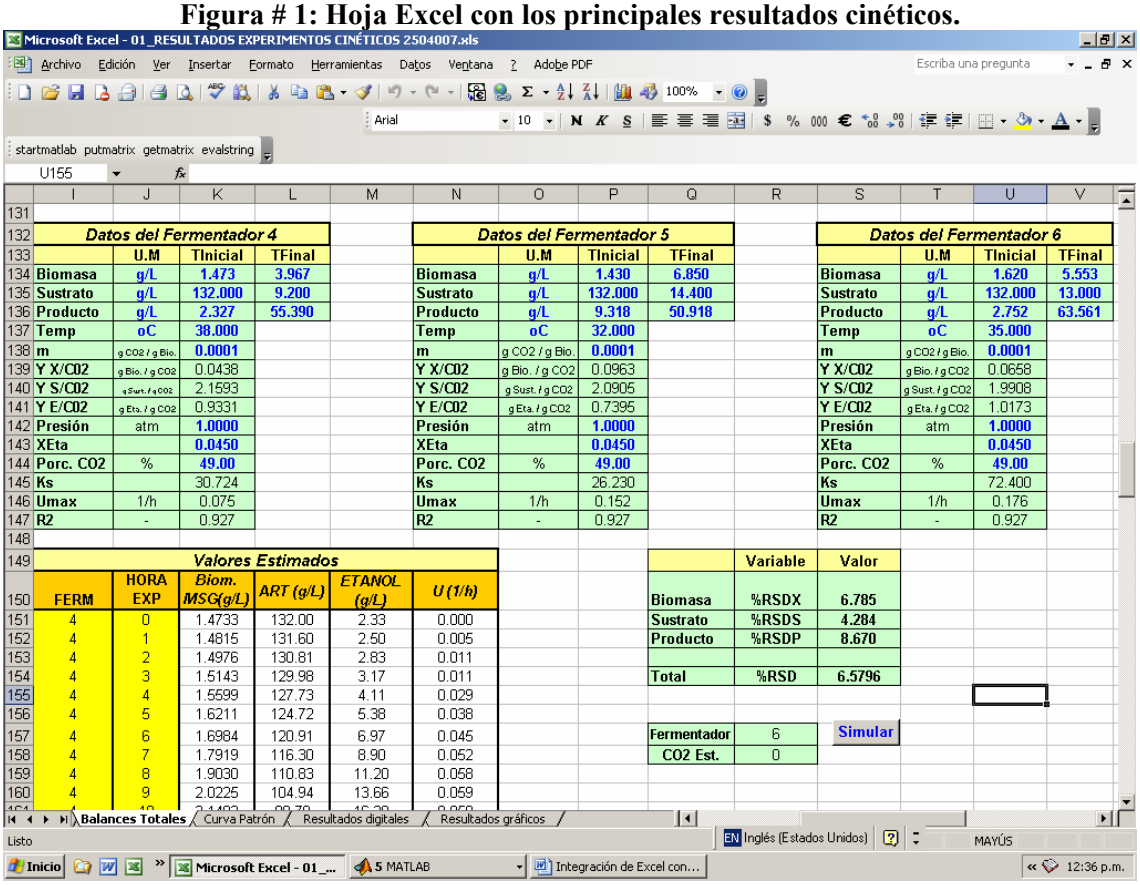
1) Se ejecutaron 6 experimentos cinéticos de fermentación alcohólica discontinua en medio azucarado, utilizando la levadura Saccharomyces cerevisiae. Estos experimentos fueron realizados a nivel de planta piloto en fermentadores Marubishis de 5L, midiéndose cada 2 horas la concentración de Biomasa, producto y sustrato en los fermentadores así como el flujo de CO_2 evolucionado.
2) Se construyó un libro Excel donde aparecen reflejadas de forma digital y gráfica todos los datos provenientes de los experimentos cinéticos.
3) Se implementó en lenguaje de programación MATLAB 7.0 los cálculos numéricos necesarios.

4) Se utilizó la herramienta Excel Link suministrada con MATLAB 7.0 para comunicar el espacio de trabajo de Excel con el de MATLAB. Mediante esta herramienta y con el empleo de la programación en VBA se construyó una macro para el intercambio y sincronización de datos entre las dos aplicaciones sin necesidad de salir del ambiente de trabajo de Excel.

5) Se utilizó la herramienta SigmaPlot para construir los gráficos que aparecen reflejados en el trabajo con múltiples escalas en los ejes verticales.

En la figura # 1 se muestra una parte de la hoja Excel creada para la transferencia de información entre las dos aplicaciones. Los números que aparecen en color azul representan algunos de los datos necesarios para efectuar el proceso iterativo, como, las concentraciones iniciales y finales de biomasa, producto y sustrato, una estimación del coeficiente de mantenimiento, la temperatura de fermentación y la fracción molar de etanol en la fase líquida.

Figura # 1: Hoja Excel con los principales resultados cinéticos.



Para medir la cercanía entre los valores experimentales y los estimados por este proceso se calculó la desviación estándar relativa para las tres componentes y posteriormente se ofrece un promedio de sus valores.

Desviación estándar relativa para la biomasa $RSDX$ expresada en valores porcentuales:

$$RSDX = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\sqrt{\left(x_{obs}(i)-x_{est}(i)\right)^2}}{x_{obs}(i)} * 100 \qquad (16)$$

donde:

$x_{obs}(i)$: Valor observado de concentración de biomasa en el instante de tiempo i.

$x_{est}(i)$: Valore estimado por el modelo de concentración de biomasa en el instante de tiempo i.

De forma similar se pueden calcular las desviaciones estándar relativas para el sustrato $RSDS$ y el producto $RSDP$.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 2 y 3 muestran el comportamiento de los valores estimados por el modelo comparado con los datos experimentales en cada caso. A simple vista se destaca una buena calidad de predicción del modelo.

Al analizar la tabla I se corrobora lo señalado anteriormente, observándose en todos los casos porcientos de valores promedios de desviación estándar relativas RSD inferiores al 10 %, considerados como niveles aceptables de error en la ingeniería de bioprocesos por otros autores como Atala (2001) y Rivera (2006).

La tabla II refleja los principales parámetros que rigen el proceso fermentativo, en ella se puede ver que las velocidades específicas de crecimiento varían entre $0.07\,h^{-1}$ y $0.19\ h^{-1}$. Los máximos valores de $U_{\max}$ se obtuvieron en fermentadores que trabajaron a $(32°C)$ y los mínimos en los fermentadores que trabajaron a $(38°C)$.

Esto pone de manifiesto el efecto de la temperatura sobre el metabolismo de los microorganismos. Un incremento de la temperatura de fermentación entre $32°C$ y $38°C$ provoca una inhibición en el metabolismo del microorganismo, retrasando su velocidad de crecimiento y disminuyendo los requerimientos de sustrato para crecer que se expresa a través de los valores del parámetro K_s. Este resultado concuerda con los obtenidos por Doménech (2006) en el estudio de la influencia de la temperatura y el desprendimiento de CO_2 en las pérdidas de etanol en la fermentación alcohólica.

El coeficiente de rendimiento Y_{x/CO_2} tiene una relación lineal directa con la $U_{\max}$ disminuyendo sus valores a medida que disminuye la velocidad específica de crecimiento.

Tabla I: Desviaciones estándar relativas.

Exp.	*Temp.* °C	*RSDX* %	*RSDS* %	*RSDE* %	*RSD* %
F1	32	14.835	2.705	6.396	7.979
F2	35	6.785	4.284	8.670	6.580
F3	38	9.963	8.336	8.060	8.786
F4	32	4.485	4.584	10.770	6.613
F5	35	4.520	6.607	9.783	6.970
F6	38	2.468	11.423	13.609	9.167

Tabla II: Principales parámetros de la fermentación.

Exp.	*Temp.* °*C*	*m*	U_{max}	K_s	Y_{x/co_2}	Y_{s/co_2}	Y_{E/co_2}
F1	32	0.0001	0.192	46.735	0.0963	2.0905	0.7395
F2	35	0.0001	0.138	43.642	0.0658	1.9908	1.0173
F3	38	0.0001	0.070	23.173	0.0438	2.1593	0.9331
F4	32	0.0001	0.162	20.277	0.1066	2.3053	0.5965
F5	35	0.0001	0.139	19.699	0.0946	2.3024	0.6488
F6	38	0.0001	0.116	23.319	0.0760	2.3797	0.6530

Figura # 2: Resultados cinéticos del comportamiento del proceso Fermentaciones 1 - 3

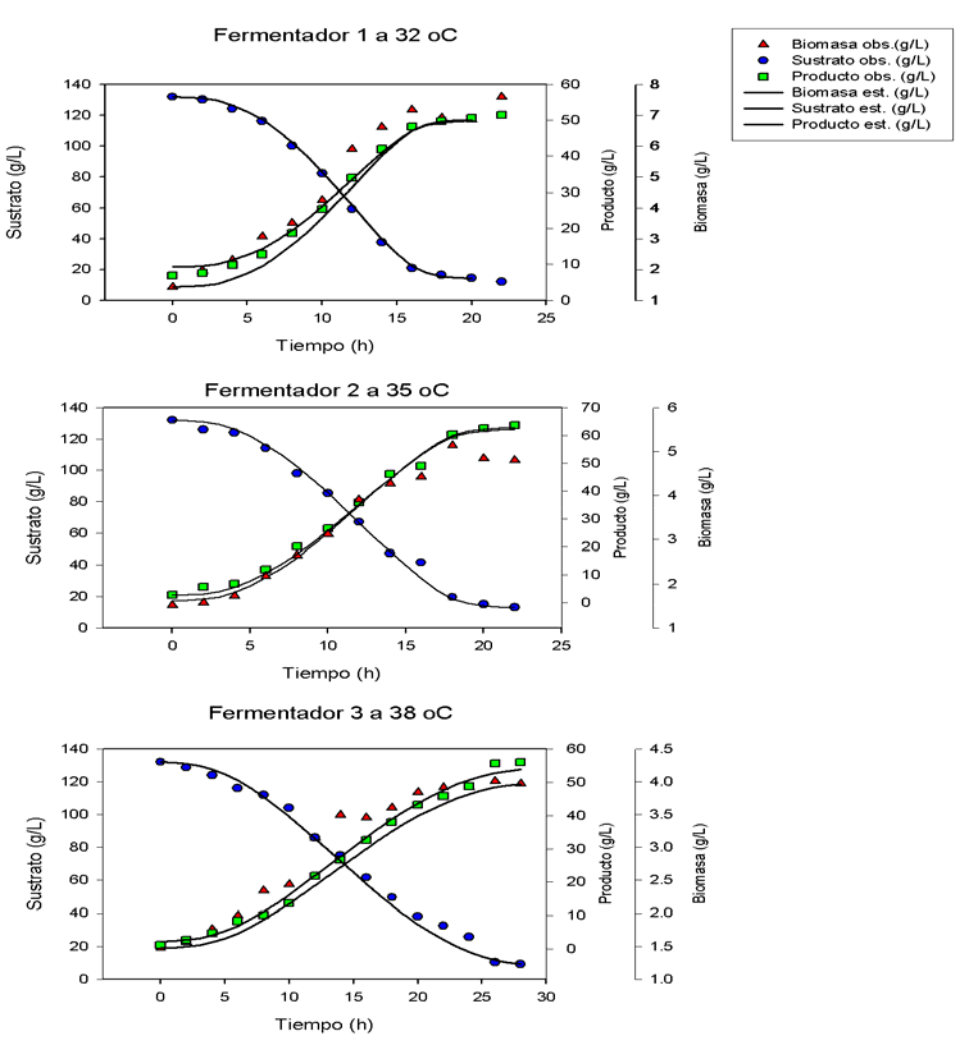
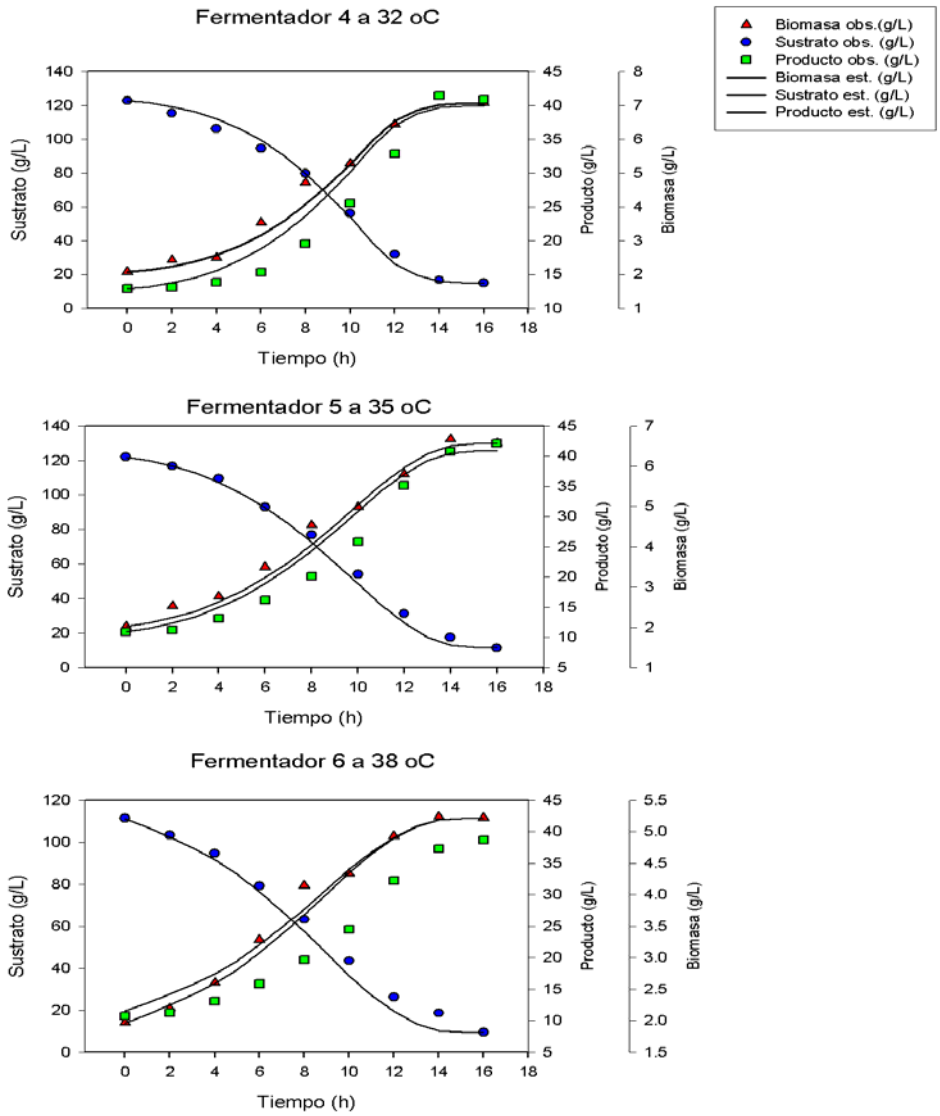


Figura # 3: Resultados cinéticos del comportamiento del proceso
Fermentaciones 4 - 6



5. CONCLUSIONES

- Se desarrolló una metodología de estimación que describe el comportamiento del proceso de fermentación alcohólica sin necesidad de asumir una ecuación de cinética de crecimiento.
- Se demostró la utilidad de la integración Excel-MATLAB para la implementación de dicha metodología.
- Se realizaron 6 experimentos cinéticos cuyos resultados permitieron comprobar la buena calidad de predicción de la metodología propuesta.

6. REFERENCIAS

[1] Atala, DIP., Costa, AC., Maciel, R., Maugeri, F. (2001), *"Kinetics of ethanol fermentation with high biomass concentration considering the effect of temperature*". Appl. Biochem Biotechnol 91-93(1-9), 353-66.

[2] Kalil, SJ., Maugeri, F., Rodrigues, MI. (2000), "*Response surface analysis and simulation as a tool for bioprocess design and optimization"*. Process Biochem 35(6), 539-50.

[3] Rivera, EC, Costa, AC., Atala, DIP, et. al. (2006), "*Evaluation of optimization techniques for parameter estimation: Application to ethanol fermentation considering the effect of temperature"*. Shot communication Process Biochemistry 41, 1682 – 1687.

[4] Caro, I., Pérez, L., Cantero, D. (1992), "*Modelling of etanol evaporative losses during batch alcohol fermentation"*. The Chemical Engineering Journal, 48, B15-B22.

[5] L. A. Williams. (1983), "*Theory and Modelling of Ethanol Evaporative Losses during Batch Alcoholic Fermentation*". Biotechnology and Bioengineering Vol. XXV, 1597-1612.

[6] Doménech, F., Michelena, G., Alfonso, A., Diez, K., Martinez, A. J., Porto, O. (2006), *"Influencia de la temperatura y el desprendimiento de* CO_2 *en las perdidas de etanol en la fermentación alcohólica"*. Memorias Diversificación 2006.

[7] Atiyeh, H., Duvnjak, Z. (2001). *"Study of the production of fructose and ethanol from sucrose media by Saccharomyces cerevisiae"*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 57, 407-411.

[8] Rodríguez, Leon, JA., Sastre, L, Echevarria, J., Delgado, G., Bechstedt, W. (1988), *"A mathematical approach for the estimation of biomass production rate in solid state fermentation"*, Acta Biotecnológica, 8(4), 299-302.

[9] Rodríguez, Leon, JA., Bueno Gloria, Rodríguez, D. E., Delgado, G. (2003), *"True and apparent yields and maintenance coefficient and their significance on fermentation kinetics"*. News Horizons in Biotechnology, Editorial Kluver, 1, 201-212

[10] Sato, K., Nagatani, M., Nakamura, K., Sato, S. (1983), *"Growth estimation of Candida lipolitica from oxygen uptake in solid state culture with forced aeration", Journal of Fermentation Technology*, 61 (6), 623-629.

[11] Pemberton, R. C., Mash C. J. (1978), J. Chem. Thermo., 10, 867.

[12] Monod, J. (1942), *"Recherches sur la Croissance des Cultures Bacteriennes"*, Hermmann & Cie., Paris.

[13] Moser, H. (1958) *"The dynamics of bacterial population maintained in the chemostat"*, Carnegie Institute of Washington.

[14] Contois, D. E. (1959) *"Kinetics of bacterial growth: relationship between population density and specific growth rate of continuous cultures"*, J. Gen. Microbiol., 21, 40-50.

[15] Macros en MS Excel, Fichero pdf ,http://www.cybercursos.net.

[16] Excel Link User's Guide, Fichero pdf, http://www.mathworks.com.

AISLAMIENTO, RENOVACIÓN Y CONSERVACIÓN DE CEPAS DE LEVADURAS EN DESTILERÍAS

Ing. Rosa Irma Ramírez Soto
Esp. En Producción de Alcoholes

Lic. Tomás Morales Valle

Destilería "Héctor Molina", GEA: Habana, MINAZ
lmorales@infomed.sld.cu
eco203@hab.minaz.cu

Resumen

El trabajo se realizó en la Destilería "*Héctor Molina"* perteneciente a la Empresa Azucarera del mismo nombre**,** para resolver la situación de ineficiencia en fermentación presentada en el proceso de producción a partir del año 2000 – buscando certeras medidas que nos permitieran elevar los índices de eficiencia del proceso**.**

El aislamiento conservación y desarrollo de una *cepa de levadura* eficiente en las condiciones operacionales de nuestra fábrica y su introducción en el proceso productivo, junto a la creación de un sistema de trabajo que permita mantener y renovar permanentemente un Banco de Cepa que satisfaga las necesidades del proceso en diferentes condiciones constituyó el objetivo central del trabajo**.**

Se utilizaron Mieles Fermentadas como fuente para la obtención de las levaduras a aislar y los métodos de aislamiento en placas y en cuñas con medios de cultivo solidificados**.** Una vez obtenida, se realizó la evaluación y comparación de la nueva cepa con otras conocidas mediante un grupo de pruebas a nivel de laboratorio e industrial que permitieron conocer sus características fundamentales y sus posibilidades reales**.**

Se obtuvo una *cepa de levadura* que cumple hasta el momento con todas las expectativas de eficiencia que en ella se depositaron y supera significativamente, a nivel de laboratorio e industrial, los resultados obtenidos por la *Levadura Seca Activa Importada* y *HM Propia* utilizadas anteriormente en la fábrica permitiendo la sustitución de importaciones y realizando grandes aportes a los índices de eficiencia que durante los últimos años exhibe la Entidad**.**

De esta experiencia y sus resultados se derivó la implantación de un Proceso Permanente de Aislamiento**,** Evaluación y Renovación de las Cepas de Trabajo para lograr la Mejora Continua de esta importante etapa del proceso de producción**,** situación que permitió además con el aumento de las concentraciones alcohólicas en mostos fermentados, reducir los consumos de portadores energéticos y los volúmenes de residuales**.**

Palabras Claves: Levaduras, Aislamiento, Eficiencia

Summary

The work was carried out in the Still Héctor Molina belonging to the Sugar Company of the same name**,** to solve the ineficiencia situation in fermentation presented in the production process starting from the year 2000 - looking for good measures that allowed to rise the indexes of efficiency of the process**.**

The isolation conservation and development of a stump of efficient yeast in the operational conditions of our factory and their introduction in the productive process**,** next to the creation of a work system that allows to maintain and to renovate a Bank of Stump that satisfies the necessities of the process under different conditions permanently constituted the central objective of the work**.**

Fermented Honeys were used as source for the obtaining of the yeasts to isolate and the isolation methods in badges and in wedges with solidified means of cultivation**.** Once obtained**,** he/she was carried out the evaluation and comparison of the new stump with other acquaintances by means of a group of tests at laboratory level and industrial that allowed to know their fundamental characteristics and their real possibilities**.**

A yeast stump was obtained that it fulfills until the moment all the expectations of efficiency that were deposited in her and it overcomes significantly, at laboratory level and industrial**,** the results obtained by the Cared Active Dry Yeast and Own HM used previously in the factory allowing the substitution of imports and carrying out big contributions to the indexes of efficiency that it exhibits the Entity during the last years**.**

Of this experience and their results he/she was derived the installation of a Permanent Process of Isolation**,** Evaluation and Renovation of the Stumps of Work to achieve the Continuous Improvement of this important stage of the production process, situation that allowed also with the increase of the alcoholic concentrations in fermented musts**,** to reduce the consumptions of energy payees and the volumes of residual**.**

Key words: Yeasts**,** Isolation**,** Efficiency

Introducción

Las producciones alcoholeras juegan hoy un papel importante en el desarrollo y los resultados económicos de la Empresa Azucarera Cubana y son de vital importancia para el país**.** A nivel mundial se realizan esfuerzos considerables para desarrollar nuevas cepas de levadura cada día más eficientes**.**

Es un reto de la biotecnología en Cuba, hacer sostenible la producción alcoholera y para ello se ha propuesto obtener y conservar microorganismos capaces de convertir cada día más eficientemente los azucares de los sustratos en alcohol**.**

A partir del año 2000 comenzó a producirse un progresivo deterioro en los índices de eficiencia de la fermentación en la destilería *Héctor Molina* alejándonos de la excelencia productiva esperada**.**

El *Aislamiento de una nueva cepa de levadura* estuvo dentro de las primeras tareas trazadas y constituyó el objetivo de este trabajo**.** La *nueva levadura* tendría que cumplir con las exigencias mínimas descritas para el empleo de una levadura en la industria**.**

Marco Teórico

Las levaduras. Son multitud de microorganismos**,** los cuales tienen de común el carecer de clorofila**,** ser unicelulares y microscópicos**.** Se reproducen según un particular y bien característico proceso de reproducción asexual fundamentalmente**. (*Palacio - 1956*)**

Con excepción de algunas especies cultivadas, se encuentran en la naturaleza en frutos dulces y jugos o en excreciones vegetales que contienen azúcar, de aquí pasan a suelo con la lluvia y las hojas que caen, y de este a las plantas y árboles y mantiene así un ciclo evolutivo. **(Jorgensen, Hansen – 1940)**

Son microorganismos mesófilos**,** esto hace que la fermentación tenga un rango óptimo desde los 33 a 35 ^{0}C**,** cuando las temperaturas son superiores a estos valores**,** las membranas celulares de estas dejan de ser tan selectivas**,** emitiendo sustratos muy adecuados para las bacterias**. (*Collado - 2001)***

Reproducción asexual. Constituye el modo más simple de reproducirse las levaduras y en él se destaca la *gemación***.**
En la célula madre se forma una protuberancia en forma de yema que gradualmente crece hasta formar una nueva célula hija**.** El núcleo se desplaza hacia la yema**,** pasando materia citoplasmática y nuclear a ella**,** la yema una vez con todos los elementos precisos**,** se va estrangulando por la zona de su unión a la célula madre hasta desprenderse**.** Permanece aislada de la célula madre por su envoltura**. (*Palacio - 1956*)**

Forma y tamaño de la célula de levadura. El tamaño y forma de la levadura es muy variable y depende tanto de la especie como de las condiciones del cultivo**.** En condiciones normales se pueden distinguir varios tipos**:** redondeadas**;** elípticas**;** limones**;** etc**.** Su tamaño suele estar comprendido entre 5 a 8 micras**. (*Palacio - 1956*)**

Constitución. Está delimitada por una delgada membrana que se va robusteciendo y haciéndose más gruesa con el transcurso del tiempo para llegar al máximo en las células viejas**. (*Palacio - 1956*)**

Nutrición de la levadura. Cuando la levadura se encuentra en condiciones hostiles adopta un estado especial de resistencia**:** esporula**.**

Para cada levadura existe una temperatura óptima de desarrollo**.**
Exactamente igual que la temperatura ocurre con el pH del medio**.** Se ha demostrado que cultivos viejos de *Saccharomyce cerevisiae* prefieren pH de 4**.**4**,** cuando jóvenes lo prefieren de 4**.**8**.** El pH no es un valor absoluto**. (*Palacio - 1956*)**

Factores de crecimiento. Actúan de una manera completamente igual a como lo hacen las vitaminas sobre los animales**.** Dentro de los Factores de crecimiento debemos diferenciar los indispensables y los no**.** Cuando se rebasa la concentración óptima**,** puede**,** en ciertos casos**,** desempeñar el papel de inhibidor**.** No sólo el crecimiento sino también la fermentación son estimulados por su acción**,** aumentando la respiración y acrecentando la acumulación de glicógeno respectivamente**. (*Palacio - 1956*)**

La Biotecnología es el uso integrado de la Bioquímica**,** la Microbiología**,** la Genética y la Ingeniería Química para aprovechar en el plano tecnológico las propiedades y posibilidades de los microorganismos y de los cultivos celulares**. (*Dustet – 2005)***

Mucho antes de 1876 el hombre ya había aprendido a cultivar los microorganismos, los cultivos artificiales fueron empleados por el hombre antes de que tuviera conciencia de que había creo algo vital para el desarrollo de la civilización**.** Fue en 1876 el año en que Robert Koch, el padre de los medios de cultivos artificiales logró esto por primera vez, utilizó la Gelatina y medios de extracto de materiales de naturaleza proteica**.** Más tarde**,** la utilización del Agar como agente solidificante revolucionó la práctica de la preparación de los medios dolidos**.** (Rodríguez – 2004)

Seleccionar una cepa de levadura adecuada es una de las importantes aplicaciones de la Biotecnología y constituye una de las herramientas más eficientes para el control y optimización de la fermentación alcohólica**,** maximizar la producción de alcohol**,** reducir los costos y desarrollar las características organolépticas deseadas en el producto para las producciones de bebidas destiladas**. (*Dustet – 2005)***

La existencia en la actualidad de gran diversidad de medios de cultivo artificiales ha permitido mejorar las posibilidades de asilamiento, diferenciación y el crecimiento exuberante de los microorganismos en el proceso de cultivo**.** Medios de cultivo como el Agar Extracto de Malta y el Agar Malta producidos por BIOCEN**;** Centro Nacional de Biopreparados de nuestro país son ideales para la detección y aislamiento de las Levaduras. **(Rodríguez – 2004)**

En la producción de alcohol se han usado diferentes formas de obtención y empleado distintos tipos de levaduras**.**

La levadura panadera industrial es ampliamente utilizada en la Industria Alcoholera**,** por ser obtenida con facilidad en el mercado en las cantidades requeridas**.** Presentan**,** como inconvenientes**,** bajas tasas de permanencia en el proceso industrial**,** elevada producción de espuma**,** floculación y bajos rendimientos en etanol**. (*Álvare y otros –2007*)**

Por estas razones son sustituidas por cepas salvajes más versátiles en cuanto a habilidades fermentativas**,** seleccionadas especialmente y patentadas o conservadas por los propios cerveceros**. (*Álvarez y otros –2007*)**

Criterios de selección para cepas salvajes conservadas por los productores (*Álvarez y otros–2007*)

- Capacidad rápida y relevante de fermentar carbohidratos en un tiempo razonable para producir altas concentraciones de alcohol**;** con rendimiento**,** productividad y eficiencia fermentativa óptimas para las condiciones operacionales existentes**.**
- Estabilidad fisiológica y genética**.**
- Tolerancia a estreses fermentativos como altas temperaturas y presiones osmóticas**,** bajos pH**,** interrupciones del proceso**,** etc**.**
- Fase Log lo más acortada posible previa a la fermentación activa**.**
- Alta viabilidad celular para su recirculación**,** implantación y sobrevivencia durante la temporada**.**
- Características apropiadas de floculación y sedimentación**.**
- Resistencia a ciertos residuos tóxicos**.**
- Resistencia a infecciones bacterianas y capacidad para desplazar levaduras concomitantes **(**imposibilidad de empleo de antibióticos**:** insumos extremadamente caros para el proceso fermentativo**).** Producción de ácido succínico por parte de la levadura**,** en sinergismo con el etanol presenta acción bactericida contra las bacterias más frecuentes que contaminan el proceso industrial**.**

- Capacidad para fermentar ante variaciones en la materia prima **(**elevadas proporciones de mieles sometidas a agotamientos más intensos**:** menor pureza**,** elevadas concentraciones de infermentables**,** sales minerales y más caramelizadas**).**
- Baja formación de espuma**.**

Ensayos de fermentación para la selección y evaluación de cepas. (*Álvarez y otros–2007*)

- Rendimientos en etanol **(**eficiencia fermentativa**).**
- Tenores de azúcares residuales en batición**.**
- Velocidad de fermentación**.**
- Viabilidad y tasa de multiplicación de la levadura**.**
- Contaminación bacteriana **(**células tipo bastón**).**

Etapas del proceso de aislamiento y conservación. (*Álvarez y otros–2007*)

- Selección**,** Aislamiento y Evaluación de Cepa**.**
- Mantenimiento y Conservación**.**
- Introducción y Rastreo en Producciones industriales**.**

Es importante destacar que en el trabajo microbiológico no se deben dar las mismas recetas exactas y generales para todos los casos, la experiencia personal y el juicio en que esta se basa juegan un papel muy importante. **(Jorgensen - 1940)**

Desarrollo

I. Caracterización del objeto de estudio

El trabajo se realizó para incidir en el *Área de Fermentación***,** la cual es considerada la de mayor influencia en los resultados económicos de la entidad**,** por lo que una mejoría significativa en ella nos proporcionaría – sin lugar a dudas – resultados excelentes de eficiencia**.**

Motivados por la esperanza de poder convertir en realidad tangible tan extraordinario objetivo se inició el *Aislamiento de una nueva cepa de levadura***.**

II. Materiales y métodos

Se inició el aislamiento a finales del año 2005 tomando muestras a un sirope comprado por la fábrica para fermentar y que presentaba visibles síntomas de fermentación por presencia de levaduras en el medio**.**

Para el aislamiento se utilizó un método similar al descrito por Koch (1880) para la distribución de microorganismos sobre un sustrato nutritivo sólido a partir de una sola célula **(Martínez y colaboradores, 1985).** Aunque el empleo del método de placas permite obtener cultivos puros, fracasa a veces con las levaduras**,** por lo que para nuestro trabajo lo alternamos con la siembra en medio sólido inclinado y con medios líquidos selectivos similar al método de Hansen**. (Jorgensen, Hansen – 1940)**

Durante el proceso de aislamiento se realizaron observaciones microscópicas para determinar fundamentalmente**:** forma**;** disposición**,** y tipo de multiplicación de las células hasta la obtención del cultivo

puro de la *nueva cepa de levadura* **(**bautizada con el nombre de *Magdala***)** ocurrido el día 3 de mayo de 2006 a las 11am**.**

Una vez aislada se procedió a evaluar si la cepa obtenida es adecuada para nuestros fines y comparar sus posibilidades reales con las de las cepas utilizadas hasta el momento**.** Para esto en el laboratorio se efectuaron una serie de fermentaciones comparativas**. (Jorgensen, Hansen – 1940)**

Se realizaron las fermentaciones a diferentes valores de pH**,** concentración y temperatura, comparando los resultados fermentativos con las cepas precedentes**.** Entre otros parámetros se midió capacidad fermentativa**,** velocidad de fermentación y formación de espumas**.**

Resultados

A continuación se expresan los resultados comparativos hechos a escala de laboratorio con la anterior cepa usada para fermentar en la fábrica**,** nombrada *HM* y que se encontraba en uso en la fábrica desde el inicio de la década de los 90**,** con más de 10 años de explotación y conservación**.**

Tabla I. Resultados comparativos a escala de laboratorio de la *nueva cepa* con la anterior cepa *HM* usada para fermentar en la fábrica**.**

Cepa	**pH**	**Brix I**	**Brix F**	**Δ B x**	**Tiempo (h)**	**Temp. (^{0}C)**	**Inóculo (%)**	**R. A**	**EF**
HM	3.8	15	6.2	8.86	24	36	13	6.5	83.03
Magdala	3.8	15	4.5	10.5	24	36	13	6.5	83.03
Fermentaciones a 15 ^{0}Bx**,** pH 3.8 y 36 ^{0}C									

Cepa	**pH**	**Brix I**	**Brix F**	**ΔB x**	**Tiempo (h)**	**Temp. (^{0}C)**	**Inóculo (%)**	**R. A**	**EF**
HM	4.3	15	3.67	11.33	48	32	13	5.9	75.37
Magdala	4.3	15	3.83	11.17	48	32	13	6.3	80.48
Fermentaciones a 15 ^{0}Bx**,** pH 4.3 y 32 ^{0}C									

Cepa	**pH**	**Brix I**	**Brix F**	**ΔB x**	**Tiempo (h)**	**Temp. (^{0}C)**	**Inóculo (%)**	**R. A**	**EF**
HM	3.8	19	6.3	8.7	48	36	13	7.6	75.6
Magdala	3.8	19	4.5	10.9	48	36	13	7.8	77.6
Fermentaciones a 19 ^{0}Bx**,** pH 3.8 y 36 ^{0}C									

Cepa	pH	Brix I	Brix F	ΔB x	Tiempo (h)	Temp. (^{0}C)	Inóculo (%)	R. A	EF
HM	4.5	19	4.47	10.53	48	32	13	7.5	74.61
Magdala	4.5	19	4.37	10.63	48	32	13	7.7	76.60
Fermentaciones a 19 ^{0}Bx, pH 4.5 y 32 ^{0}C									

Estos resultados – bien alentadores – hicieron pensar que se trataba de una *nueva cepa* con excelentes condiciones, es decir, cumplidora de los requisitos todos para ser empleada a escala industrial.

Se realizaron experiencias entonces a nivel industrial donde se corroboraron los resultados experimentales, al comparar la nueva cepa con la *Levadura Seca Activa* (adquirida en MLC) y la *HM* anteriormente aislada en el centro y con 10 años de explotación.

Análisis de los Resultados

La levadura *Magdala* se ha utilizado en la fábrica entre el 070506 y el 250907 con los resultados que se expresan en la siguiente tabla.

Tabla II. Resultados productivos de la levadura *Magdala* entre el 060506 y 220606

Aspectos	***Cifras***
Bx (%) de la miel consumida	**82.71**
Azúcares Fermentables **(%)**	**53.02**
Días de Producción (Día)	**47**
Días Efectivos (horas)	**27.386**
Días Inactivos (horas)	**19.562**
Tiempo Perdido (horas)	**469.5 (6 % FB)**
Indices b52 AT (Kg. /HL	**381.779**
Indices b52 AF (Kg. /HL)	**375.759**
Índice M F C (Kg. /HL)	**379.107**
Eficiencia Destilación **(%)**	**95.9**
Eficiencia Fermentación **(%)**	**80.49**
Riqueza Alcohólica **(%)**	**5.68**
Producción / Día Efectivo (HL / Día)	**497.18**
Brix de Corrida (ß)	**17.1**
Concentración (gr./L)	**117**
Ciclo de Fermentación (horas)	**24 ‹**
% en Días de Producción	**28**

Estos resultados tuvieron una gran influencia en los resultados finales de la campaña 2006, a pesar de lo corta de la misma (165.667 días de producción) y a la permanencia pequeña de *Magdala* (sólo del 28 %) en la contienda.

Tabla III. Resultados productivos de la levadura *Magdala* entre el 150207 y 250907

Aspectos	***Cifras***
Bx **(%)**	**81.09**
Azúcares Fermentables **(%)**	**54.81**
Días de Producción **(**Día**)**	**176.513**
Días Efectivos **(**horas**)**	**78.447**
Días Inactivos **(**horas**)**	**40.512**
Tiempo Perdido **(**horas**)**	**964.5 (3 % FB)**
Kg**.** b52 AT	**15133461**
Indices b52 AT **(**Kg**.** /HL	**404.035**
Indices b52 AF **(**Kg**.** /HL**)**	**397.095**
Eficiencia Destilación **(%)**	**93.70**
Eficiencia Fermentación **(%)**	**76.61**
Riqueza Alcohólica **(%)**	**5.42**
Producción / Día Efectivo **(**HL / Día**)**	**477.47**
Brix de Corrida **(**ß**)**	**16.3**
Concentración **(**gr./L**)**	**116**
Ciclo de Fermentación **(**horas**)**	**24 ‹**
% en Días de Producción	**90**

En este 2007 su influencia – avalada por los resultados obtenidos hasta este tiempo presente – ha sido incuestionablemente mayor**,** pues su entrada al *Área de Fermentación* fue mucho más temprana y por ende su permanencia en la contienda ha sido por mucho más tiempo **(**90 %**).**

Tabla IV. Resultados todos con el empleo de la nueva cepa *Magdala* hasta el cierre de la campaña 2007**:**

Aspectos	***Cifras***
Bx **(%)**	**81.51**
Azúcares Fermentables **(%)**	**54.35**
Días de Producción **(**Día**)**	**223.513**
Días Efectivos **(**horas**)**	**105.833**
Días Inactivos **(**horas**)**	**60.074**
Tiempo Perdido **(**horas**)**	**1434 (3% FB)**
Indices b52 AT **(**Kg**.** /HL	**398.103**
Indices b52 AF **(**Kg**.** /HL**)**	**391.408**
Índice M F C **(**Kg**.** /HL**)**	**390.565**
Eficiencia Destilación **(%)**	**94.30**
Eficiencia Fermentación **(%)**	**77.59**
Riqueza Alcohólica **(%)**	**5.49**
Producción / Día Efectivo **(**HL / Día**)**	**482.57**
Brix de Corrida **(**ß**)**	**17**
Concentración **(**gr./L**)**	**117**
Ciclo de Fermentación **(**horas**)**	**20 – 22**
% en Días de Producción	**100**

Creemos que no es ni remotamente aventurero expresar **(**después de lograr 987223 HL de batición destilada en 223**.**513 días de producción con los índices de eficiencia – indiscutiblemente alentadores – que aquí se describen**)** que la *nueva cepa aislada* reúne los requisitos todos para su uso industrial**.**

El ICIDCA con fecha 020407 a través de su laboratorio LABEB **(**Laboratorio de Alcoholes y Bebidas**)** emitió un Informe de Resultados en el cual certifica que los tres tipos de alcoholes técnicos producidos por la Fábrica cumplen con las Normas Cubanas de Calidad exigidas**.**

Esto constituye ser a nuestro juicio – sin un gris de duda – el palmarés más importante y definitivo en favor de la *nueva cepa aislada***,** pues nos entrega un Producto Final con excelente Calidad**,** siendo un aporte de gran consideración en la solidez de la Misión de la Organización**.**

Para nuestra Entidad la Calidad del Producto Final es el canon primero para la comercialización y la pauta para la satisfacción del cliente**,** respectivamente**.**

Tabla V. Resultados con la cepa *HM* entre 2004/2005

Aspectos	***Cifras***
Bx **(%)**	**82.83**
Azúcares Fermentables **(%)**	**53.68**
Días de Producción **(**Día**)**	**364.958**
Días Efectivos **(**horas**)**	**238.959**
Días Inactivos **(**horas**)**	**125.499**
Tiempo Perdido **(**horas**)**	**3024 (6 % FB)**
Indices b52 AT **(**Kg**.** /HL	**436.838**
Indices b52 AT **(**Kg**.** /HL	**428.849**
Índice M F C **(**Kg**.** /HL**)**	**426.311**
Eficiencia Destilación **(%)**	**90.13**
Eficiencia Fermentación **(%)**	**75.3**
Riqueza Alcohólica **(%)**	**5.08**
Producción / Día Efectivo **(**HL / Día**)**	**468.54**
Brix de Corrida **(**ß**)**	**16.2**
Concentración **(**gr./L**)**	**111.28**
Ciclo de Fermentación **(**horas**)**	**30**
% en Días de Producción	**95**

Una comparación de los resultados mostrados en las Tablas IV y V permite apreciar la superioridad de la *nueva cepa* en las condiciones de nuestra fábrica respecto a la *cepa HM*.

Estos resultados influyen seriamente en la reducción de los consumos de portadores energéticos en la fábrica que se reflejan en la siguiente tabla.

Tabla VI. Efecto de la *nueva cepa* sobre los Índices de Consumo de Portadores Energéticos

	CEPA		Difer.
	MAGDALA	***HM***	
Riqueza Alcohólica (%)	5.50	5.08	0.42
Consumo de Vapor (Kg./HL)	319.00	329.00	10.00
Consumo de Fuel Oil (Kg./HL)	26.00	30.00	4.00
Petróleo Equivalente (Kg./HL)	26.25	30.29	4.04

Se puede apreciar la reducción de los consumos de petróleo en un 13 %.

Resultados Finales

Como resultado del trabajo desarrollado se logra el aislamiento de una Cepa de trabajo de mayor eficiencia y derivado de los beneficios obtenidos con el aislamiento de esta *nueva cepa* y en correspondencia con los postulados de la Biotecnología en materia de Renovación y Selección de Cepas de Levadura Adecuadas como una de las herramientas más eficientes para el control y optimización de la fermentación alcohólica, maximizar la producción de alcohol, reducir los gastos de Materiales y costos de todo tipo y desarrollar las características organolépticas deseadas en el producto para las producciones de bebidas destiladas; se mantiene en nuestra fábrica un Proceso de Aislamiento, Evaluación y Renovación de Cepas permanente.

Esta actividad constituye un subproceso de apoyo al proceso de producción en el Sistema de Gestión de la UEB Destilería "*Héctor Molina*" para garantizar la estabilidad y permanencia en el tiempo de los resultados alcanzados en los últimos dos años.

Análisis Económico

- Como consecuencia del empleo de la nueva cepa aislada, en este caso, con respecto a los años 2004/2005 se ha logrado un ahorro de miel de 4429.467 TM equivalentes a $ 203547,79.

- Como consecuencia del empleo de la nueva cepa aislada con respecto a los años 2004/2005 se ha logrado un incremento de la producción de alcohol en 3352.58 HL, traducido en un incremento de venta de $ 128739.07 por este concepto.

- En nuestra unidad, con una producción de 42 000 HL/año en solo tres meses de producción, se ahorran 168 Toneladas de Fuel Oil equivalentes a 175 m^3. En un año de 10 meses de trabajo ahorra 560 toneladas de fuel – oil que representan 583 m^3. Evaluando estos ahorros de combustible a un precio, pagado por la empresa, de 19 centavos el litro reportaría 33 250 pesos en tres meses de producción y 110 833 pesos en 10 meses de trabajo.

Evaluando estos gastos a precio del mercado internacional (considerando a 50 Centavos Dollar/L) se ahorra al país en divisa libremente convertible un valor aproximado de 87 500 USD en tres meses, equivalente a 291 666 USD/ año de trabajo.

- La solvencia neta por estos tres conceptos – ahorro de miel, incremento de la producción y ahorro de Portadores Energéticos –asciende a $ 365 536.86 con respecto a los años 2004/2005.

- El potencial real de reducción de los gastos es de 1 096 610.6 pesos en un año completo de trabajo de la fábrica.

- A estos resultados se une la posibilidad de poder sustituir importaciones, al eliminar en el centro el consumo y utilización de *Levadura Seca Activa* adquirida en MLC para llevar a cabo la fermentación en las destilerías del país y reducir los volúmenes de residuales producidos.

Conclusiones

- Los Procedimiento de Aislamiento, Evaluación y Renovación de Cepas son una eficiente herramienta para la Gestión de la Eficiencia, la Sostenibilidad y la Calidad en los Procesos de Producción de Alcoholes.
- La *nueva cepa aislada* pertenece al género Saccharomyces; es de forma redondeada; se reproduce asexualmente por gemación; su desempeño con respecto a la temperatura nos lleva a considerarla como termófila; es muy eficiente en medios isotónicos, pero también tiene excelentes resultados en medios hipertónicos, de donde fue aislada; fermenta perfectamente a pH entre 3.5 y 4.
- La *nueva cepa aislada* concuerda con todas las características descritas para su empleo a escala industrial. Los resultados obtenidos con su empleo son fiel testimonio de ello.
- Los trabajos realizados llevan a una reducción total de gastos en la unidad de $ 365 536.86 con respecto a los años 2004/2005 como resultado del ahorro de mieles, portadores energéticos e incremento de las producciones de alcohol a partir del empleo de la *nueva cepa aislada pemitiendo trabajar con cepas cada vez más eficientes lo que* amerita la entrada y permanencia de estos métodos en el proceso de producción.
- La *nueva cepa aislada* garantiza la obtención un producto final con una alta calidad – avalada por prestigiosos laboratorios – capaz de satisfacer a los más exigentes de nuestros clientes y educiendo el Impacto Ambiental.

Recomendaciones

- Emplear en la venidera campaña de período productivo en un 100% la *nueva cepa aislada*.

- Mantener la actividad de Aislamiento, Evaluación y Renovación de Cepas como subproceso de apoyo permanente dentro del sistema para la Gestión de la Calidad y la eficiencia en la producción de alcoholes.

- Generalizar esta experiencia a las fábricas de alcoholes como una vía para mejorar la eficiencia, la calidad, reducir el impacto ambiental y sustituir Importaciones.

- Consolidar la buena altura de los resultados obtenidos a través del empleo del certero tratamiento de la Mejora Continua. Ella llevará a la *nueva cepa* a abrevar sin demora y abundantemente en las preciadas aguas del afianzamiento productivo y nos remontará a años luz de distancia de poder ser alcanzados por la peligrosísima no fijación de eficiencia en el proceso de producción.

Referencias

- **Álvarez, X. y García, R. 2007.** *Criterios y Metodología para la Selección de Cepas de levaduras en Destilerías***.** Dpto. Microbiología**.** ICIDCA**.** TALLER DE ALCOHOL**.**

- **Collado, Q. 2001.** *Levaduras y la fermentación alcohólica***,** *Verema.com***.**

- **Dustet, J. 2006.** *Conferencias sobre los temas de Biotecnología y Fermentaciones***.** Facultad de Ingeniería Química**.** CUJAE**.**

- **Martínez, J y colaboradores. 1985.** *Manual Práctico de Microbiología***.**Universidad de La Habana**.** Ministerio de Educación Superior. Editorial Pueblo y Educación**.**

- **Palacio, H. 1956.** *Fabricación de alcohol***.** SALVAT EDITORES, S. A España.

- **Rodríguez, C y Zhurbenko, R.** Manual de Medios de Cultivo BIOCEN. Tercera Edición. Año 2004. Cuba.

FÁBRICAS DE ALCOHOL. CORROSIÓN Y MANTENIMIENTO

Lic. Andrés Gómez Estévez [1] (*); Dr. Ángel Seijo [2] ; Dra. Beatriz Ramos [2] ; et. al.

[1] Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA, MINAZ, andres.gomez@icidca.edu.cu.
[2] Laboratorio de Pinturas y Barnices, CIIQ, MINBAS, angel@farmacuba.minbas.cu ; evaluacion@farmacuba.minbas.cu

Resumen

El trabajo describe de forma simplificada el proceso de producción de etanol bajo el enfoque de los factores de riesgo de corrosión y facilita la comprensión de la necesidad de protección anticorrosiva. Está dirigido a introducir dentro de la industria la protección anticorrosiva sistemática de equipos y áreas de trabajo con los recubrimientos comerciales adecuados, reducir los costos de mantenimiento y contribuir con una PRODUCCION MAS LIMPIA y A LA CONSERVACION DEL MEDIO AMBIENTE.

Palabras clave: Producción de alcohol, corrosión, sistemas de protección anticorrosivos, mantenimiento.

Summary

The work describes in a simplified way the process of production of ethanol under the focus of the factors of risk of corrosion., then is easy to understand what importance has the anticorrosive protection in this production. The target is introducing inside the industry the systematic anticorrosive protection of equipments and floors with the appropriate anticorrosive system in order to reduce costs in maintenance, also to contribute with A MORE CLEAN PRODUCTION and TO THE CONSERVATION OF THE ENVIRONMENT.

Key words: Production of Ethanol, corrosion, anticorrosive systems, maintenance.

Introducción

La industria alcoholera, por ser un producto que entre sus usos esta el consumo humano, debe cumplir con los requerimientos exigidos para el recubrimiento y protección del equipamiento e instalaciones que establecen las disposiciones internacionales para estas industrias, es una práctica común la protección con recubrimientos de áreas y equipamiento industrial para preservar su integridad física y no sumar aspectos de corrosión a los propios de mantenimiento tecnológico del equipamiento que encarecerían el mismo. Por lo tanto es objetivo de este trabajo analizar las áreas, equipos, productos finales y residuales, desde el enfoque de los factores de riesgo de corrosión y ofrecer las soluciones de protección anticorrosiva con los criterios de frecuencia de reaplicación, a fin de que se pueda incluir en la planificación de mantenimiento. Para ello se tienen en cuenta las soluciones de protección desarrolladas y evaluadas nacionalmente por Gómez y colaboradores (1987, 1989, 1991, 1994, 1997, 1999, 2000, 2004), soluciones de resanado desarrolladas por Dopico (2000) y colaboradores, de otras experiencias de aplicación de polímeros en el mantenimiento industrial, Diez y colaboradores (2004) las gestiones que garantizan la calidad de todas estas soluciones, Dopico (2001), así como la información técnico comercial de las soluciones de protección que

internacionalmente se comercializan. Con la aplicación de estas protecciones se alarga la vida útil de áreas y equipos, se garantiza la calidad de los productos finales, se disminuyen los costos de mantenimiento, se contribuye al desarrollo de una producción más limpia y a la conservación del medio ambiente.

I.- PRINCIPALES CONDICIONES CORROSIVAS DE LAS FÁBRICAS DE ALCOHOL

MEDIO AMBIENTE
Datos tomados del Informe del Proyecto CITMA 108.0.6710, Nov. 2001

El medio ambiente en cada fábrica de alcohol tiene sus particularidades y cuando se pretende establecer un sistema de protección anticorrosivo eficiente es imprescindible tener en cuenta estas particularidades. El ambiente puede ser muy húmedo con régimen de precipitaciones frecuentes, o ser muy seco, o estar cerca de otras fábricas que emiten gases corrosivos. La propia emisión de gases por las calderas de generación de vapor de los Centrales Azucareros y plantas de Derivados.

El problema de la polución del aire en la industria azucarera esta relacionado íntimamente con las características del combustible (humedad, cenizas, etc.), con las características del horno y de la caldera, así como con la operación de estos equipos.

La Industria Azucarera Cubana se caracteriza por el empleo del bagazo de caña de azúcar en la generación de vapor, solo en ocasiones es empleado fussel oil como combustible, sin embargo, en la Industria de los Derivados es generalizado el empleo de fussel oil. Por una parte, es necesario el empleo de vapor durante tiempos de no zafra, pero a pesar de la cercanía de las plantas de derivados al central no se emplea vapor generado a partir de bagazo, en este aspecto la dirección del Ministerio del Azúcar se encuentra enfrascado en que en tiempo de zafra se cumpla esta iniciativa, entre otras ventajas se encuentran: empleo de vapor sobrante, disminución de los costos, empleo de energía renovable, los efectos sobre el medio ambiente es menor, etc.

En general la emisión de contaminantes en calderas para bagazo es comparable a la de otros equipos que emplean biomasa. Los resultados de la medición de la concentración de monóxido de carbono (CO) hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx) para un horno que quema virutas de madera con 60 - 70 % de humedad son:

CO: 2420 mg / Nm^3
HC: 98 mg / Nm^3.
NOx: 231 mg / Nm^3.

Factores de emisión para calderas que queman bagazo

Contaminante	g/kg de vapor	g/kg de bagazo
Material particulado		
- Sin control	3.9	7.8
- Controlado	0.4-2.1	0.8-4.2
CO_2		
- No controlado	390	780
NO_x		
- No controlado	0.3	0.6
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)		
- No controlado	$2.5\ 10^{-4}$	$5\ 10^{-4}$

Debido a la naturaleza del ambiente industrial que origina el central azucarero aledaño a estas fabricas de alcohol, las instalaciones civiles o edificaciones que conforman la fabrica de alcohol deben estar protegidas por pinturas adecuadas, del tipo vinílica para exteriores e interiores de paredes de mampostería y de esmalte sintético para madera y metal.

PRODUCCIÓN DE ALCOHOL

En forma general, por cada tonelada métrica de caña verde procesada se obtienen alrededor de 44 kg de melaza, de los cuales se pueden producir 11 Litros de alcohol. Esto significa entre 245 y 285 Litros de alcohol por tonelada de miel.
Para llevar a efecto este proceso, las mieles pueden ser tratadas con vistas a la eliminación de sustancias nocivas y sólidos en suspensión, que inciden, negativamente en el proceso de fermentación, sino, también, en la propia destilación, al aumentar las incrustaciones en la misma.

LA MATERIA PRIMA

Existen diferentes variantes de tratamiento, desde una simple sedimentación, hasta procesos de esterilización a altas temperaturas, con eliminación de sólidos.

Tabla 1 Composición de mieles finales de caña de los tributarios a la UBD del CAI A. Guiteras

Muestra	°Brix	Cenizas (%)	pH	SRL (%)	SRT (%)	SRInf (%)	Lodos (%v/v)	Colloides (%)
A. Guiteras	83.74	9.02	6.48	9.84	54.55	3.23	6.55	2.65
J. Mndez	87.55	8.95	5.82	14.49	52.21	5.05	7.21	3.62
Majibacoa	89.91	8.95	5.99	15.50	53.88	7.19	6.79	11.04

EMPLEO DE OTROS SUSTRATOS

Con el objetivo de garantizar un aumento en la calidad del azúcar y un incremento en la producción de alcohol y energía eléctrica, se plantea el uso de diferentes corrientes azucaradas del central (jugo de los filtros, jugo de caña energética, etc.) en la producción de alcohol. Teniendo en cuenta estos objetivos, deberán acondicionarse a corto plazo las destilerías seleccionadas, ello implica básicamente:

- Clarificación de jugo.
- Sistema de recepción y enfriamiento.
- Equipos de medición de jugo entrando a destilería y proceso.

Los depósitos de almacenamiento de estas materias primas deben estar protegidos contra la corrosión con recubrimientos resistentes a la acidez y abrasión en el interior, con recubrimiento resistente a la acidez en el exterior y en el área circundante en la que puede haber derrame o escurrimientos puede ser recubrimiento de tipo masilla o mortero anticorrosivo.

FERMENTACIÓN

La miel clarificada y enfriada se vuelve a diluir hasta la, concentración deseada, se ajustando el pH con ácido sulfúrico, adicionándosele las fuentes de fósforo y nitrógeno necesarias para la fermentación. El sustrato, una vez preparado, es enviado al cultivador donde se encuentra con un cultivo puro propagado en el laboratorio, suministrándose aire para facilitar la multiplicación del microorganismo. La levadura propagada pasa al prefermentador en una relación de inoculación 1:5 a 1:10, para aumentar la masa biológica total y garantizar un inóculo con buenas características en la etapa de fermentación.

El proceso de fermentación se realiza, en ausencia de oxígeno, para que se produzca la máxima cantidad de etanol posible y minimizar la formación de biomasa. En dependencia de la cepa de la levadura empleada, de los nutrientes presentes y de la temperatura de fermentación, la reacción transcurre en un tiempo entre 12 y 30 h. Durante el proceso de fermentación alcohólica en las destilerías se producen grandes cantidades de CO_2.

Si se considera la densidad del alcohol como 0.79 g/ml, entonces teóricamente en la producción de un hectolitro de alcohol se emite a la atmósfera 75.56 kg de CO_2, por lo que una destilería típica cubana de 600 hl/d libera 45 toneladas de CO_2 diariamente.

Por las características corrosivas de estos caldos (bajo pH y alta temperatura), de los gases y volátiles que se generan, se deben proteger los fermentadores con pintura anticorrosiva del tipo epoxídica, preferentemente resistente a la temperatura del proceso y con característica atoxica. Otra solución es la construcción de los fermentadores con acero inoxidable.

DESTILACIÓN

Los sistemas de destilación de alcohol utilizados son muy variados y pueden constar desde 2 columnas hasta 6 o más, en dependencia del grado de rectificación que se desee.

El esquema tecnológico de un sistema de 2 columnas (destiladora y rectificadora) se basa en la producción de flemas o alcohol de bajo grado y tiene:

Una columna destiladora a la cual llega el mosto (batición fermentada) a una concentración alcohólica de 8-12 % que es previamente calentado por intercambio regenerativo con los efluentes calientes que salen por el fondo de esa misma columna. El alcohol crudo, rico en impurezas, que se obtiene por el tope, es enviado al sistema de condensadores que posee la propia columna (1 condensador total y 2 parciales), parte de esos condensados son reflujados a la corriente de alimentación de la columna destiladora y el resto alimenta la segunda columna o columna rectificadora, en esta columna se eleva el grado alcohólico de la mezcla alcohol agua hasta valores del orden de los 80 a 85 ºGl , que es lo que internacionalmente se denominan flemas o alcohol de bajo grado.

Los residuales del proceso de producción de alcohol, a partir de mieles finales de caña presentan, por lo general, una DQ0 (demanda química de oxígeno), alta, pudiendo llegar (en dependencia del grado de recuperación) hasta 60 000 ppm, con un grado ºBrix entre 10 -12, con un contenido alrededor de 7 g/l de materia orgánica, estos efluentes son producido mayoritariamente por el fondo la columna destiladora. Es decir, una destilería que descargue

1000 m^3/d de líquidos residuales con un DB0 de 35 000 ppm, su contaminación es equivalente a los de una población de 625 000 habitantes. De ahí la importancia que reviste el tratamiento de estos líquidos residuales para su posterior disposición a los cursos receptores, por lo tanto deben ser protegidos con recubrimientos anticorrosivos resistentes a agentes oxidantes, los canales y receptores. Sin embargo, dado su alto contenido en materia orgánica se han propuesto diferentes usos para los mismos, entre los que se destacan: mejoramiento de suelos, producción de biogás y concentración para su uso como alimento animal o también como materia prima para la producción de proteína unicelular.

PRODUCTOS

La mayoría de nuestras destilerías no producen alcohol anhidro, por lo que el agua que lo acompaña promueve la corrosión en los depósitos. Este producto que a opinión de muchos es el menos agresivo desde el punto de vista corrosivo, provoca pequeños huecos, como hechos con agujas, pero que a partir de los

mismos y en presencia del agua, el oxigeno, la acidez, etc. despliega una corrosión progresiva que afecta al acero de los depósitos. Deben estar protegidos con recubrimientos anticorrosivos atóxicos.
El alcohol anhidro es menos corrosivo, su corrosión depende más de las impurezas que contenga, que de él mismo.

II.- PROPUESTA DE RECUBRIMIENTOS A EMPLEAR EN LOS EQUIPOS Y ÁREAS DE LA FÁBRICA DE ETANOL Y MANTENIMIENTO DE ESTOS SISTEMAS.

Las propuestas que se presentan se fundamentan en los resultados obtenidos de sistemas de protección desarrollados y aplicados por Gómez y colaboradores (de forma muy general y todas a partir del análisis de los diferentes pasos tecnológicos del proceso de producción de alcohol que constituyen factores de corrosión.

MEDIO AMBIENTE

Debido a la naturaleza del ambiente industrial que origina el central azucarero aledaño a estas fabricas de alcohol, las instalaciones civiles o edificaciones que conforman la fabrica de alcohol deben estar protegidas por pinturas adecuadas.

Para paredes de mampostería exterior e interior:
Pinturas del tipo vinílica, VITRAL, MINBAS, Cuba.
Las mismas pueden ser lavadas periódicamente cada 6 meses y eliminar el polvo y otros residuos industriales dispersos en el aire que se depositan y favorecen la erosión. Con este mantenimiento las pinturas alargan su vida útil y la protección de las paredes, esto unido a un plan de repintado cada dos a tres años de exteriores y de tres a cuatro en interiores reduce los costos de reparaciones de las instalaciones civiles de la fábrica de alcohol y de las aledañas a la misma.

Para madera y metal
- Una capa acondicionadora o Primario FURAL-Ri, ICIDCA, Cuba. o Primario anticorrosivo VITRAL, MINBAS, Cuba
- Una capa de esmalte sintético Vitral, Cuba.

Mantenimiento: Lavado de las superficie cada 6 meses, repintado de 3 a 4 años.

MATERIA PRIMA

Los depósitos de almacenamiento de estas materias primas deben estar protegidos contra la corrosión con recubrimientos resistentes a la acidez y abrasión en el interior, con recubrimiento resistente a la acidez en el exterior y en el área circundante en la que puede haber derrame o escurrimientos puede ser recubrimiento de tipo masilla o mortero anticorrosivo.

Depósitos de hormigón y metal para el almacenamiento de la materia prima (interior):

- Acondicionador impermeabilizante FURAL-RI 1001
- Composición polimérica resanadora de flexibilidad variable FURAL-Rr 1001
- Sellado
  - ♦ Rec. Impermeable simple Masilla FAM Modificada
  - ♦ Rec. Impermeable reforzado Masilla FAM Modificada
- Capa de acabado con FURAL-Rr, o con VITRAL de la Línea 501.

El mantenimiento es inspección cada 12 a 18 meses con resanado y pintado de cualquier avería. Limpieza y repintado general de la superficie cada 3 o 4 años.

Depósitos de hormigón y metal para el almacenamiento de la materia prima (exterior):

- Acondicionador impermeabilizante FURAL-RI 1001
- Composición polimérica resanadora de flexibilidad variable FURAL-Rr 1001
- Sellado
  - ♦ Rec. Impermeable simple Masilla FAM Modificada
  - ♦ Rec. Impermeable reforzado Masilla FAM Modificada
- Capa de acabado con VITRAL de la Línea Industrial de un solo componente.

El mantenimiento es inspección cada 12 a 18 meses con resanado y pintado de cualquier avería. Limpieza y repintado general de la superficie cada 3 o 4 años.

FERMENTACION

Por las características corrosivas de estos caldos, de los gases y volátiles que se generan, se deben proteger los fermentadores con pintura anticorrosiva del tipo epoxídica, preferentemente resistente a la temperatura del proceso y con característica atoxica. Otra solución es la construcción de los fermentadores con acero inoxidable.

Para los Fermentadores:

- Acondicionador impermeabilizante FURAL-RI 1001
- Composición polimérica resanadora de flexibilidad variable FURAL-Rr 1001
- Sellado
  - ♦ Rec. Impermeable simple Masilla FAM Modificada
  - ♦ Rec. Impermeable reforzado Masilla FAM Modificada
- Capa de acabado con pinturas epoxídicas atóxicas de importación (Hempel, GAIRESA, u otras).

El mantenimiento es inspección cada 12 a 18 meses con resanado y pintado de cualquier avería. Limpieza y repintado general de la superficie cada 3 o 4 años.

DESTILACION

Los residuales del proceso de producción de alcohol con un DB0 de 35 000 ppm, son corrosivos. De ahí la importancia que reviste el tratamiento de estos líquidos residuales para su posterior disposición a los cursos receptores, por lo tanto deben ser protegidos con recubrimientos anticorrosivos resistentes a agentes oxidantes, los canales y receptores

Canales y receptores:

- Acondicionador impermeabilizante FURAL-RI 1001
- Composición polimérica resanadora de flexibilidad variable FURAL-Rr 1001
- Sellado
  - ♦ Rec. Impermeable simple Masilla FAM Modificada
  - ♦ Rec. Impermeable reforzado Masilla FAM Modificada
- Capa de acabado con FURAL-Rr, o con VITRAL de la Línea 501.

El mantenimiento es inspección cada 12 a 18 meses con resanado y pintado de cualquier avería. Limpieza y repintado general de la superficie cada 3 o 4 años.

PRODUCTOS

El etanol, que a opinión de muchos es el menos agresivo desde el punto de vista corrosivo, provoca pequeños huecos, como hechos con agujas, pero que a partir de los mismos y en presencia del agua, el oxigeno, la acidez, etc. despliega una corrosión progresiva que afecta al acero de los depósitos.

Depósitos:

- Acondicionador impermeabilizante FURAL-RI 1001
- Composición polimérica resanadora de flexibilidad variable FURAL-Rr 1001
- Sellado
  - ♦ Rec. Impermeable simple Masilla FAM Modificada
  - ♦ Rec. Impermeable reforzado Masilla FAM Modificada
- Capa de acabado con pinturas epoxídicas atóxicas de importación (Hempel, GAIRESA, u otras).

El mantenimiento es inspección cada 12 a 18 meses con resanado y pintado de cualquier avería. Limpieza y repintado general de la superficie cada 3 o 4 años.

III.- APLICACIÓN E INSPECCIÓN DE RECUBRIMIENTOS PARA LA PROTECCIÓN ANTICORROSIVA

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE.

Para el buen comportamiento de un recubrimiento es indispensable la correcta preparación de la superficie por cubrir. los métodos que se emplearan son los siguientes:

1. Limpieza manual y química.

Para los casos de preparación de superficies con los métodos manual y químico, la inspección es visual y por comparación con el aspecto de los patrones de referencia, se aprobara o rechazara la superficie.

2. Limpieza con abrasivos.

ESTADO ORIGINAL

LIMPIEZA MANUAL

CHORRO ABRASIVO COMERCIAL

CHORRO ABRASIVO METAL BLANCO

a) Para el caso de limpieza con abrasivos se usara la lámpara comparadora de anclaje o el medidor de perfil de anclaje, que por comparación óptica con la superficie que se limpio o por medición directa, determinan la profundidad que ha dejado el abrasivo en el metal y se emplean para establecer los patrones.
La rugosidad o máxima profundidad del perfil que se obtenga en la superficie limpia y que servir como anclaje para el recubrimiento, estará comprendida entre 1 y 2.5 milésimas de pulgada, de acuerdo con el espesor de película del primario, el cual deberá ser mayor que la profundidad del perfil o anclaje.

b) Además, las superficies deberán tener un aspecto final como el que se muestra en los patrones de referencia de acuerdo al estado inicial de la superficie, la cual fue aprobada como representativa para la aceptación de la misma. La preparación de la superficie se ilustra con los patrones fotográficos que se indican en cada caso.

APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO

Una vez cumplidos los requisitos de preparación de la superficie, la aplicación de los recubrimientos se efectúa por aspersión, brocha o rodillo. En algunos casos, se emplean los procedimientos de inmersión o manual.

Nunca deben recubrirse superficies mojadas o húmedas. El límite de humedad relativa arriba del cual las operaciones de recubrimiento deben suspenderse es de 90%. No se deberá aplicar ningún recubrimiento cuando la temperatura ambiente sea menor de 10 °C.

Aplicación con brocha de pelo y rodillo.

Este método se empleara cuando se requiera una gran humectación de la superficie o cuando las condiciones de trabajo así lo requieran.

Aplicación por aspersión.

Este método de aplicación es el más rápido y las películas resultantes son mas uniformes en espesor. Deben seguirse las recomendaciones de los fabricantes de los equipos empleados.

INSPECCIÓN DE RECUBRIMIENTOS. FALLAS DE RECUBRIMIENTOS

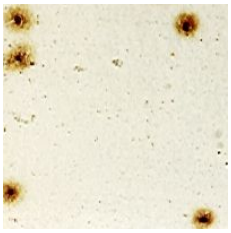
La inspección que deben efectuarse en todos los trabajos de aplicación de recubrimientos, una vez aprobados estos en cuanto a su calidad, comprende lo siguiente:

- ☑ Preparación de la superficie
- ☑ Revisión del equipo de preparación de superficie, del de aplicación y condiciones de operación de los mismos.
- ☑ Viscosidad del recubrimiento para su aplicación.
- ☑ Espesor de película.
- ☑ Tiempo de secado.
- ☑ Continuidad de película.
- ☑ Adherencia

Cuando la protección no ha sido efectiva durante el plazo esperado, puede atribuirse a fallas originadas por mala preparación de la superficie, selección inadecuada del material, deficiente calidad del mismo, incorrecta aplicación del recubrimiento, condiciones atmosféricas inapropiadas durante la aplicación, inspección deficiente, o por la combinación de algunas de estas causas.

Las características mas comunes de las fallas que se presentan en los recubrimientos, así como la manera de evitarlas, son las que se describen a continuación.

A).- DISCONTINUIDADES DE LA PELÍCULA.



Si la corrosión se presenta en forma de puntos de oxidación, se debe a discontinuidades de la capa del recubrimiento (poros) motivadas por mala calidad del material, mala aplicación con pistola de aire, uso de solventes inadecuados y falta de fluidez del material.

B).- FALTA DE ADHESIÓN.

La película del recubrimiento queda adherida a la superficie metálica por atracción molecular o por la unión mecánica entre ambas. Al no ocurrir lo anterior, la película se desprende fácilmente.

Para evitar esta falla, es necesario emplear recubrimientos primarios a base de materiales que tengan una buena adherencia sobre la superficie metálica y que esta se prepare convenientemente, para eliminar cualquier material extraño que impida el contacto intimo entre ambos. La falta de adhesión entre las diferentes capas del recubrimiento se presenta cuando:

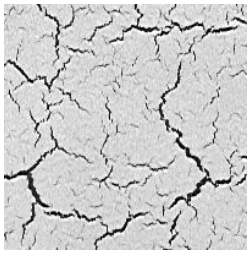
- El tiempo de secado duro exceda al especificado para cada material.
- Hay incompatibilidad de recubrimientos y solventes.
- Hay humedad o contaminación entre capas.

Para el caso de repintado, se recomienda que el recubrimiento nuevo se aplique después de que el recubrimiento viejo haya sido "revivido" con el solvente especificado, o en casos particulares, lijando con el fin de aumentar su rugosidad.

C).- AMPOLLAMIENTO.

El ampollamiento es causado por entrampamiento de solventes, gases o líquidos en la película o bajo la misma, y que ejercen una presión mayor que la adhesión de la película en el área bajo esfuerzo.
El ampollamiento se presenta principalmente en los recubrimientos, cuando estos se encuentran expuestos a ambientes húmedos y a contaminación entre capas, o cuando el recubrimiento seca superficialmente con mayor rapidez a la especificada para cada tipo de material.

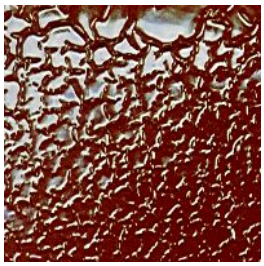
D).- AGRIETAMIENTO



El agrietamiento es el resultado de esfuerzos mecánicos que actúan sobre la película y su magnitud depende de la flexibilidad y adhesión de los recubrimientos.

El agrietamiento se evita únicamente por la formulación de los recubrimientos.

E).- CORRUGADO.



Se presenta en recubrimientos que han sido aplicados en capas gruesas que secan rápidamente por efecto de la temperatura o por un exceso de agentes secantes en la superficie.

Para evitar este efecto, los recubrimientos se deben aplicar bajo las condiciones de secado para los cuales fueron formulados, y en capas del espesor indicado.

F).- CALÉO.

Consiste en la flotación de polvo sobre la superficie del recubrimiento, ocasionado por la degradación de la resina a consecuencia de la acción combinada de los rayos solares y del oxigeno.
El caléo excesivo solo se evita con la formulación de los recubrimientos, para lo cual se debe tener en cuenta la naturaleza química del vehículo y su resistencia a la intemperie, así como la relación de vehículo a pigmento. Los recubrimientos con un bajo contenido de vehículo se caléan rápidamente.

G).- CORROSIÓN BAJO PELÍCULA

Ataca al metal debajo de la película y se presenta en dos formas: granular y filiforme. La primera se caracteriza por la presencia de áreas granulosas e irregulares; la segunda tiene aspectos de filamentos.

Se debe a defectos en la preparación de la superficie, porosidad, permeabilidad del recubrimiento o falta de adherencia del mismo.

CONCLUSIONES

- Se analizó el esquema de producción de alcohol desde el punto de vista de la corrosión y se identificaron los factores de riesgo.
- Se realiza la propuesta de protección anticorrosiva para los equipos y áreas sometidas al riesgo de corrosión, así como su mantenimiento.
- Se complementa el trabajo con aspectos generales de utilidad para la aplicación de los recubrimientos anticorrosivos y para la inspección de la protección.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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 SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE POLIMEROS (SLAP) 2000, 10-C18, PÁG. 364.
- Gómez y colab., (2004), GENERALIZACIÓN DE RECUBRIMIENTOS ESPECIALES FURANO – EPOXÍDICOS EN LA PROTECCIÓN DE PISOS, TERRAZAS, CUBIERTAS TRANSITABLES Y DEPÓSITOS DE HORMIGÓN EN GENERAL, REVISTA ATAC NO.1, VOL 65.
- Dopico, M., Gómez, A. y colab.,(2000), APLICACIONES DE UNA NUEVA MASILLA EN LA RECUPERACIÓN DE PARTES Y PIEZAS DE METAL, MADERA Y HORMIGÓN, PLÁSTICOS MODERNOS, VOL. 80, NO. 529.
- Diez, F, Gómez, A.,(2004), EL USO DE LOS POLÍMEROS EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL; REVISTA INGENIERIA Y GESTION DE MANTENIMIENTO NO.34, AÑO VII, EDITORIAL "ALCION", ESPAÑA.
- 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.

EN EL CAMINO HACIA EL ETANOL CELULÓSICO.

Georgina Michelena*, Gloria Bueno*, Felipe Eng*, Mabel Viñals*, Amaury Álvarez*, Emilia Carrera*, Edilberto Manganelly*.

*ICIDCA, Vía Blanca 807 esq. a Carretera Central, P.O. Box 4026, C. Habana, Cuba; georgina.michelena@icidca.edu.cu

RESUMEN

Este trabajo muestra los avances obtenidos para la obtención de glucosa y xilosa como sustrato para la producción de etanol a partir de bagazo de caña. En la etapa de pretratamiento del bagazo de cañase obtuvo por hidrólisis alcalina a partir de NaOH al 3 %, en 3 ciclos remoción de más del 80 % de la celulosa. Se determinó que el bagazo podía ser pre-tratado en forma molida o integral sin diferencias significativas en la remoción. El tamaño del hidromódulo se consideró factible en 1:10 (peso de bagazo: peso de la NaOH 3%). El bagazo pretratado fue caracterizado en cuanto a contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina. Se determinó las características cinéticas de la hidrólisis enzimática, definiéndose concentración de enzima y temperatura del proceso en la cinética enzimática. Se definió dosis de 1/90 concentración de enzima y temperatura de 30 ^{o}C para un proceso de 16 horas. Se trabajó en dos ciclos de reuso de la enzima y se obtuvo un rendimiento de 0.83 l de enzima/kg de bagazo.En la purificación de licores de hidrolizados de bagazo dieron los mejores resultados en la remoción de impurezas el tratamiento con carbón activado y con resinas de intercambio iónico. El carbón activado redujo en gran medida los componentes que pueden inhibir la etapa fermentativa posterior y clarifica el hidrolizado. El proceso de tratamiento del hidrolizado con resinas de intercambio iónico elimina eficientemente los compuestos inhibidores del metabolismo microbiano ácido acético, HMF y Furfural y minimiza la concentración de compuestos fenólicos.

Palabras clave: Etanol celulósico, pretratamiento, bagazo de caña, hidrólisis enzimática.

ABSTRACT

Present work assesses a process for the obtainment of glucose and xylose as substrates for ethanol production from sugarcane bagasse. The main results were:
Sugarcane bagasse pre-treatment: it was carried out by alkaline hydrolysis in cycles with NaOH, were more than 80% cellulose removal was obtained. It was demonstrated that bagasse could be pre-treated both in milled or native status, without significant differences in cellulose removal. Hydro-module was possible in a ratio of 1:10 (bagasse: NaOH weights). Pre-treated bagasse was analyzed in cellulose, hemicellulose and lignin content.
Enzymatic hydrolysis kinetics: enzyme concentration and reaction temperature were studied. It was defined an enzyme doses of 1/90 and 30ºC of enzyme for 16 hours as the best alternative. Cycles for enzyme re-utilization were tested achieving an overall yield of 0.83 L of enzyme per kg of bagasse.
Purification of hydrolyzed bagasse liquor: among all methods studied those that applied activated carbon and ion exchange resins showed the best results in impurities removal. Activated carbon reduced in a significant

extent several components that can inhibit further fermentation processes of xylitol or ethanol and, at the same time, prompts hydrolyzate clarification.
On the other hand, ion exchange resins, also eliminate some metabolic inhibitors as acetic acid, hydroxy-methyl furfuraldehyde and minimizes fenolic compound concentration.

Key words*: Cellulosic ethanol, pre-treatment, sugarcane bagasse, enzymatic hydrolysis.*

INTRODUCCION

La diversificación sobre la base de mieles de caña y jugos de los filtros ha mostrado disponibilidad limitada de estos sustratos para responder a la demanda de etanol, principalmente para su uso como combustible. Por otra parte, el bagazo de caña como material lignocelulósico presenta un alto contenido de carbohidratos, además de ser una fuente renovable, disponible y barata. Por este hecho, durante los últimos años, se ha enfatizado en la importancia que representan los residuos lignocelulósicos como la vía más promisoria para impulsar el desarrollo del programa de etanol combustible y potenciar la alcoquímica, la industria farmacéutica y de perfumería.
Los esfuerzos desarrollados para producir un pretratamiento del bagazo que viabilice la hidrólisis enzimática todavía no han sido capaces de generar un pretratamiento que permita producir glucosa a un costo lo suficientemente bajo para ser usado en procesos industriales. Aún con los procesos de pretratamientos más eficientes, la cantidad de enzimas requeridas en la hidrólisis para convertir celulosa a glucosa es tan alta que hace prohibitivo su uso y las alternativas planteadas, incluidas las de hidrólisis y producción de alcohol simultáneamente no han solucionado el problema por la diferencia existente entre las temperaturas óptimas de trabajo de enzimas y levaduras.
El bagazo de caña de azúcar es un residuo lignocelulósico de la industria azucarera con alto contenido de xilana y otras hemicelulosas que pueden ser convertidos en azúcares simples, principalmente xilosa, y para obtener compuestos como el etanol y el xilitol (Ylikari, 1979; Van Zyl y otros, 1988).
El bagazo de caña de azúcar está compuesto, aproximadamente de 41-44% de celulosa, 25-27% de hemicelulosas, 20-22% de lignina y 8-10% de otros componentes, entre estos las cenizas (ICIDCA, 2000).
El objetivo del presente trabajo es el estudio de las etapas de obtención de glucosa y xilosa a partir de licores de bagazo de caña de azúcar como sustrato para la producción de etanol.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Pretratamiento del bagazo caracterizado.
El bagazo procedente del CAI Héctor Molina de enero del 2004, cuidadosamente seleccionado se procedió a la reducción del tamaño de partícula por molinado. El material se envasó en frascos herméticos hasta el momento de ser usado.
El pretratamiento se realizó partiendo 25 g de material seco a 110 ^{o}C por 3 horas en 500 ml de NaOH al 3%, esterilizando en autoclave a 121 oC y 14 psi por 30 minutos. Luego se procedió a la separación por filtración. El sólido se lavó con agua a 80 oC, se neutralizó y se secó en estufa a 110 oC por 3 horas. El filtrado se evaluó en posteriores ciclos de pretratamiento.

i. Estudio del efecto del hidromódulo en la hidrólisis alcalina
Con vistas a optimizar el hidromódulo a utilizar en la hidrólisis alcalina del bagazo se realizó un estudio de diferentes tratamientos con vistas a disminuir el tamaño del tanque a utilizar en la hidrólisis alcalina. Se montaron cuatro tratamientos con hidromódulos de 1:5 y 3% de NaOH, 1:10 y 3 % de NaOH, 1:10 y 6 % de NaOH y un tratamiento control de hidromódulo 1:20 y NaOH 3 %.

ii. Efecto de escalado de la hidrólisis alcalina del bagazo
El escalado de la hidrólisis alcalina del bagazo se realizó en un reactor de 15 L (hidromódulo de 1:20, 3 % de hidróxido de sodio y 500 g de bagazo integral) vs un tratamiento control el cual fue realizado en condiciones del laboratorio (hidromodulo: 1:20, 3 % de NaOH y 25 g de bagazo).

2. Hidrólisis enzimática del bagazo.
Se realizó la caracterización del complejo enzimático celulolítico Econasa-CE en cuanto a la liberación de los azúcares reductores. Se procedió al estudio de la reacción de hidrólisis del complejo celulolítico con el material tratado. Se determinó la velocidad de hidrólisis variando cantidad de enzima a diluciones entre 90 y 1000, temperatura a 30 y 50 oC, el tiempo de reacción hasta 160 h y el efecto del reuso de la enzima.

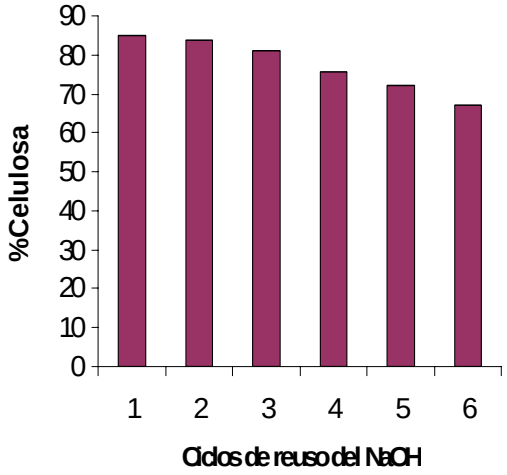
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra la caracterización del bagazo de caña que sirvió de partida para el estudio. Puede observarse que el contenido de lignina, cenizas y densidad de bulto del bagazo en estudio corresponde a las reportadas en la literatura. En cuanto a los % de celulosa y pentosanos se observa que son ligeramente superiores en el bagazo en estudio a los reportados en la literatura debido posiblemente a un menor % de humedad de este bagazo.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de bagazo procedente del CAI Héctor Molina comparadas con promedios históricos.

Propiedades física-químicas	Promedios históricos	Bagazo de caña del CAI Héctor Molina (enero 2004)
Celulosa (%)	46-47	52
Lignina (%)	20-22	20.1
Pentosanos (%)	25-27	28
Humedad (%)	50	43
Cenizas (%)	2-3	2.87
Densidad bulto (Kg/cm^3)	70	71

i. Pretratamiento alcalino, medición de los % de celulosa y lignina
En la figura 1 puede apreciarse los % de celulosa en el material tratado y el % lignina extraída en los seis ciclos de reuso del hidróxido de sodio (3%). Es de notar que fue posible incrementar el contenido de celulosa en el material tratado en el primer ciclo hasta un 85 % y que se extrajo hasta el 95 % de lignina en el material tratado, pero a medida que se realizaron los demás tratamientos empleando el reuso del hidróxido de sodio disminuyó la eficiencia de la hidrólisis alcalina hasta un 70 % de celulosa en el material tratado en sexto ciclo y hasta un 80 % de lignina extraída, debido posiblemente por el agotamiento del poder extractivo del hidróxido de sodio de la lignina.



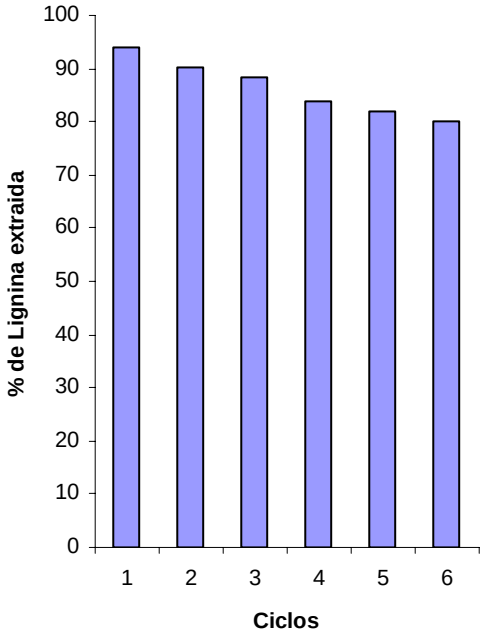


Fig.1 Efecto de los ciclos de reuso del hidróxido de sodio (3%) en el porciento de celulosa del material tratado (a) y porciento de lignina extraída del material tratado.

ii. Estudio del efecto del hidromódulo en la hidrólisis alcalina

Se pudo apreciar en la figura 2 que para el tratamiento de hidromodulo 1:5 no hubo condiciones de mojado en el material a tratar, por lo que fue eliminado del bloque experimentar. Para el tratamiento con hidromódulo 1:10 y 3 % de NaOH se pudo apreciar que el % de celulosa no difiere significativamente del obtenido para el control de 1:20 y NaOH, por lo cual sería conveniente su utilización con vistas a reducir el tamaño del tanque y los volúmenes a emplear en el tratamiento del bagazo. Sin embargo, el empleo del hidromódulo de 1:10 y 6 % de NaOH no permitió un incremento apreciable en el contenido de celulosa en el material tratado, muy posiblemente en este caso sería más importante estudiar el número de ciclos de reuso que se podría utilizar hasta el agotamiento del hidróxido de sodio que de seguro se incrementaría a más de 6 ciclos.

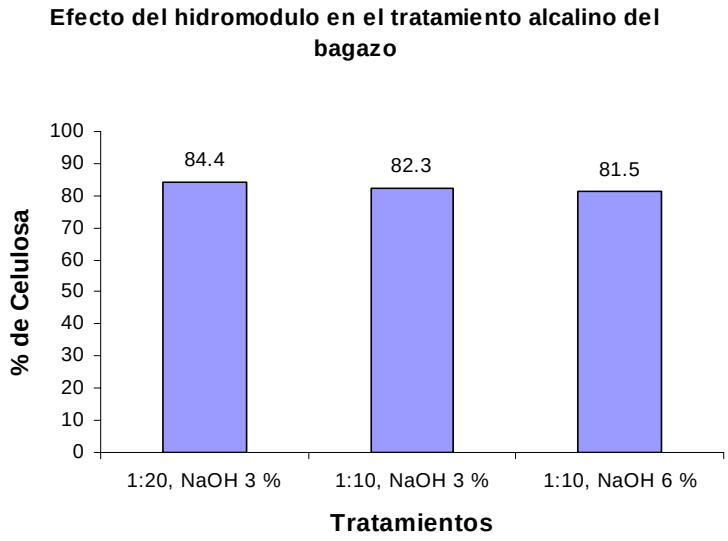


Fig.2. Estudio del efecto del hidromódulo en el tratamiento alcalino del bagazo

iii. Estudio del efecto de partícula en la hidrólisis alcalina del bagazo

Se realizó un estudio del efecto del tamaño de partícula en la hidrólisis alcalina del bagazo empleando para ello un tratamiento con bagazo molido y otro con bagazo integral el cual se muestra en la figura 3. Se pudo observar que el tratamiento con bagazo integral el % de celulosa que se obtiene en el material tratado disminuye ligeramente comparado con el control en el cual se utilizó bagazo molido de un 84 a 81 % de celulosa, o sea esto nos indica que en las condiciones que se realizó el experimento aún es posible la extracción de la lignina acompañante hasta niveles cercanos a los que se obtienen cuando se utiliza el bagazo molido y que esta variable no influye apreciablemente en la hidrólisis alcalina del bagazo a tratar.

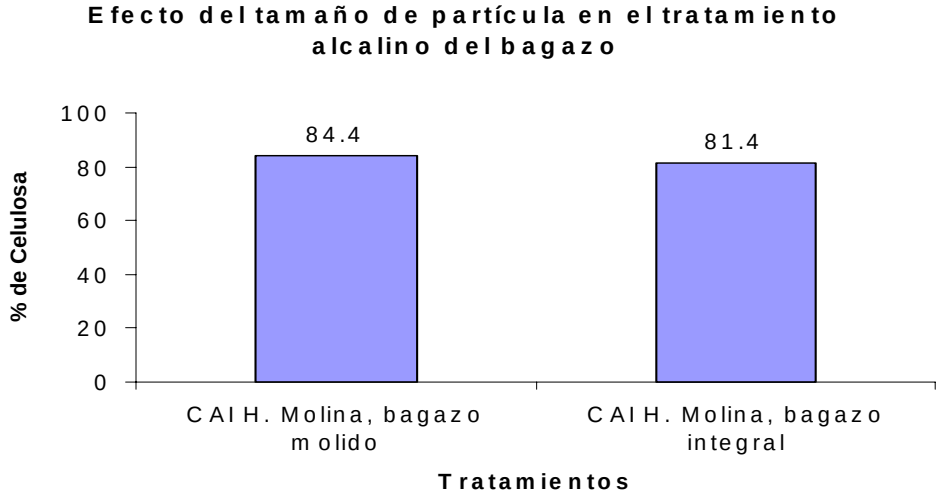


Fig.3. Estudio del efecto del tamaño de partícula en el tratamiento alcalino del bagazo

iv. Efecto de escalado de la hidrólisis alcalina del bagazo

Durante el escalado mostrado en la figura 4 el porciento de celulosa del material tratado en los diferentes ciclos disminuyó con respecto al tratamiento control y por debajo del 80 %, excepto en el ciclo 5, en el cual se alcanzó este valor. Esta diferencia de comportamiento posiblemente se puede deber a que no se alcanzaron los mismos niveles de temperatura y presión en el reactor utilizado necesarias para una efectiva hidrólisis del material y disolución de la lignina con el hidróxido de sodio.

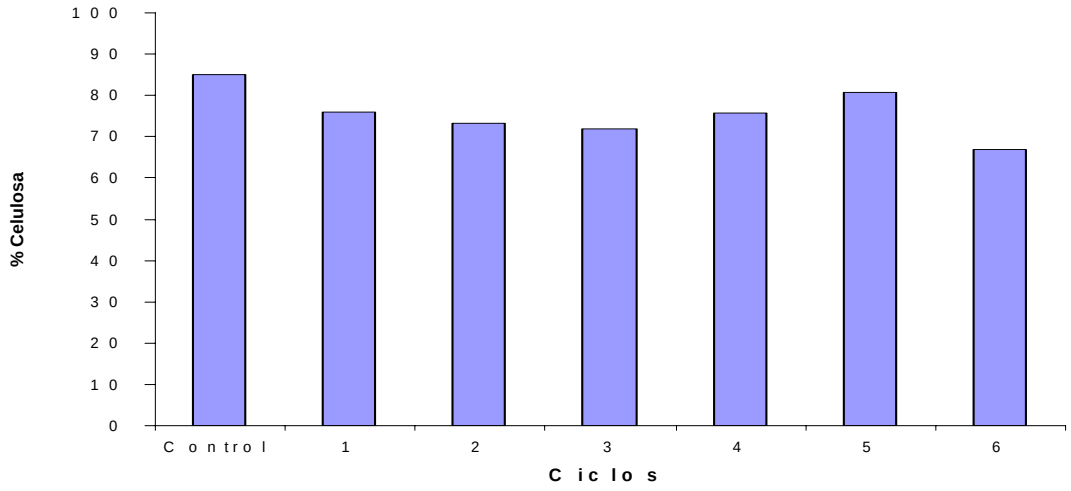


Fig.4. Efecto del escalado de la hidrólisis alcalina en un reactor de 15 L vs un control en condiciones de laboratorio

v. Determinación de la concentración y ciclos de reuso de la enzima.

Se evaluó el efecto de la concentración de enzima entre 90 y 1000 de dilución, ensayando además el efecto de la temperatura a 30 y 50 ^{o}C. Los resultados se muestran en la figura 5. Se observó que a diluciones entre 200 y 1000 trabajando con el complejo celulolítico Econasa, los azúcares reductores obtenidos son inferiores a 10 g/L a 30 ^{o}C. Las mejores condiciones de las estudiadas se encontraron para diluciones de 1:90 trabajando a 50 ^{o}C, aunque a 30 los resultados no difieren en más de un 10% a las 50 h de proceso.

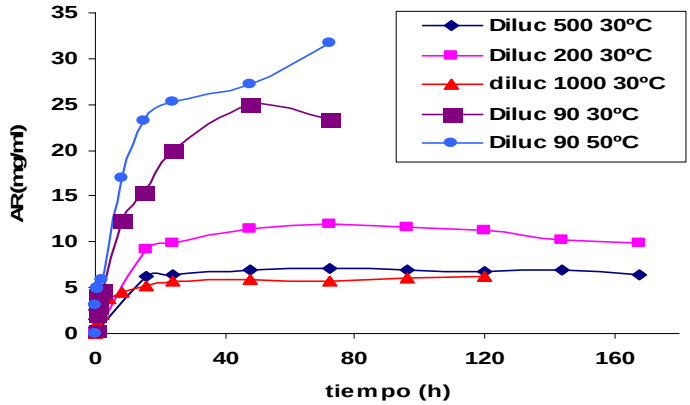


Fig. 5 Efecto de la concentración de enzima a 30 y 50 ^{o}C en la hidrólisis.

La tabla 2 muestra el resultado de las variantes estudiadas, indicando las mejores productividades y % de hidrolizados en la variante de 50 ^{o}C y 48 horas de proceso para la producción de 1,33 g de azúcares reductores/g de bagazo seco/h.

Tabla 2. Resultado de las variantes de hidrólisis enzimática estudiadas variando temperatura y tiempo de hidrólisis.

Hidrólisis enzimática 1			
Actividad total	340,1	340,1	340,1
Materia seca	1,0	1,0	0,9
Peso seco	47,6	47,6	50,3
Volumen Solucion enzima	1000	1000	1000
Peso húmedo	117,3	94,0	106,4
Peso base seca	33,67	41,98	31,02
Peso seco	19,6	15,7	17,7
% pérdida de peso	58,9	67,1	64,7
Azúcar reductor (mg/ml)	25,26	31,90	23,27
Volumen hidrolizado	930,3	953,6	924,6
Azúcares totales (g)	23,5	30,4	21,5
Desorción térmica			
Peso bagazo base	33,67	41,98	31,02
Vol agua de lavado	1000	1000	1000
Peso bagazo húmedo	96,00	90,67	106,40
Peso bagazo base seca	27,0	30,7	31,0
Peso seco	16,0	15,1	17,7
Vol de lavado	937,7	951,3	924,6
Azúcar reductor (mg/ml)	1,4	1,9	1,7
Azúcares totales (g)	1,3	1,8	1,5
Azúcar total del sistema	25,26	31,90	23,27
% Azúcar en el hidrolizado	93	95	92
% Azúcar en el lavado	5,27	5,52	6,64
Rendimiento g azúcar / g bagazo (bs)	49	64	43
Productividad g azúcar / g bagazo / h	1,03	1,33	2,67
% hidrolizado g azúcar / g celulosa	102	129	89

La comparación del efecto del uso de los reciclos de la enzima mostrado en la tabla 3 indicó los mejores resultados trabajando en dos ciclos donde el rendimiento fue de 9 mL (0,83 L/kg a dilución 1:90) de enzima/kg de bagazo.

Tabla 3. Efecto del reuso de la enzima en ciclos de trabajo.

Un ciclo	Variante 2
Azucares totales (g)	21,24
Volumen total (ml)	947
Azucares reductores (g/l)	22,42
% Perdida de peso Total en base a peso	17,08
% Perdida de peso Total suma de etapas	65,61
Rendimiento (g azúcar / g bagazo	42,75
Productividad (g azúcar / g bagazo/h)	2,67
% hidrolizado (g azúcar / g celulosa)	82
Vol total de Enzima(1:90) (ml)	11

Dos ciclos	Variante 2
Azucares totales (g)	23,83
Volumen total (ml)	899,59
Azucares reductores (g/l)	26,49
% Perdida de peso Total en base a peso	73
% Perdida de peso Total suma de etapas	87,56
Rendimiento (g azúcar / g bagazo	48
Productividad (g azúcar / g bagazo/h)	1,5
% hidrolizado (g azúcar / g celulosa)	92,3
Vol total de Enzima (1:90) (ml)	22
Rendimiento Litro Enz (1:90) / kg azucar	0,83

vi. Purificación de licores hidrolíticos de bagazo de caña.

En estudios realizados por Nápoles y otros (1998) utilizando carbón activado y una serie de resinas de intercambio aniónicas y catiónicas para el tratamiento de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar concentrado por factor 3 y neutralizado con óxido de calcio se obtuvo una reducción de los inhibidores ácido acético y fenoles de 15,2% y 54,7% usando carbón activado y de 92,5% y 98,9% usando resinas de intercambio iónico, respectivamente. Con resinas se observó también aumentos de 36,5% en la conversión de xilosa a xilitol y de 85,6% en la productividad en relación al tratamiento usando carbón activado. Viñals (2001) al comparar dos tratamientos del hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar: 1) ajuste del pH a 5,50 con resinas de intercambio iónica, concentración, y purificación con resinas de intercambio iónico y 2) Concentración, ajuste del pH a 5,50 con CaO y H_3PO_4 y purificación con carbón activado obtuvo como resultado que la remoción de Furfural e HMF fue similar, aproximadamente 100%. El tratamiento que usó resinas de intercambio removió más eficientemente el ácido acético 100%, sin embargo, el tratamiento que usa carbón activado solo removió el 58,4%. El mismo comportamiento fue observado en la remoción de compuestos fenólicos con remociones de 98,19% y 79,3%, y reducción del color del hidrolizado (99,08% y 73,09%), respectivamente. Cuando el hidrolizado se fermentó, el rendimiento y la productividad del hidrolizado tratado con resinas de intercambio iónico (0,75 g/g, 0,68 g/L.h) fueron mayores que el tratado con carbón activado (0,59 g/g, 0,48 g/L.h).
Los resultados demostraron que el tratamiento del hidrolizado con resinas de intercambio iónico, teniendo como principal ventaja la principal de compuestos tóxicos al microorganismo, principalmente el ácido acético y compuestos fenólicos, promovió el aumento de la productividad de proceso fermentativo para la obtención de xilitol. Además de esto proporcionó mayor remoción del color del hidrolizado lo que es interesante para su posterior recuperación de xilitol del medio fermentado. Otra ventaja importante es el tiempo prolongado de vida útil de las resinas de intercambio iónico, siendo aproximadamente de cinco años, y de regeneración simple (Deler y otros, 2001, Mabel, 2001)

CONCLUSIONES

Los mejores resultados en el pretratamiento del bagazo por hidrólisis alcalina a partir de NaOH al 3 % se obtuvieron con el uso de 3 ciclos donde se obtiene la remoción de más del 80 % de la celulosa. Ciclos posteriores disminuyen esta remoción hasta el 70 %. El número de ciclos máximos de reuso de la

solución alcalina es 6. El tamaño del hidromódulo se consideró factible en 1:10 (peso de bagazo: peso de la NaOH 3%). Se determinó que el bagazo podía ser pre-tratado en forma molida o integral sin diferencias significativas en la remoción. El bagazo pretratado fue caracterizado en cuanto a contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina. Se comprobó que el proceso estudiado resultaba leve para la disolución de las hemicelulosas.

El proceso de hidrólisis enzimática mostró resultados aceptables a dosis de 1/90 concentración de enzima y temperatura de 30 ^{o}C para un proceso de 16 horas. Se trabajó en dos ciclos de reuso de la enzima y se obtuvo un rendimiento de 9 mL de enzima/kg de bagazo.

BIBLIOGRAFÍA

Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar, Tercera Edición, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Imprenta MINAZ, 2000, Ciudad de la Habana, Cuba, p 31-36.

Azhar, A.F., Bery, M.K., Colcord, A.R. (1981) *Biotechnology and Bioengineering*, 11, 293-300.

Canilha, L., Almeida Silva, J.B. Evaluation of the Influence of Eucalyptus Hydrolysate treatment with Activated Charcoal and Íon Exchange Resins on the Bioconversion of Xylose into Xylitol. In: BRASILIAN MEETING ON CHEMISTRY OF FOOD AND BEVERAGES, Instituto de Química de São Paulo (USP), São Carlos, SP, Dez., 2000.

Deler, R.M.L., Nápoles, S.A.I., Villareal, Acosta M.E., Manganelly , S.E. (2000), *CubaAzúcar* 39, 21-26.

van Zyl, C., Prior, B.A., du Preez, J.C. (1988) *Applied Biochemestry and Biotechnology* 17, 357-369.

Viñals M.V. Aplicaçao de resinas de troca iónica no tratamento de hidrolizado hemicelulósico para processos fermentativos. Tesis de Mestrado, FAENQUIL, Lorena – SP, Brasil, 2001, 81 p.

Viñals M.V., Mancilha, I.M., Almeida e Silva J.B., Nápoles, I.S. (2002) *Rev. ICIDCA. Sobre los Deriv. Caña Azúcar* 36, 24-27.

Ylikari, R. (1979) *Advances in Food Research.*25, 159-180.

PURIFICACION DE AGUARDIENTE EMPLEANDO LA SEPARACION CON MEMBRANAS

Dr. Ing. Alexis Zamora Báez.

Departamento de Ingeniería Química
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
Santa Clara, Villa Clara
azamora@.uclv.edu.cu

Dr. Ing. Jesús Castellanos Estupiñán.

Departamento de Ingeniería Química
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
Santa Clara, Villa Clara
jece@uclv.edu.cu

Dr. Lic. Raúl Fajardo García

Departamento de Ingeniería Química
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
Santa Clara, Villa Clara
rfg@uclv.edu.cu

Cesar Martí García

Ronera Central, Villa Clara
operaciones@vc.cu

Resumen

En el presente trabajo se evalúa la posibilidad de la utilización de la tecnología de separación con membranas en la purificación de aguardientes de caña. Realizándose un análisis sobre las particularidades del proceso, así como la elección e influencia de las principales variables de operación. Se emplean membranas con umbral de corte de micro y ultrafiltración. Una vez realizados los experimentos, se concluye que de acuerdo al tamaño de poro, las membranas son capaces de separar de forma selectiva determinadas partículas y compuestos presentes en los aguardientes, las cuales afectan sus propiedades organolépticas Queris (1998). Estos resultados se encuentran avalados por análisis cuantitativos y cualitativos realizados al efecto. Finalmente se demuestra que las membranas de 50 000 Da son las más apropiadas para el destufado del aguardiente analizado a partir del criterio emitido de un panel de catadores especializados. La novedad de trabajo radica en que es la primera vez que se reporta la aplicación de la tecnología de membranas con el propósito de destufar aguardientes para la producción de rones de calidad realizando un análisis comparativo de la factibilidad económica y medio ambiental de aplicación entre el proceso propuesto y el empleado tradicionalmente con carbón activado.

Palabras clave: membrana, purificación, destufado, aguardientes.

Summary

In the present work the possibility of the use of technology of separation with membranes for the purification of sugar cane spirit is evaluated. An analysis about the particularities of the process, as well as the selection and influences of the main variables of operation was brought about. Membranes with cutting threshold of micro and ultrafiltration are used. Once the experiments were done, it was concluded that according to the size of the pore, the membranes are able to separate with a selective manner certain particles and compounds present in sugar cane spirits, which affect their sensorial properties Queris (1998). These results are supported by quantitative and qualitative analysis that was made for that objective. Finally, it is demonstrated that the membranes of 50 000 Da are more appropriate for eliminating the bad smell from the sugar cane spirit, which was analyzed from the criteria emitted for a panel of specialized tasters. The newness of the work consists in that it is the first time that the application of the membrane technology is reported in order to eliminate the smell from the sugar cane spirit used for the production of quality rums. Also a comparative analysis of the economical and environmental feasibility of the application between the proposed and the traditional processes, the latter using activated carbon was performed.

Key words: membrane, purification, smell of the spirits , sugar cane spirit

Introducción

El ron es uno de los productos cubanos más comercializados debido a su amplia demanda, la cual está lejos de satisfacer tanto a nuestro país como al resto del mundo. Debido a esto, muchos son los esfuerzos que actualmente se realizan para desarrollar la industria ronera, la cual se ha convertido en una importante fuente de ingresos en monedas libremente convertibles, de ahí que todas las inversiones encaminadas a mejorar el proceso tecnológico van hacia el logro de mayores volúmenes de ganancias.

Uno de los principales factores que definen las características finales de los rones lo constituye la etapa de maduración o añejamiento en los barriles de madera (roble blanco), donde se obtiene el ron base según estudios realizados por Prescott (1952). Producto de este proceso, esta base adquiere determinadas propiedades organolépticas y coloración característica, en dependencia del tiempo de añejamiento, debido a tres causas fundamentales:

- Extracción de sustancias complejas de madera.
- Oxidación de las sustancias originales y de las presentes en el material extraído de la madera.
- Reacción entre los diferentes compuestos de origen orgánico que existen en la masa hidroalcohólica para dar nuevos productos.

Una vez obtenido el aguardiente añejo, este constituye la materia prima fundamental para la formulación de determinado ron, pero es necesario ajustar determinadas propiedades sensoriales y organolépticas que son específicas para cada receta de ron en particular. Para lograr este objetivo en la industria se utiliza la adsorción con carbón activado según estudios de Queris (1998) aplicando diferentes variantes tecnológicas para eliminar o mantener en determinados rangos aquellos compuestos que incorporan sabores no deseados a los mismos. Esta tecnología presenta algunas desventajas en cuanto los tiempos de retención que demandan los procesos de mezclado y reposo, así como una vez agotada la capacidad adsortiva del carbón activado, constituye una fuente contaminante al medio ambiente.

Considerando lo antes expuesto y teniendo en cuenta los relevantes resultados de la aplicación de la tecnología de separación con membranas en la industria alimenticia, en presente trabajo se estudia la posibilidad de emplear la tecnología de membranas con determinado umbral de corte que permita la separación selectiva de determinados compuestos y partículas presentes en las materias primas que constituyen los aguardientes de acuerdo a su peso molecular, en un tiempo relativamente corto aplicando un proceso mas limpio.

Por lo expuesto anteriormente se propone como objetivo principal de este trabajo, realizar un estudio de la intensificación de las etapas del proceso de purificación de aguardiente aplicando la técnica de separación con membranas como método alternativo al proceso actual para obtener aguardientes de alta calidad empleando una tecnología más limpia.

Materiales y Métodos

Teniendo en cuenta que la tecnología de producción de rones no ha sufrido cambios significativo, hasta los tiempos actuales, y la adsorción con carbón activado es una técnica que se ha utilizado por mas de 100 años para la purificación de rones y aguardientes, la misma presenta características que atentan con el incremento de los niveles de producción, es por ello que se hace necesario buscar alternativas que permitan minimizar las desventajas de esta tecnología.

La separación con membranas aparece como una alternativa ventajosa en la industria moderna, en particular si se hace una selección dentro del amplio campo de las membrana y sus clasificaciones, las membranas cerámicas inorgánicas homogéneas sobre soportes de grafito, por ser mas resistentes y económicas, son las que se tendrán en cuenta, debido a que las mismas permiten separaciones de partículas de diferentes tamaños en un amplio rango de acuerdo a su diámetro de poro, que incluyen los rangos de UF y MF.

Los métodos a utilizar en la investigación son los relacionados con el diseño de experimentos, UV-VIS, análisis sensorial a través de un panel de catadores especializados, cromatografía gaseosa y espectrometría de masa, las muestras para los análisis se provee directamente de muestras industriales.

De las diferentes formas de llevar a cabo la separación con membranas y de acuerdo a las características del proceso de producción de ron , se decidió proponer un modulo de alimentación continua con recirculación, debido a que para los efectos prácticos de este trabajo se desea lograr el mayor flujo de permeado de aguardiente en el menor tiempo posible, con el máximo de reproducibilidad de los resultados y el mínimo de perdidas de la corriente original, resultando este esquema el más adecuado y económico.

En el Laboratorio de Operaciones Unitarias de Universidad Central de Las Villas se construyó un banco de pruebas para evaluar la factibilidad de utilizar las membranas en el proceso de purificación de aguardientes añejos los cuales se utilizan como materia prima fundamental en la producción de rones, para de esta forma poder establecer en primera instancia los tamaños de partículas a separar. El módulo opera con una sola membrana de 0.299 m de longitud, 0.01 m de diámetro exterior y 0.006 m de diámetro interior, lo que representa un área de 0.04633 m^2. El material de la carcaza que conforma el módulo es de acero inoxidable. González del Tanago (1952) y Rosabal (1988).

Se dispone de un juego de membranas cerámicas inorgánicas tipo Cabosep con umbrales de corte de MF y UF (M-45, M-14, 150 000, 50 000 y 10 000 Da)

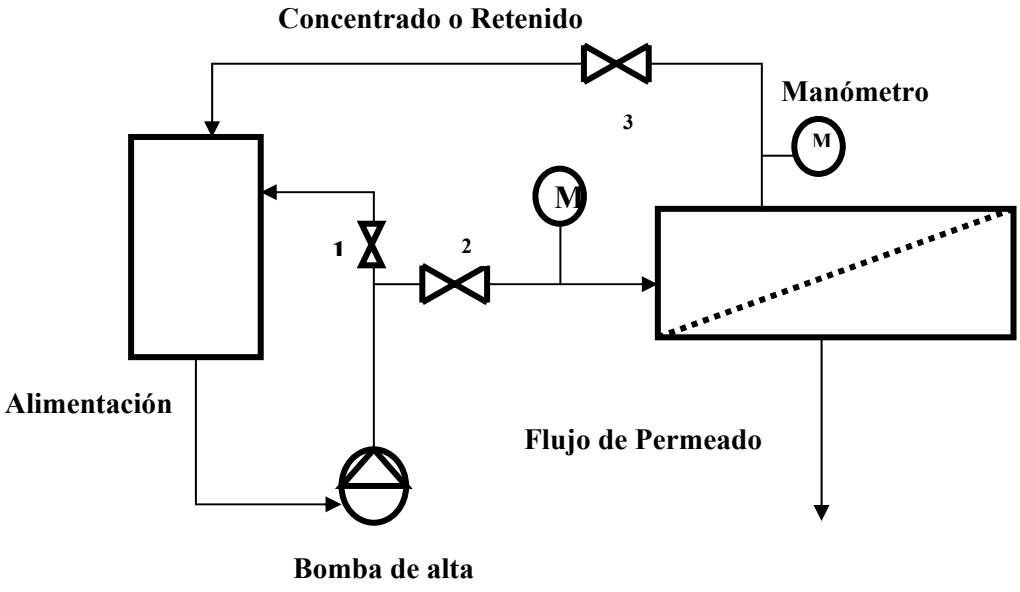


Figura 1. Esquema del módulo de ultra y microfiltración.

El primer paso para evaluar la factibilidad de la aplicación de una operación con membranas lo constituye la caracterización de la corriente de alimentación así como la determinación de la efectividad del proceso de separación.

La efectividad de esta separación se cuantifica a través de la disminución relativa de las propiedades que determinan la calidad del proceso: Color, Turbiedad, propiedades organolépticas, mediante la siguiente ecuación.

$$DR = \frac{Po - Pp}{Po} \cdot 100$$

Donde: DR: Disminución relativa (%).
Po: Propiedad en el producto original.
Pp: Propiedad en el permeado.

La corriente de de alimentación al proceso la constituye un aguardiente añejo como mínimo 6 meses, después de este tiempo, desarrolla un aroma y sabor característico

Dentro de las sustancias que se deben eliminar se encuentran compuestos de alta masa molecular como sustancias tánicas no oxidadas y resinosas que trasmiten un tono desagradable a roble y sabor amargo.

Para tener un control más riguroso de los compuestos presentes en el aguardiente añejo se aplicaron técnicas analíticas que permiten cuantificar en que medida se logro la separación

Metodología Experimental

Se tomaron muestras de aguardiente añejo 6 meses como mínimo y 70^{o} GL de graduación alcohólica, se realizó la dilución con agua desmineralizada a 56^{o} GL (muestra industrial), se colocó en el tanque de alimentación del módulo.

Las principales variables que gobiernan el proceso son: velocidad media del Flujo de permeado, presión de trabajo, flujo de materia prima (aguardiente), temperatura, pH y grado alcohólico.

Los valores de presión reportados en la literatura por diversos autores; San Martín F., Álvarez F. y Coca J., (1989a, b) son los recomendados entre 0.05 Mpa -1.3 Mpa (0.5atm – 13 atm).debido a que se propone explorar los rangos de ultrafiltración y microfiltración. Después de realizadas varias experiencias

experimentales, se determinó que para las membranas a emplear el valor de presión máximo a operar es de 5 atm, después de este valor se producen incrementos del flujo con incrementos de la presión, pero no económicamente justificable.
En cuanto a la velocidad de la corriente de alimentación, un aumento de esta provoca un aumento en el número de Reynolds y por tanto del coeficiente de transferencia de masa (CTM), lo cual hace que disminuya el gradiente de concentración entre la superficie de la membrana y el seno de la disolución hasta que llega un momento en que la concentración se aproximan, por lo que un aumento de la velocidad ya no se traduce en un aumento del flujo de permeado. Diversos autores reportan velocidades entre 2-4 m/s para evitar la colmatación. Riera (1998).
El grado máximo de concentración alcanzado no se puede modificar, este está predeterminado por los requerimientos del proceso y a concentraciones elevadas aunque se aumente la velocidad se anula el gradiente de concentración.
Por su parte un aumento de la temperatura provoca un aumento de la permeabilidad de la membrana y el coeficiente de transferencia de masa por lo que el valor del flujo aumenta especialmente a concentraciones bajas, así como disminuye la viscosidad del fluido, incrementando la difusividad y por ello un aumento del flujo. No obstante en este proceso la temperatura debe mantenerse lo mas baja posible para lograr minimizar las perdidas por evaporación, aspecto que es de gran importancia desde el punto de vista industrial.
Para lograr las dependencias entre las variables más importantes presentes se realizan una serie de experimentos que permitan obtener las correlaciones entre las mismas, tomando como:
Variables independientes: Umbrales de corte de las membranas (tamaño de poro) UF y MF (M-45, M-14, 150 000 Da, 50 000 Da, 10 000 Da).
Variables dependientes: Absorbancia, densidad de flujo de perneado, concentración de los productos registrados.
Parámetros constantes: -Presión Transmembrana (2.5 y 5 atm), velocidad de flujo 4m/s
Una vez realizadas las corridas experimentales se determinó la absorbancia para cada una de ellas y sus valores medios estadísticos se reportan en la Figura 2

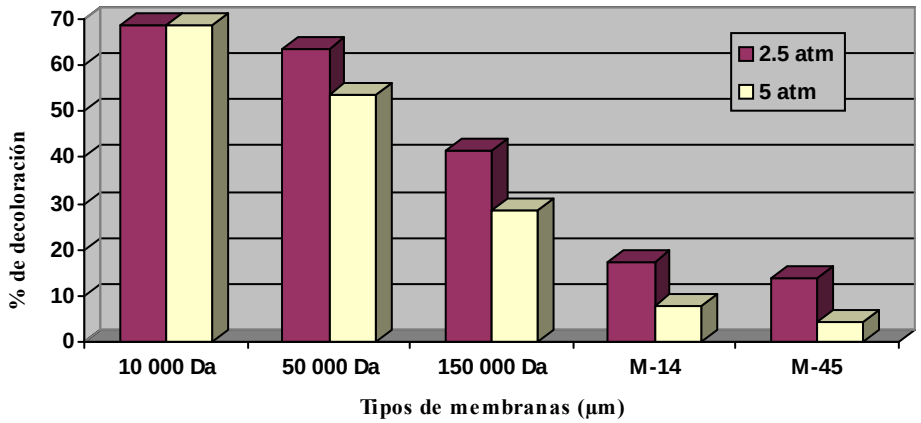


Figura.2: Valores de los % de decoloración para cada membrana a las dos presiones de trabajo.

Las muestras de los permeados obtenidos para cada una de las membranas sometidas a estudios fueron presentadas ante un panel de catadores de la Ronera Central perteneciente a la corporación Cuba Ron S.A con el objetivo de determinar las características organolépticas y sensoriales que determinan en última instancia cuál de las muestras procesadas presenta las cualidades necesarias para futuras formulaciones de rones. Los análisis se realizaron según las normas establecidas presentados a continuación. Costa y col., (1994).

Tabla I. Criterio de los catadores para cada una de las muestras

	Membrana de la cual procede la muestra									
	M-14		M-45		150 000 Da		50 000 Da		10 000 Da	
	Presión (atm)									
Catador	5	2. 5	5	2. 5	5	2. 5	5	2. 5	5	2. 5
1	R	R	R	R	A	A	A	A	A	A
2	R	R	R	R	R	R	A	A	A	A
3	R	R	R	R	R	R	A	A	R	A
4	R	R	R	R	R	R	A	A	R	R

A: aceptado. .R: rechazado.

El resultado de esta prueba nos conlleva a que las muestras procedente de las membranas de umbrales de corte de 1500 00 Da, 50 000 Da y 10 000 Da se encontraron aceptables para las dos presiones de trabajo. La muestra perteneciente a la membrana de 50 000 Da, es la única en la cual coinciden los cuatro especialistas la catalogan de aceptable, por lo que podemos seleccionarla como la más idónea, de acuerdo con estos resultados.

-.Flujo de Permeado

Como el flujo de permeado es otra de las variables importantes a tener en cuenta en los procesos de filtración con membrana, se analizaron los valores promedio de las densidades de flujos para un tiempo de ½ horas para cada una de las membranas para las dos presiones de trabajo, estos valores influyen directamente en el tiempo que demora la operación de filtración. Estos resultados aparecen reportados en la Figura 3

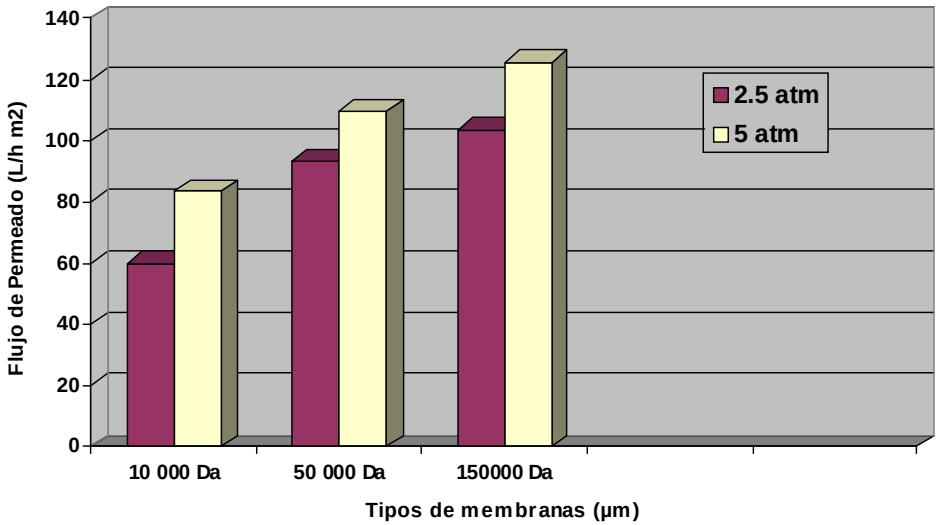


Figura 3: Comportamiento del Flujo de Permeado de aguardiente vs. Umbral de Corte y la Presión

Para las membranas que se analizaron (10 000 Da, 50 000 Da y 150 000 Da) la mayor densidad de flujo de permeado corresponde a la de mayor umbral de corte. Es de destacar que para cada una se obtiene mayor densidad de flujo a la mayor presión.

Evaluando todos los resultados obtenidos se puede concluir que la membrana de 50 000 Da resulta la más idónea como alternativa al proceso tradicional de adsorción teniendo en cuenta los criterios emitidos por

el panel de catadores y además se obtienen densidades de flujos de permeados aceptables y no muy diferentes de la que tiene umbral de corte de 150 000 Da.
Integrando el resultado de todos los aspectos analizados hasta el momento se concluye que a la presión de 2,5 atm se obtienen los mayores porcentajes de decoloración y que los mayores flujos de permeado se obtienen a la presión de 5 atm. Para ambos casos las propiedades organolépticas presentan características similares lo que demuestra que los aguardientes tratados con la membrana de umbral de corte de 50 000 Da reúnen las propiedades sensoriales necesarias para una formulación adecuada de ron

Caracterización de la purificación de aguardiente por ultrafiltración con membrana de 50 000 Da.
Se utilizó la cromatografía de gases acoplado a un detector de masa, se caracterizó una muestra de aguardiente antes (original) y después (perneado) de atravesar la membrana 50 000 Da a la presión de 5 atm. El etanol es el primer compuesto en ser registrado debido a que es el más volátil de los compuestos presentes en el aguardiente, se determinaron los compuestos presentes en ambas muestras. El equipo brinda la posibilidad de realizar un cromatógrama que incluya solamente a los ésteres presentes en las muestras y se pudo determinar el área bajo la curvas de los compuestos, los resultados se muestran en la Tabla II.

Tabla II. Valores del área bajo la curva para los compuestos identificados.

	ACETALDEHIDO	ACETATO ETILO	METANOL	N PROPANOL	ISO BUTANOL	ISO AMÍLICO	ALCOLES. SUP. TOTALES
Alimentación	53,2	119,4	30,0	68,4	91,0	376,2	535,6
Permeado	23,2	93,1	18,3	21,3	32,3	108,3	161.9
Diferencia.	**56.3 %**	**22,0 %**	**39.0 %**	**68.8 %**	**64.5 %**	**71,1 %**	**69.7 %**

De un análisis de la Tabla II se observa que los alcoholes superiores y el acetaldehído se eliminan en mayor proporción que el metanol y el acetato de etilo. Para cada uno de los compuestos se dispone de un porcentaje de disminución relativa.
La determinación de los compuestos volátiles minoritarios presentes en la muestras originales y de permeado por membrana de ultrafiltración de umbral de corte de 50 000 Da aparecen reportados en la Tabla III y se realizaron en un cromatógrafo gaseoso Voyager Thermo Quest.

Tabla III. Valores del área bajo la curva para los compuestos identificados.

Compuesto	Área bajo el pico original	Área bajo el pico filtrado	Diferencia (%)
Etilfenil Alcohol	1268118	1029664	18,8
Octanoato de Etilo	1647183	1043015	36,7
Decanoato de Etilo	6832690	6166429	10,8
Dudecanoato de Etilo	3215219	2953433	8,9
Hexadecanoato de etilo	3479463	2927867	15,9
Linoleato de Etilo	2064625	2036660	1,4
Oleato de Etilo	3277921	2708371	17,4

De un análisis de la Tabla III se puede determinar que existe remoción de todos los compuestos volátiles minoritarios detectados, por lo que la membrana desempeña un papel importante en la separación de los

compuestos detectados. Los análisis realizados permiten identificar y cuantificar los compuestos presentes en las muestras los cuales hasta ahora solo habían sido referidos de forma cualitativa por el panel de análisis sensorial.

Análisis Cualitativo del Impacto Ambiental derivado de la utilización de ambas variantes tecnológicas.

En ambas variantes tecnológicas se eliminan una serie de compuestos orgánicos presentes en los aguardientes debido a las reacciones que se producen en el añejamiento. En ambos casos estos residuos son vertidos al medio, por lo que se hace necesario realizar un análisis de los factores que pueden ser impactados así como las acciones impactantes provocadas por el uso de cada una de las tecnologías.

Variante: Tecnología con Membranas

Como producto de esta tecnología se obtienen dos corrientes consideradas como residuos:

- La corriente de rechazo del módulo de membranas constituida por aguardiente enriquecido con compuestos orgánicos que fueron separados por el procedimiento, estos valores representan entre 0,2 - 0,4 % de merma del producto y son menores que las que ocurren en el proceso actual las que se encuentran entre un 0,8 y un 0,9 % debido a la evaporación y el trasiego. Este producto puede ser utilizado para realizar diluciones y obtener rones de menor calidad.
- La otra corriente de residuo está constituida por las aguas de lavado que arrastran los compuestos ocluidos en los poros o depositados sobre la superficie de la membrana. Las concentraciones presentes en las aguas de lavado son extremadamente bajas al ser comparadas con las dosis medias letales reportadas por lo que no se consideran agresivas para la flora y fauna presentes en la laguna de oxidación.

Variante: Carbón Activado

A través de esta variante se estandarizan los compuestos presentes en los aguardientes mediante la adsorción de los mismos sobre carbón activado. Al aplicar esta variante tecnológica se producen dos corrientes residuales:

- Carbón sólido con su capacidad adsortiva agotada con compuestos orgánicos separados adheridos a su superficie.
- Aguas de lavado del proceso de filtración.

Realizando un análisis de los factores impactados: suelo, clima, biota y el agua por los efectos impactantes resultantes de cada proceso se puede determinar la Matriz de Importancia reportada por Conesa (2003) y realizar una comparación entre ambas tecnologías las cuales se presentan en la Tabla IV.

Tabla IV. Matriz de Importancia para ambas variantes tecnológicas.

Variante Membrana				
	Suelo	**Clima**	**Biota**	**Agua**
Residuos Líquidos	**-20**	**-19**	**-19**	**-23**
Residuos Sólidos	**-**	**-**	**-**	**-**

Variante Carbón Activado				
	Suelo	**Clima**	**Biota**	**Agua**
Residuos Líquidos	**-20**	**-19**	**-19**	**-23**
Residuos Sólidos	**-50**	**-14**	**-30**	**-44**

Al efectuar un análisis de la Tabla IV se puede constatar que ambas variantes producen efectos negativos sobre el ambiente. El vertimiento de los residuales del proceso tecnológico utilizando las membranas representa un efecto negativo hacia los cuerpos receptores. La mayor incidencia se aprecia en los elementos impactados suelo y agua. Este efecto se puede considerar irrelevante debido a que los valores resultantes son menores de 25.

Realizando el mismo análisis para los efectos causados por la tecnología con carbón activado para los cuerpos receptores biota, agua, y suelo por el residuo sólido se observa que sobrepasan el valor de 25 causando efectos moderados sobre los mismos. El impacto sobre el suelo alcanza valor de 50 a partir del cual los daños se consideran severos. El efecto de los residuales líquidos se comporta de igual forma que al aplicar la tecnología de membranas.

Evaluación Económica.

Para procesar el volumen de producción de la Ronera Central en las condiciones actuales utilizando la tecnología de purificación con membranas se realizó el escalado de los resultados de laboratorio según la metodología propuesta por Ripperger (1999) y es necesario realizar una inversión de un módulo industrial que permita obtener un área de filtración de membrana de 0,40 m^2. Se realizó consulta al Catalogo de la firma Tech-Sep (1996), lo que permitió proponer la compra de un módulo ofertado por la firma con las siguientes características:

Características del Módulo de Membranas seleccionado:

- Tipo de Membrana: CARBOSEP
- Material de la membrana: ZrO_2 (Oxido de Zirconio)
- Soporte de la Membrana: Carbón.
- Umbral de Corte de la Membrana: 50 000 Da.
- Cantidad de Tubos: 37
- Longitud de los Tubos (mm):1200
- Diámetro Interior de los Tubos (mm): 6
- Código del Módulo: SC37 SANITARIO
- Área de Membrana (m^2): 0,40
- Presión Máxima de Trabajo (atm): 40
- Rango de pH: 0 - 14

Para comprobar la factibilidad de una nueva inversión uno de los métodos más utilizado es el que se apoya en la determinación del Valor Actual Neto o valor capital de una inversión actualizada a todos los Flujos de Caja. Es un método sencillo y ampliamente utilizando.

Para la aplicación de esta tecnología es necesario realizar una nueva inversión. De acuerdo al área de filtración calculada para los requerimientos del proceso el valor del módulo y sus accesorios esta estimado en un valor de $80 000,00 de acuerdo a datos del catálogo de ofertas de la firma Tech-Sep.

En esta inversión se incluyen el módulo de membranas, las tuberías de acero inoxidable, las válvulas e instrumentación (manómetros, flujómetros, etc.)

Para el cálculo del costo final de la inversión se determinaron los valores según el método de los porcentajes de costo de equipamiento propuestos por Peter (2003). Si se estiman los gastos de transportación, instalación y puesta en marcha del módulo de membranas de acuerdo a índices actualizados el valor total de la inversión asciende a $ 109 600,00.

Análisis de la nueva inversión por el método del Valor Actual Neto

Las determinaciones se realizan sobre la base de los planes perfectivos que proyecta realizar la empresa para los próximos 10 años. El costo de operación en el proceso actual para la Ronera Central es de 41,53 $/HL de aguardiente procesado.

El cálculo de todos los demás indicadores económicos se realizaron sobre la base del precio de venta previsto por la fábrica de 127,00 $/HL. Para el cálculo del VAN de la nueva inversión de purificación con las membranas se utiliza una tasa de retorno del 15 % y se aplica el 35 % de impuesto sobre la ganancia por ser Cubaron S.A una empresa que realiza sus operaciones en divisas. En la Tabla V se presenta un resumen de los valores más importante de este procedimiento.

Los ahorros referidos son el resultado del valor adicional que representa la no utilización del carbón activado los cuales se contabilizan como ingresos que deben tenerse en cuenta para realizar el cálculo de los flujos de cajas.
Finalmente se puede apreciar que el valor del VAN es de $ 591 139,36. Este valor es positivo y significa que la inversión proporciona ingresos por encima del costo de capital que exige. Este análisis demuestra que la inversión para la tecnología de separación con membranas es viable desde el punto de vista económico.

Tabla V. Análisis Económico de la Variante Membrana por el Método del VAN.

AÑOS	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2017
Plan Prod Miles HL	734,4	749,1	763,8	778,47	793,18	807,8	822,54	837,23	851,92	866,61
Costos de Producción	30499,63	31110,12	31720,61	32329,86	32940,77	33547,93	34160,09	34770,16	35380,24	35990,31
Ahorros	84000,67	85682,06	87363,44	89041,40	90723,93	92396,16	94082,13	95762,37	97442,61	99122,85
Ingresos Ventas	89207,57	90993,18	92778,79	94560,75	96347,57	98123,47	99913,93	101698,33	103482,72	105267,12
Flujo Caja Actualizado	44587,86	37719,46	33301,76	29393,88	25939,91	22884,87	20187,82	17804,15	15698,85	13839,85
Flujo Caja Descontado	($65012,14)	($27292,68)	$6009,08	$35402,96	$61342,87	$84227,74	$104415,56	$122219,71	$137918,56	$151758,41
VAN (15 %)	$591139,36									
TIR	46 %									

Al analizar la Tabla V se puede apreciar que el valor del VAN para la una tasa de interés del 15 % es de $ 591 139,36. Este valor es positivo y significa que la inversión proporciona ingresos por encima del costo de capital que exige. Este análisis demuestra que la inversión para la tecnología de separación con membranas es viable desde el punto de vista económico.

Cálculo del plazo de recuperación de la inversión.

Al analizar la Tabla V se puede observar que en el año 2008 es cuando más se acerca al valor de recuperación de la inversión y a partir de la determinación de los flujos de cajas incrementados se puede calcular el tiempo de recuperación de la inversión. Si se calcula el tiempo de recuperación de la inversión es de 2,5 años. Este valor se considera aceptable ya que es menor que los 5 años exigidos para las inversiones en Cuba, lo que permite considerar que la inversión es perfectamente factible desde el punto de vista económico.

Conclusiones

1. Se demostró la efectividad del uso de la tecnología de separación con membranas en la etapa de purificación de aguardientes lo que se corrobora con la eliminación de sustancias colorantes y en suspensión. Este hecho constituye una novedad científica dado que es la primera vez que se reportan estudios de la utilización de membranas en la purificación de aguardientes con resultados satisfactorios.
2. A partir de los resultados obtenidos se concluye que para procesar el aguardiente producido en la Ronera Central se debe usar un módulo Carbosep sanitario del tipo SC37 con 37 tubos de 1200 mm de longitud el cual debe ser operado en el rango de presión transmembrana comprendido entre 2,5 y 5 atm y una velocidad de flujo de 4 m/s.

3. La tecnología de separación con membrana constituye una alternativa tecnológica más limpia que la tecnología de separación con carbón activado aplicada actualmente en las etapas de purificación en el proceso de elaboración de ron con una apreciable disminución del impacto ambiental.
4. Desde el punto de vista económico la utilización del sistema de purificación con membranas es viable ya que se alcanzan índices de recuperación de la inversión de 2,5 años para una tasa de interés del 15 %.

Referencias

1. Queris, O., Curso de Superación Integral en Producción y Añejamiento de Aguardientes, Ronera Central, Villa Clara, 2005.
2. Rosabal Vega J, Puyans Garcell L. Hidrodinámica y separación mecánica, Tomo I, Cuba 1988 pp. 296.
3. Peter M.S. y Timmerhaus K.D., Plant desing and economics for chemical engineers. Pueblo y educación, 1980, pp. 850
4. Cabero M.l, Riena F. A, Alvarez R. Journal of Membrane science, University of Oviedo, Spain, 1999.
5. González del Tanago J, Los materiales de la construcción en la ingeniería química, España 1952, pp. 237
6. Álvarez Ricardo y Andrés J., Recuperación de proteínas del lactósuero, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oviedo, España 1998, pp35-56
7. Riera Rodríguez Francisco A., Microfiltración y ultrafiltración con membranas, Ciencia y Tecnología de la Leche, Oviedo, España 1998, pp. 57-72
8. Conesa, Victoria, Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Barcelona, España 2003, pp 124-138.
9. San Martín, F.; Álvarez, F. y Coca J., La ósmosis inversa y la industria láctea, Ingeniería Química, 181 – 190, Noviembre 1989[a].
10. San Martín, F.; Álvarez, R. y Coca, J., Osmosis inversa o hiperfiltración: Una técnica de concentración en la industria alimentaría, Alimentación, Equipos y Tecnología, 1989[b,] , pp. 147 – 156.
11. Costa, A y col., Procedimiento de la evaluación sensorial de rones carta blanca, Gerencia Santa Cruz Del Norte, MINAL, 1994
12. Ripperger, S., Generalidades del Proceso de Separación con Membranas, Curso impartido por S. Ripperger. Departamento de Procesos Térmicos y Separaciones Mecánicas, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Técnica de Dresden, Alemania, 1999.
13. Tech-Sep., “Catálogo”, Documento de Referencia 001 DOC 20, noviembre 1996

EXPERIENCIAS DE TRABAJO DESARROLLADO EN UN LABORATORIO DE ALCOHOLES Y BEBIDAS ACREDITADO POR LA NC-ISO/IEC 17025.

Arlyn Reyes Linares, María del Carmen Vasallo Sordo, Magdalena Lorenzo Izquierdo, Olga Porto Ruz, Nancy Herrera Marrero, Raimundo Guardarrama Rodríguez.

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. Cuba
E-mail: arlyn.reyes@icidca.edu.cu , ceralbe@icidca.edu.cu

Resumen

En este trabajo se presentan las experiencias desarrolladas en el Laboratorio de Alcoholes y Bebidas (LABEB) acreditado por la NC-ISO/IEC 17025, demostrándose su competencia técnica, lo que se evidencia en el incremento de los clientes, así como en la satisfacción de los mismos, cumpliendo los requisitos esenciales de seguridad y eficacia en los servicios analíticos, con alta confiabilidad mejorando continuamente el sistema de gestión implantado.

Palabras clave: Laboratorio acreditado, mejora continua, calidad, sistema de gestión.

Summary

In this document are presented the experiences developed by the Alcohols and Beverages Accredited Laboratory according to the NC-ISO/IEC 17025, demonstrating its technical competence, what is evidenced in the increment of clients, as well as the satisfaction of the same ones, completing the essential requirements of security and effectiveness in the analytic services, with high dependability improving continually the implanted management system.

Key words: Accredited laboratory, continuous improvement, quality, management system.

Introducción

La acreditación es la actividad por la cual un organismo debidamente autorizado, reconoce formalmente que una entidad es competente para llevar a cabo tareas específicas, en otras palabras, la acreditación es sinónimo de confianza, credibilidad, y competencia en los resultados de un ensayo a un producto o la calibración de un instrumento de medición, *Erice (2000).*

Lograr la condición de laboratorio acreditado por un organismo reconocido y sobre la base de prácticas internacionales, es una de las formas de demostrar competencia técnica. Actualmente la opción de seleccionar un laboratorio de ensayo o de calibración acreditado, cuyos resultados sean fiables está convirtiéndose en una necesidad, debido a las exigencias del mercado cada vez más competitivos que impulsa la comercialización de productos con calidad.

En nuestro país el Órgano Nacional de Acreditación de la República de Cuba (ONARC), es el organismo debidamente autorizado para conducir los trabajos de acreditación, evaluar periódicamente a los laboratorios acreditados, revisando entre otros aspectos los factores determinantes para la obtención de resultados confiables, como son:

- Participación en ensayos de aptitud (EA) por comparación interlaboratorios.
- La mayor capacidad de medición como elemento de expresión de la incertidumbre.
- Fuentes de trazabilidad del Sistema Internacional.

El laboratorio de Alcoholes y Bebidas (LABEB), creado en el año 2003 por iniciativa del MINAZ y de la alta dirección del ICIDCA, fue acreditado por el Órgano Nacional de Acreditación de la República de Cuba (ONARC) en diciembre de ese mismo año, por la norma NC-ISO/IEC 17025:00, en presencia de la ILAC (Cooperación Internacional de Laboratorios Acreditados) y la IAAC (Cooperación Interamericana de Acreditación), obteniendo la acreditación en 8 métodos de ensayos en aguardiente, alcohol y rones, demostrando su competencia en evaluaciones anuales de seguimiento durante 3 años. En el año 2006 el laboratorio transitó hacia la NC-ISO/IEC 17025:06, logrando la reacreditación en enero del 2007, por 4 años con un incremento en su alcance de 12 métodos de ensayo, demostrando con ello el desempeño de la mejora continua.

Su misión está dirigida a brindar servicios científicos –técnicos, realizando ensayos de laboratorios a petición de las roneras, destilerías y empresas comercializadoras para obtener los certificados necesarios y la detección de las no conformidades dentro de los sistemas de calidad, emite resultados de los análisis para comprobar los parámetros de calidad en los alcoholes y bebidas para la exportación, comprueba las características de las materias primas, productos intermedios y los reactivos, mediante las normas establecidas nacional e internacionalmente.

La política de calidad del LABEB, tiene como objetivo satisfacer las necesidades del cliente, cumpliendo los requisitos esenciales de seguridad y eficacia especificados para brindar servicios analíticos de alta confiabilidad en un mínimo de tiempo posible, desarrollando y mejorando continuamente el sistema de gestión implantado, *Martínez (2003).*

El objetivo de este trabajo es dar a conocer a las roneras, destilerías y empresas comercializadoras del MINAZ y a otros organismos nacionales e internacionales las experiencias del LABEB, como laboratorio acreditado por la NC-ISO/IEC 17025.

Desarrollo

En la década del 90, el MINAZ impulsado por trabajar en la producción de rones de calidad para la competencia en el mercado interno y externo del país, propone la introducción de controles de la calidad en cada ronera y la realización de un laboratorio de referencia de alcoholes y bebidas (LABEB) que supervisara esta actividad. Para cumplir esta tarea, el LABEB decide implementar un sistema de gestión de calidad según la NC-ISO/IEC 17025. “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”.

Implantar un Sistema de Gestión de Calidad implica la realización de cambios importantes en la forma de trabajo, por tal motivo se desarrolló el siguiente plan de medidas:

1. Conciencia de la alta dirección.

Se realizó reuniones con el Consejo de Dirección, donde se explicó la necesidad del apoyo de la dirección en el aseguramiento material y financiero.

2. Creación de la estructura interna del laboratorio.

- Un jefe de laboratorio, comprometido con toda la actividad que en el mismo se realiza.
- Un responsable de Calidad
- Analistas y especialistas.

Se analizaron y aprobaron las funciones de trabajo de cada cargo, así como se elaboró el esquema de delegación de autoridad.

3. Capacitación del personal.

Aspecto de gran importancia es la capacitación de todo el personal, para el conocimiento y dominio de los documentos técnicos y normativos. La mayoría de los cursos fueron recibidos en el Instituto de Investigaciones en Normalización (ININ) y se dirigió fundamentalmente a las temáticas siguientes:

- NC- ISO/IEC 17025
- Auditorias
- Documentación
- Cartas de control
- Buenas prácticas de laboratorio (BPL)
- Expresión de la incertidumbre.
- Ensayos intralaboratorios e interlaboratorios

4. Elaboración de la documentación.

Esta etapa es de gran importancia, por lo que todo el personal debe participar en la confección de la documentación, la cual se revisó y aprobó por el jefe del laboratorio. El sistema de Gestión de Calidad de LABEB cuenta con la siguiente documentación:

Manual de calidad

Se reflejan los requisitos generales para la competencia al realizar los ensayos en el laboratorio mediante métodos normalizados y métodos desarrollados por el propio laboratorio, también se relaciona la política de calidad y los objetivos de trabajo.

Manual de procedimientos normalizativos de operación (PNO**)**

Se describen los procedimientos relacionados con el Sistema de Gestión y con los métodos de ensayos.

Registros

Constancia diaria de las operaciones que se realizan en el laboratorio.

También se dispone de las técnicas analíticas donde se reflejan los métodos de ensayos para el análisis de las muestras.

5- Actividad de normalización y validación de métodos de ensayos.

El laboratorio debe tener conocimientos y actualización sobre las normas aprobadas, sustituidas y derogadas. Los métodos de ensayos no normalizados y que se deseen acreditar, deben ser validados.

El LABEB en su primera acreditación logró acreditar 8 métodos de ensayos en aguardiente, alcohol y ron. En la segunda acreditación incrementó su alcance a 12 métodos de ensayos, los que se muestran a continuación en la tabla I:

Tabla I. Ensayos acreditados

No	Matriz	Denominación del ensayo	Norma o documento que ampara el ensayo
1	Alcohol	Determinación de grado alcohólico	NC-290:2007
2	Alcohol	Determinación de acidez total	NC-83-28:1987
3	Alcohol	Determinación de alcoholes superiores	NC-83-30:1987
4	Alcohol	Determinación de componentes mayoritarios	PNO-13.2
5	Alcohol	Determinación de tiempo de permanganato	NC-83-25:1987
6	Rones	Determinación de grado alcohólico	NC-290:2007
7	Rones	Determinación de acidez total	NC-291:2003
8	Rones	Determinación de intensidad colorante	NC-529:2007
9	Rones	Determinación de Componentes mayoritarios	PNO-13.2
10	Aguardiente	Determinación de grado alcohólico	NC-290:2007
11	Aguardiente	Determinación de acidez total	NC-291:2003
12	Aguardiente	Determinación de componentes mayoritarios	PNO-13.2

En la actualidad el laboratorio presenta un 57 % de ensayos acreditados, con relación a todos los ensayos que realiza.

6. Actividad metrológica.

Actividad costosa, pero a su vez necesaria para los laboratorios acreditados, con ella se garantiza la calidad y fiabilidad de los resultados. Se realizó un plan de calibración y verificación para los equipos, instrumentos de medición y cristalería involucrados en los ensayos a acreditar. Este plan se actualiza anualmente y la entidad que ofrece este servicio es el Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET).

7. Control interno y externo de la calidad.

Se estableció un procedimiento para el control interno de la calidad de los resultados, lo cual permite asegurar la validez de los ensayos realizados. Esto se fundamenta en el reciclaje de muestras testigos para comparar resultados con la correspondiente muestra original analizada. Por otra parte el control externo se garantiza con la participación en estudios interlaboratorios o ensayos de aptitud (EA), siendo este uno de los criterios ONARC en la evaluación de los laboratorios. Los EA son una herramienta útil, ya que evalúa el desempeño de los laboratorios participantes.

Tabla II. Estudios interlaboratorios en los que ha participado el LABEB.

*Proveedor reconocido por el ONARC	Ensayo	Matriz	Año
CNICA	Grado alcohólico	Ron	2003
CNICA	Acidez	Ron	2004
CNICA	Grado alcohólico	Ron	2005
INHA	Acidez	Ron Aguardiente	2007
Cuba Ron S.A	Grado alcohólico Acidez Tiempo de permanganato	Alcohol	2007
Cuba Ron S.A	Grado alcohólico	Ron	2007

* Entidad (Organización, empresa pública o privada) que toma a su cargo el diseño y conducción de un EA, que cumple con los criterios generales para el reconocimiento de proveedores de EA y está avalada por un certificado emitido por la sección ejecutiva, *Política ONARC (2004)*.

Además el LABEB ha realizado comparaciones entre laboratorios con las siguientes entidades:

- Laboratorio Central Cuba Ron S.A, en determinación de acidez en ron.
- Laboratorio UEB Destilería Ronera Cárdenas, Cuba Ron S.A, en determinación de grado alcohólico y tiempo de permanganato en alcohol.
- Estación Experimental Agroindustrial OBISPO COLOMBRE, Tucumán, Argentina, en determinación de componentes mayoritarios en alcohol.

En todos los casos se han obtenido resultados satisfactorios.

8- Auditorias internas y externas.

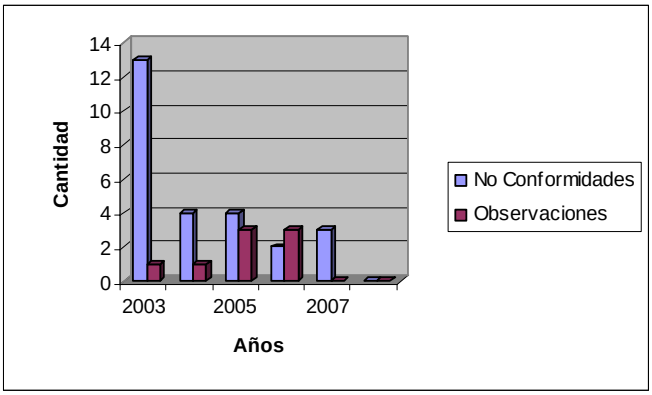
Las auditorias internas de calidad permiten conocer y ubicar muy rápido los aspectos deficientes relacionados con el sistema de gestión de calidad con el objetivo de eliminarlos y corregirlos antes de otro proceso posterior de auditoria, *Fernández (2001)*. Las auditorias internas deben ser programadas por el laboratorio, las mismas deben abarcar todos los requisitos de gestión y técnicos de la norma. La pueden realizar auditores internos de la entidad, no siendo personal del propio laboratorio. En ocasiones se pueden contratar auditores de otras entidades.

Las auditorias externas son las que realiza el ONARC como evaluación in situ con vista a la acreditación del laboratorio. También realiza las de supervisión, estas son las evaluaciones anuales de seguimiento una vez alcanzada la acreditación.

En todas las auditorias se pueden detectar trabajos no conformes, lo cual ayuda a la toma de acciones correctivas para la mejora del sistema implantado.

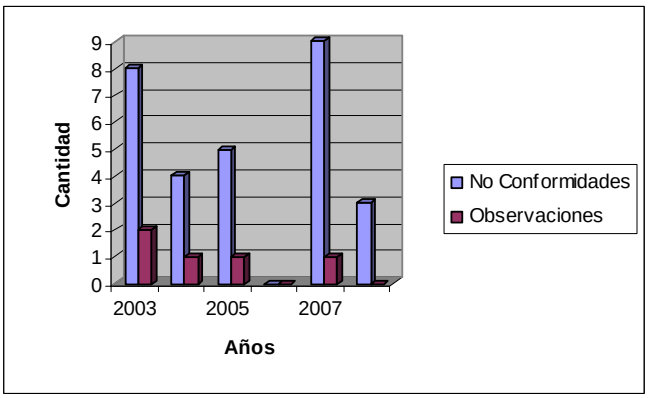
En la figuras 1 se puede apreciar el resultado de las auditorias internas realizadas al LABEB, en el mismo se observa una disminución en la cantidad de no conformidades desde el año 2003 hasta el 2007. Esto demuestra que el laboratorio ha ganado en experiencia con relación al sistema de gestión implantado. Para el año 2008 esta auditoria está planificada realizarse en el mes de septiembre.

Figura 1. Auditorias Internas



En la figuras 2 se puede apreciar el resultado de las auditorias externas realizadas al LABEB. En el año 2003 el laboratorio es auditado por primera vez por el ONARC, detectándose 8 trabajos no conformes y 2 observaciones. Posteriormente se realizaron las auditorias de supervisión. En el año 2006 el laboratorio no fue auditado, ya que transitó hacia la NC-ISO/IEC 17025:06, logrando la reacreditación en el 2007, en esta auditoria se detectaron 9 trabajos no conformes y 1 observación. En el 2008 se observa una disminución considerable en los trabajos no conformes con relación a años anteriores.

Figura 2. Auditorias Externas



9- Actividad de subcontratación.

Esta actividad permite, con la autorización del cliente, realizar ensayos en otros laboratorios de probada competencia técnica para satisfacer servicios que no se puedan acometer por no contar con métodos de ensayo establecidos, por roturas o carencias de equipos e instrumentos de medición, así como por la falta de calibración y verificación de los mismos. El LABEB elaboró un procedimiento para el tratamiento de las subcontrataciones (PNO-03 “Subcontratación de análisis”). En la tabla III se muestran algunas entidades y laboratorios subcontratados.

Tabla III. Entidades subcontratadas por el LABEB

Entidad subcontratada	Método de ensayo	Motivo de la subcontratación
CNICA	Determinación de grado alcohólico	Alcoholímetros no calibrados y verificados
LACEMI	Determinación pH y conductividad en agua	pH-metro y conductímetro no calibrados
Laboratorio de Espectroscopia UV- Visible del ICIDCA	Determinación de intensidad colorante en rones	Espectofotómetro defectuoso

10- Retroalimentación con el cliente

La dirección de LABEB asegura que los requisitos de los clientes se determinan y se cumplen a través de la ejecución y el control de los procedimientos establecidos para el seguimiento de la opinión de los clientes con respecto a los servicios realizados en el laboratorio (PNO-05 "Revisión de pedidos", PNO-18 "Recepción, almacenamiento y manipulación de las muestras y PNO-23 "Análisis de datos"). Este proceso abarca todas las actividades relacionadas con la identificación de las necesidades de los clientes y con la comunicación directa de los mismos.

Como retroalimentación para evaluar si se ha cumplido los requisitos del cliente, se entrega al mismo una encuesta, en la cual queda plasmado su nivel de satisfacción (RC-PNO-03-03 "Encuesta a los clientes"). Este registro permite realizar un análisis efectivo para la toma de acciones de mejora del Sistema de Gestión.

11- Mejora continua.

La Mejora Continua son las acciones emprendidas en toda la organización para aumentar la eficiencia y eficacia de las actividades y los procesos con el fin de aportar ventajas adicionales, tanto para la organización como para sus clientes.

La mejora continua de la calidad amplía la capacidad de una organización para competir y la oportunidad de sus miembros para contribuir, crecer y sobresalir.

Para la mejora continua de la eficacia del Sistema de Gestión, el LABEB se apoya en:

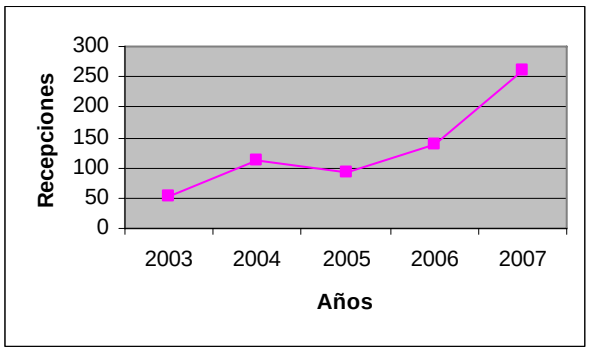
- Política de Calidad
- Objetivos de Calidad
- Resultados de las auditorias internas y externas
- Análisis de los datos
- Acciones correctivas y preventivas
- Revisión por dirección.

El LABEB ha desarrollado un amplio programa de mejora continua, lo cual se ha demostrado a través del incremento de los clientes y del número de recepciones de muestras; así como en las encuestas de los mismos, se ha logrado un nivel de satisfacción por encima del 98 %. Esto también se evidencia en el incremento del alcance del laboratorio en su última acreditación, destacándose el trabajo realizado en la cualificación del cromatógrafo de gases, así como la validación del método de ensayo de "Determinación de componentes mayoritarios por cromatografía de gases en rones, aguardiente y alcoholes", siendo en estos

momentos el único laboratorio en el país que cuenta con este ensayo acreditado y el método de ensayo "Intensidad colorante en rones".

En la figura 3 se observa un aumento en el número de recepciones, el cual se hace más pronunciado en el año 2007, debido fundamentalmente al incremento del alcance del laboratorio.

Figura 3. Recepción de muestras



Conclusiones

El LABEB ha demostrado durante este período su competencia técnica como laboratorio acreditado, lo que se ha evidenciado en el incremento de los clientes, así como la satisfacción de los mismos, cumpliendo los requisitos esenciales de seguridad y eficacia en los servicios analíticos de alta confiabilidad mejorando continuamente el sistema de gestión implantado.

Referencias Bibliográficas

1. Erice. A. (2000). La acreditación por la NC-ISO/IEC 17025. Revista Normalización Nº 2, Cuba.
2. Martínez A. (2003). Manual de Calidad LABEB.
3. Política del ONARC sobre Ensayos de Aptitud. (2004).
4. Fernández. N. (2001). Acreditación. Experiencias de un laboratorio de ensayo. Revista de Normalización No. 1, p 26-34
5. Erice. A. (2001). La acreditación reconocimiento de la evaluación de la conformidad. Revista Normalización No. 1, p 6-11.
6. ININ (2005).Curso de Postgrado Mejora Continua de la Calidad. Herramientas y Técnicas Básicas.
7. NC COPANT – ISO/ IEC Guía 58 :99
8. Sosa. R, Camaraza. D, Brito X. (2006). Ensayos de aptitud. Requisitos indispensables para demostrar competencia. Revista Normalización No.1. Edición Especial.

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE ALINEAR LA NC ISO/IEC 17025 CON LA ISO 9001?

Autores: María del Carmen Vasallo Sordo, Arlyn Reyes Linares, Idania Blanco Carvajal, Magdalena Lorenzo Izquierdo, Nancy Herrera Marrero, Olga Porto Ruz, Raimundo Guardarrama .

Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE·)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón
E-mail: ceralbe@icidca.edu.cu

Resumen

Los miembros de ILAC estarán conscientes de que muchos de sus laboratorios acreditados han estado experimentando dificultades para convencer a sus clientes de que deben pedirle a los laboratorios que se acrediten con la ISO/IEC 17025 en vez de certificarse (registrarse) con la ISO 9001.
Esta situación se agudizó con la publicación de la ISO 9001:2000, ya que algunos clientes le pedían continuamente a los laboratorios que se certificaran, cuando en realidad se referían a que se acreditaran. La confusión fue causada por la percepción de que los laboratorios acreditados no operan un sistema reconocido de gestión de la calidad.
El crecimiento en el uso de los sistemas de calidad, ha aumentado la necesidad de que los laboratorios pueden funcionar a un sistema de calidad que se considere como obediente de la ISO 9000 así como con ISO 17 025.
La certificación ISO 9000 solamente no demuestra la capacidad del laboratorio para producir datos y resultados técnico válido, mientras que la certificación de la ISO 17 025 proporciona esa evidencia.
La ISO/IEC 17025:2006 (Sección 4) están escritos en un lenguaje que se corresponde con las operaciones de un laboratorio y satisfacen los principios de la ISO 9001:2000, "Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos", y además son afines a sus requisitos pertinentes. El uso de esta Norma Internacional facilitará la cooperación entre los laboratorios y otros organismos y ayuda al intercambio de información y experiencia, así como a la armonización de normas y procedimientos.

Palabras clave: alinear, gestión de calidad, certificación

Summary

The members of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) are sure that many laboratories accredited have had troubles to convince their customers that they should be accredited by ISO/IEC 17025, instead of being certificated (registered) by ISO 9001.
This situation got worst after the publication of ISO 9001:2000, because some customers asked often to laboratories to be certificated, and they actually mean to be accredited. The misunderstanding took place because of the idea that accredited laboratories don't work with a quality management system.
The growth in use of management systems generally has increased the need of laboratories to be operating with a quality management system, related to ISO 9001 and ISO 17025. The certification ISO 9001 doesn't prove the laboratory capacity to produce datas and valid techniques results, while the certification ISO 17025 provides evidence.

The ISO/IEC 17025:2006 (section 4) is written in a language according to the operations of a laboratory, and satisfy the ISO 9001:2000 requirements, “Quality Management System-Requirements”. The use of this International Standard will make easy the cooperation between laboratories and organisms, and will be important to facilitate the information and experience interchange, and also harmonize the standards and procedures.

Key words: alignment **,** quality management system, certification

Introducción

En una economía cada vez más globalizada y con una progresiva desaparición de las fronteras geográficas, la gestión del medio ambiente, de la calidad y de la prevención de los riesgos laborales constituyen los pilares con mayor capacidad para contribuir a la apremiante necesidad de mejora de la competitividad de la empresa y su capacidad para brindar soluciones eficaces a los problemas más acuciantes de la sociedad en la actualidad.

La gestión de estos tres sistemas viene impulsada por el nuevo marco ético en el que se deben desenvolver todas las actuaciones empresariales teniendo en cuenta la responsabilidad social que las empresas tienen frente a la sociedad que las acoge.
Esta gestión ética se debería de traducir, entre otras cosas, en una mayor focalización en el cliente y la calidad y la seguridad de los productos que se ponen en el mercado.

Para afrontar con éxito los retos que se le plantean, la empresa moderna necesita contar con profesionales que posean una excelente formación, sean creativos, tengan espíritu de colaboración y de trabajo en equipo para afrontar las crecientes responsabilidades

DIFERENCIAS FUNDAMENTALES

La auditoría para certificar de acuerdo a la 9001 formula preguntas tales como:

- Los procedimientos están definidos?
- Están documentados?
- Se cumplen?

En tanto que la acreditación de laboratorios según la 17025, además de formular las mismas preguntas, agrega:

- Los procedimientos de los ensayos son los más apropiados para ser utilizados en estas circunstancias?
- Producirán resultados precisos?
- Han sido validados para asegurar su precisión?
- Hay procedimientos de control para el efectivo control de la calidad que aseguren la precisión requerida/indicada?
- Son entendidos los fundamentos científicos que respaldan los procedimientos de los ensayos?
- Son conocidas las limitaciones de los procedimientos?
- Se pueden prever y resolver problemas técnicos que surjan durante el uso de los procedimientos?
- Se dispone de todos los equipos necesarios, de los insumos necesarios, así como de todo otro recursos necesarios para ejecutar estos procedimientos?

El creciente uso de los sistemas de gestión ha producido un aumento de la necesidad de asegurar que los laboratorios que forman parte de organizaciones mayores o que ofrecen otros servicios, puedan funcionar de acuerdo con un sistema de gestión de la calidad que se considera que cumple la Norma ISO 9001 Por ello, se ha tenido el cuidado de incorporar todos aquellos requisitos de la Norma ISO 9001 que son pertinentes al alcance de los servicios de ensayo y de calibración cubiertos por el sistema de gestión del laboratorio.
Los laboratorios de ensayo y de calibración que cumplen esta Norma Internacional (ISO/IEC 17 025:06) funcionarán, por lo tanto, también de acuerdo con la Norma ISO 9001.

La conformidad del sistema de gestión de la calidad implementado por el laboratorio, con los requisitos de la Norma ISO 9001, no constituye por sí sola una prueba de la competencia del laboratorio para producir datos y resultados técnicamente válidos. Por otro lado, la conformidad demostrada con esta Norma Internacional tampoco significa que el sistema de gestión de la calidad implementado por el laboratorio cumple todos los requisitos de la Norma ISO 9001.

Es conveniente que los organismos de acreditación que reconocen la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración se basen en esta Norma Internacional para sus acreditaciones. El capítulo 4 establece los requisitos para una gestión sólida. El capítulo 5 establece los requisitos para la competencia técnica en los tipos de ensayos o de calibraciones que el laboratorio lleva a cabo.

La aceptación de los resultados de ensayo y de calibración entre países debería resultar más fácil si los laboratorios cumplen esta Norma Internacional y obtienen la acreditación de organismos que han firmado acuerdos de reconocimiento mutuo con organismos equivalentes que utilizan esta Norma Internacional en otros países.

El uso de esta Norma Internacional facilitará la cooperación entre los laboratorios y otros organismos y ayudará al intercambio de información y experiencia, así como a la armonización de normas y procedimientos.

Como resultado se acordó que el alineamiento de estas normas incluyera solamente un mínimo de cambios en la ISO/IEC17025 para asegurar que ISO 9001:2000 y 17025 fueran compatibles y que aquellos laboratorios que estuvieran cumpliendo con los requerimientos de ISO/IEC 17025, entonces automáticamente cumplieran con la ISO 9001

Esto efectivamente significa que los laboratorios pueden ser acreditados por la ISO/IEC 17025, o certificados por la ISO 9001 o ambas, pero el proceso de acreditación o certificación pueden ser dos acciones separadas.

Cambios generales y cambios en la introducción y el alcance.

Los cambios fundamentales están relacionados con:

- La clarificación de los requerimientos de la ISO/IEC 17025 no significa que todos los requerimientos responden automáticamente a la ISO 9001.
- Los cambios de los requerimientos fundamentales de la ISO/IEC 17025 reflejan el contenido de la ISO 9001, especialmente en términos de hacer mayor énfasis en la responsabilidad de la alta dirección, la necesidad de demostrar el comprometimiento en la efectividad de la mejora continua del sistema y permitir un incremento en la satisfacción del cliente.

- A través de esta norma, donde los cambios fundamentales se realizan sobre todo en el sistema de gestión que gobiernan las operaciones del laboratorio (que incluye la calidad, el sistema administrativo y técnico) la palabra sistema de gestión de la calidad ha sido reemplazada por sistema de gestión.

NOTA 1 El término "sistema de gestión" en esta Norma Internacional, designa los sistemas de la calidad, administrativos y técnicos, que rigen las actividades de un laboratorio.
NOTA 2 La certificación de un sistema de gestión a veces también se denomina registro.

Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración

1 Objeto y campo de aplicación

1.1 Esta Norma Internacional establece los requisitos generales para la competencia en la realización de ensayos o de calibraciones, incluido el muestreo. Cubre los ensayos y las calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el propio laboratorio.

1.2 Esta Norma Internacional es aplicable a todas las organizaciones que realizan ensayos o calibraciones. Éstas pueden ser, por ejemplo, los laboratorios de primera, segunda y tercera parte, y los laboratorios en los que los ensayos o las calibraciones forman parte de la inspección y la certificación de productos.
Esta Norma Internacional es aplicable a todos los laboratorios, independientemente de la cantidad de empleados o de la extensión del alcance de las actividades de ensayo o de calibración. Cuando un laboratorio no realiza una o varias de las actividades contempladas en esta Norma Internacional, tales como el muestreo o el diseño y desarrollo de nuevos métodos, los requisitos de los apartados correspondientes no se aplican.

1.3 Las notas que se incluyen proporcionan aclaraciones del texto, ejemplos y orientación. No contienen requisitos y no forman parte integral de esta Norma Internacional.

1.4 Esta Norma Internacional es para que la utilicen los laboratorios cuando desarrollan los sistemas de gestión para sus actividades de la calidad, administrativas y técnicas. También puede ser utilizada por los clientes del laboratorio, las autoridades reglamentarias y los organismos de acreditación cuando confirman o reconocen la competencia de los laboratorios. Esta Norma Internacional no está destinada a ser utilizada como la base para la certificación de los laboratorios.
Así, los laboratorios no pueden reclamar que porque ellos cumplan con los requisitos de la ISO 9001:2000, pueden ser acreditados por la ISO/IEC 17025.
El uso de la palabra ¨principios¨, es usada en el término normal que aparece en el diccionario y no necesariamente es igual a los principios de la gestión de la calidad como se establece en ISO 9000:2000

1.5 Si los laboratorios de ensayos y de calibración cumplen los requisitos de esta Norma Internacional, actuarán bajo un sistema de gestión de la calidad para sus actividades de ensayo y de calibración que también cumplirá los principios de la Norma ISO 9001. El anexo A proporciona referencias nominales cruzadas entre esta Norma Internacional y la Norma ISO 9001. Esta Norma Internacional cubre requisitos para la competencia técnica que no están cubiertos por la Norma ISO 9001.

NOTA 1 Podría ser necesario explicar o interpretar ciertos requisitos de esta Norma Internacional a fin de asegurarse de que los requisitos se aplicarán de manera coherente. En el anexo B se dan pautas para establecer aplicaciones para campos específicos (véase la Norma ISO/IEC 17011).

NOTA 2 Si un laboratorio desea ser acreditado para todas o para parte de sus actividades de ensayo y de calibración, debería seleccionar un organismo de acreditación que funcione de acuerdo con la Norma ISO/IEC 17011.

Cambios en los requisitos de gestión

En relación a los requisitos para la gestión del laboratorio, aparecen nuevos requerimientos para que la alta dirección asegure que se establezca un proceso de comunicación apropiado en el proceso de implementación del sistema de gestión y que la comunicación tenga lugar atendiendo a la efectividad en el sistema de gestión.

En relación a los requerimientos del sistema de gestión el laboratorio debe:
- Que los objetivos del sistema de gestión se revisen durante el proceso de revisión por la dirección
- - Que ellos puedan ser demostrados para asegurar la efectividad de la mejora contínua en el sistema de gestión

(4.2) Sistema de gestión

(4.2.1) El laboratorio debe establecer, implementar y mantener un sistema de gestión apropiado al alcance de sus actividades. El laboratorio debe documentar sus políticas, sistemas, programas, procedimientos e instrucciones tanto como sea necesario para asegurar la calidad de los resultados de los ensayos o calibraciones. La documentación del sistema debe ser comunicada al personal pertinente, debe ser comprendida por él, debe estar a su disposición y debe ser implementada por él.

(4.2.2)Las políticas del sistema de gestión del laboratorio concernientes a la calidad, incluida una declaración de la política de la calidad, deben estar definidas en un manual de la calidad (o como se designe). Los objetivos generales deben ser establecidos y revisados durante la revisión por la dirección. La declaración de la política de la calidad debe ser emitida bajo la autoridad de la alta dirección. Como mínimo debe incluir lo siguiente:

a) el compromiso de la dirección del laboratorio con la buena práctica profesional y con la calidad de sus ensayos y calibraciones durante el servicio a sus clientes;
b) una declaración de la dirección con respecto al tipo de servicio ofrecido por el laboratorio;

El propósito del sistema de gestión concerniente a la calidad

a) un requisito de que todo el personal relacionado con las actividades de ensayo y de calibración dentro del laboratorio se familiarice con la documentación de la calidad e implemente las políticas y los procedimientos en su trabajo;
b) el compromiso de la dirección del laboratorio de cumplir esta Norma Internacional y mejorar continuamente la eficacia del sistema de gestión.

NOTA Es conveniente que la declaración de la política de la calidad sea concisa y puede incluir el requisito de que los ensayos y las calibraciones siempre deben efectuarse de acuerdo con los métodos establecidos y los requisitos de los clientes. Cuando el laboratorio de ensayo o de calibración forme parte de una organización mayor, algunos elementos de la política de la calidad pueden estar en otros documentos.

4.2.3 La alta dirección debe proporcionar evidencias del compromiso con el desarrollo y la implementación del sistema de gestión y con mejorar continuamente su eficacia.
4.2.4 La alta dirección debe comunicar a la organización la importancia de satisfacer tanto los requisitos del cliente como los legales y reglamentarios.
4.2.5 El manual de la calidad debe contener o hacer referencia a los procedimientos de apoyo, incluidos los procedimientos técnicos. Debe describir la estructura de la documentación utilizada en el sistema de gestión.
4.2.6 En el manual de la calidad deben estar definidas las funciones y responsabilidades de la dirección técnica y del responsable de la calidad, incluida su responsabilidad para asegurar el cumplimiento de esta Norma Internacional.
4.2.7 La alta dirección debe asegurarse de que se mantiene la integridad del sistema de gestión cuando se planifican e implementan cambios en éste.
Se introduce una nueva cláusula.
4.10 Mejora
El laboratorio debe mejorar continuamente la eficacia de su sistema de gestión mediante el uso de la política de la calidad, los objetivos de la calidad, los resultados de las auditorías, el análisis de los datos, las acciones correctivas y preventivas y la revisión por la dirección

4.7 Servicio al cliente

4.7.1 El laboratorio debe estar dispuesto a cooperar con los clientes o sus representantes para aclarar el pedido del cliente y para realizar el seguimiento del desempeño del laboratorio en relación con el trabajo realizado, siempre que el laboratorio garantice la confidencialidad hacia otros clientes.

NOTA 1 Dicha cooperación puede referirse a los aspectos siguientes:
a) permitir al cliente o a su representante acceso razonable a las zonas pertinentes del laboratorio para presenciar los ensayos o calibraciones efectuados para el cliente;
b) la preparación, embalaje y despacho de los objetos sometidos a ensayo o calibración, que el cliente necesite con fines de verificación.

NOTA 2 Los clientes valoran el mantenimiento de una buena comunicación, el asesoramiento y los consejos de orden técnico, así como las opiniones e interpretaciones basadas en los resultados. Es conveniente mantener la comunicación con el cliente durante todo el trabajo, especialmente cuando se trate de contratos importantes. Es conveniente que el laboratorio informe al cliente toda demora o desviación importante en la ejecución de los ensayos y/o calibraciones

5.2.2 La dirección del laboratorio debe formular las metas con respecto a la educación, la formación y las habilidades del personal del laboratorio. El laboratorio debe tener una política y procedimientos para identificar las necesidades de formación del personal y para proporcionarla. El programa de formación debe ser pertinente a las tareas presentes y futuras del laboratorio. Se debe evaluar la eficacia de las acciones de formación implementadas.

5.9.2 Los datos de control de la calidad deben ser analizados y, si no satisfacen los criterios predefinidos, se deben tomar las acciones planificadas para corregir el problema y evitar consignar resultados incorrectos.

Conclusiones

1- No se producen cambios esenciales en los requisitos técnicos
2- Los cambios fundamentales están relacionados con:
   - La Mejora continua del sistema de gestión
   - La comunicación interna
   - El sistema de comunicación con el cliente

Se puede concluir que los laboratorios que ya tienen descrito y controlado sus procesos en el laboratorio como ya se establece en la nueva edición de la ISO/IEC 17025, solamente harán ajustes menores para hacer que los procedimientos existentes aseguren que las nuevas orientaciones en los requisitos de la gestión sean cumplidas.

Referencias Bibliográficas

ISO Guide 2-1993, "General terms and their definitions concerning standardization and related activities."
ILAC, International Laboratory Accreditation Conference, "Validity of Laboratory Test Data: The Application of ISO Guide 25 and ISO 9002 to Laboratories", June 1993.
Anthony J. Russell, "Laboratory Accreditation in a World-Wide Perspective", Pittcon, March 7, 1994.
ILAC, Committee 1 on Commercial Applicactions, "Conformity Assessment: Testing, Quality Assurance, Certification and Accreditation", February 1994.
Malcolm Bell, "Laboratory Accreditation", December 1994 issue of TELARC Talk.
Lynne Neumann, "Validity of test data: The Application of ISO Guide 25 or ISO 9002", ILAC Newsletter, Supplement 8, December 1995.
ILAC, "ISO "9000 News", vol 2, nro. 3, Mayo 1993.
NC ISO/IEC 17025:2006, " Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración", octubre, 2006
IRAM 301:2000, "Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración".

ISO 9001:2000, "Quality Management Systems – Requirements".
ISO 9004:2000, "Quality Management Systems – Guidelines for Performance Improvement".

ETANOL COMBUSTIBLE. UN ANÁLISIS CRÍTICO

Alejandro J. Abril

UIP de la Celulosa del Bagazo, Cuba-9, Comunidad P. Noriega. Apartado 8. Quivicán 33500 P. Habana. investc9@enet.cu

RESUMEN

El empleo del etanol como aditivo en el combustible automotor, se incrementa cada vez más, debido al crecimiento mantenido en los precios del petróleo y a sus ventajas de poder mezclarse con la gasolina en altas proporciones con mejoras en el índice de octano, obtenerse por tecnologías conocidas y de bajo nivel de complejidad y poder emplear la infraestructura existente para la distribución de la gasolina.
Las demandas crecientes de etanol, han creado una situación muy favorable para el desarrollo de nuevos procesos, basados en el empleo de jugos de caña de forma directa, granos como el maíz, trigo y otros productos ricos en almidón y a partir de biomasa lignocelulósica.
Un 4% del consumo mundial de gasolina en el 2007 (1300 MMM de litros), se sustituyó por etanol. Una adición promedio de un 10% de etanol a la gasolina, incrementaría su demanda a más del doble de la producción actual. Estas demandas no podrán ser cubiertas mediante la obtención de etanol a partir de azúcares o granos, las que alcanzarán su límite en pocos años. Solamente se podrán cubrir a partir de biomasa lignocelulósica.
Se describe de forma general las etapas y características del proceso de obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica y los principales problemas vinculados a su producción, entre los que se encuentran la formación de CO_2 y su aprovechamiento, los residuales del proceso y los posibles efectos nocivos a la salud y el medio ambiente de los residuos de la combustión del etanol y sus mezclas con gasolina.
Haciendo un análisis de la tierra disponible para la agricultura en el mundo y a pesar de las perspectivas y altos rendimientos de etanol que se podrían obtener a partir de la biomasa lignocelulósica, se concluye que el etanol solamente podrá jugar el papel de aditivo de la gasolina, para extender su uso y nunca podría ser un sustituto de ésta, a excepción de algunos países como Brasil por un tiempo determinado.
Las perspectivas del etanol como combustible automotor parecen estar ligadas a las de la gasolina, por lo que no parece ser una opción ventajosa a largo plazo.

Palabras claves: Etanol, lignocelulosa, bagazo de caña, biomasa lignocelulósica

ABSTRACT

The use of the ethanol as gasoline's additive are increased in the present time, due to the increment maintained in the prices of petroleum and their advantages of being able to be mixed with gasoline in high proportions with improvements in the index of octane, to be obtained by well-known technologies and of low-level of complexity and the possibility to use the existent infrastructure for the distribution of gasoline.
The growing demands of ethanol have created a very favourable situation for the development of new processes, based on the employment of juices of cane in a direct way, grains like the corn, wheat and other rich products in starch and from lignocellulosic biomass.

In 2007, 4% of the world consumption of gasoline (1300 MMM of liters), has been substituted by ethanol. An addition average of 10% of ethanol to gasoline would increase its demand to more than double of the current production. These demands won't be able to be covered by means of the ethanol obtaining from sugars or grains, those that will reach their limit in few years. These growing demands will only be able to be covered with the production of ethanol from lignocellulosic biomass.
It is described in a general way the stages and characteristic of the process of obtaining of ethanol from lignocellulosic biomass and the main problems related to their production, among those that are the formation of CO_2 and their use, the residual ones generated in the process and the possible noxious effects to the health and the environment of the residuals of the combustion of ethanol and their mixtures with gasoline.
Making an analysis of the available earth for the agriculture in the world and in spite of the perspectives and high yields of ethanol that could be obtained from the lignocellulosic biomass, it is concluded that the ethanol will only be able to play the role of additive of the gasoline, to extend its use and could never be a substitute of this, with the exception of some countries like Brazil.
The perspectives of the ethanol as motor fuel seem to be bound to those of the gasoline, for what doesn't seem to be a long term advantageous option.

Key words: Ethanol, lignocellulose, sugar cane bagasse, lignocellulosic biomass

INTRODUCCIÓN

El empleo del etanol como aditivo en el combustible automotor, se incrementa cada vez más, debido al incremento mantenido en los precios del petróleo y sus derivados y a sus ventajas de poder mezclarse con la gasolina en altas proporciones con mejoras en el índice de octano de la mezcla, obtenerse por tecnologías conocidas y de bajo nivel de complejidad y poder emplear la infraestructura existente para la distribución de la gasolina.
Las posibilidades del etanol como aditivo o combustible automotor, se conocen desde prácticamente el inicio de la era del automóvil. Posteriormente, a partir de los años 70, Brasil inició un amplio programa de desarrollo del etanol anhidro como aditivo o sustituto de la gasolina, en un momento en que aún el precio del etanol no competía con el de la gasolina.
Las demandas crecientes de etanol, han creado una situación muy favorable para el desarrollo de nuevos procesos, basados en el empleo de jugos de caña de forma directa, granos como el maíz, trigo y otros productos ricos en almidón y a partir de biomasa lignocelulósica.
Se denomina bioetanol al obtenido a través de la fermentación alcohólica de mieles y jugos ricos en sacarosa de fábricas azucareras, y a partir de productos agrícolas ricos en almidón y a partir de materiales lignocelulósicos. No se incluye al etanol obtenido por vía petroquímica y a partir del gas natural.
Es posible obtener etanol a partir de la biomasa vegetal. Cualquier producto que contenga azúcares o hidratos de carbono fermentables, almidón, celulosa o hemicelulosas, puede servir como materia prima para la obtención de alcoholes. Las materias primas se clasifican en tres grupos: azucaradas, amiláceas (cereales, tubérculos y otros) y lignocelulósicas, (maderas, plantas anuales) (Mateos 2006).
La materia prima de mejores características es la caña de azúcar, ya que puede ser autosuficiente energéticamente e incluso aportar energía eléctrica a la red. Su crecimiento estará limitado por la disponibilidad de mieles y azúcar.
Se ha estimado un valor de 8 para la relación salida/entrada entre la energía liberada durante la combustión de etanol y la energía necesaria para su producción a partir de mieles y azúcar de caña, considerando todo el ciclo de vida del producto desde la extracción de las materias primas y los insumos requeridos, pasando por su transporte, hasta el proceso de transformación hasta etanol. (Berg, 2001).
La producción de etanol a partir de granos está muy cuestionada por sus implicaciones éticas al convertir alimentos en combustibles para automóviles y su efecto negativo en el incremento en la disponibilidad y

precio de los granos. El proceso se basa en la cocción, hidrólisis y fermentación de los almidones que contienen.
La relación salida/entrada entre la energía liberada durante la combustión de etanol y la energía necesaria para su producción es de 1,1-1,2 (Prakash 1998) por lo que su obtención es ineficiente desde el punto de vista energético.
En el mundo se llevan a cabo gran cantidad de estudios y proyectos para desarrollar la producción a escala comercial de etanol a partir de biomasa lignocelulósica. Los materiales que más se han investigado son la madera y los residuos forestales, papel reciclado y residuos de la industria papelera, bagazo de caña, desechos agrícolas (hojas, ramas, hierba, frutas, paja, etc.) así como residuos sólidos urbanos.
El etanol obtenido de biomasa lignocelulósica, (presentes en todos los vegetales en una estructura compuesta fundamentalmente de celulosa, hemicelulosas y lignina), consiste en la hidrólisis de la celulosa (a glucosa) y de las hemicelulosas a xilosa y otros azúcares y posterior fermentación a etanol.
En el presente trabajo, se analizan las posibilidades futuras del empleo del bioetanol como sustituto de la gasolina, considerando el desarrollo de tecnologías de obtención técnica y económicamente viables a partir de biomasa lignocelulósica, así como los problemas fundamentales relacionados con el empleo del etanol como combustible automotor.

DESARROLLO

Mercado del Etanol

En la Figura 1 se muestran las producciones de etanol, hasta el 2007 (2008 estimado), y el correspondiente a etanol combustible, donde se destaca que la mayor parte de la producción actual se emplea como combustible automotor.
En la Figura 2, aparecen las producciones Brasil y Estados Unidos y el resto del mundo, entre el 2000 y el 2008, donde puede apreciarse que en estos dos países se concentra cerca del 86% de la producción mundial.
Según el informe del estado global de los renovables en 2007 divulgado en Washington (ren 21, 2008), un 4% del consumo mundial de gasolinas en el 2007 (1300 MMM de litros), ha sido sustituido por el etanol,
Una adición promedio de un 10% de etanol a la gasolina, incrementaría su demanda a más del doble de la producción actual. Estas demandas no podrán ser cubiertas mediante la obtención de etanol a partir de azúcares o granos, las que alcanzarán su límite en pocos años. Estas demandas crecientes solamente se podrán cubrir con la producción de etanol a partir de residuos lignocelulósicos (O. Rojas, 2006).
Países como estados unidos, brasil y otros países sudamericanos ven en los biocombustibles la posibilidad de reducir su dependencia a las importaciones de petróleo, aunque los combustibles orgánicos aún no representen un ahorro significativo con respecto a los hidrocarburos.

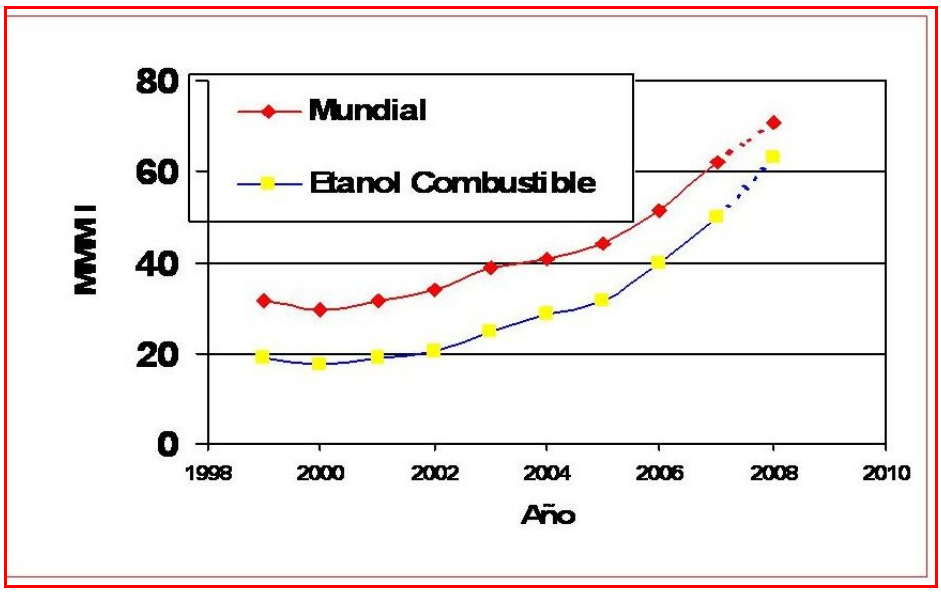


Figura 1. Producción mundial de etanol (OIA 2008)

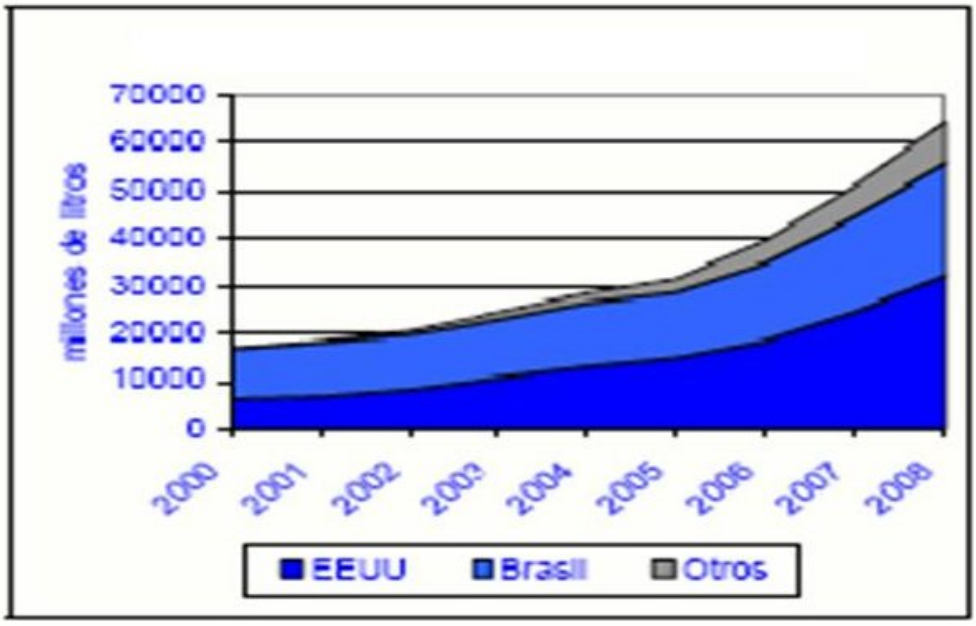


Figura 2. Producción de etanol de Brasil, Estados Unidos y el resto del mundo(FO Licht´s 2007)

Obtención de etanol a partir de materiales lignocelulósicos

Por su composición química, la biomasa lignocelulósica es muy diferente de los productos con alto contenido de azúcares o almidón. La estructura de estos materiales, compuesta fundamentalmente por celulosa, hemicelulosas y lignina, hace que los procesos empleados para la obtención de etanol, tengan que ajustarse de acuerdo a las características y propiedades de estos componentes (Gardner 1974, Claassen 1999).

La celulosa y hemicelulosas, deben ser hidrolizadas a azúcares simples, para luego ser fermentados a etanol. La fermentación de la glucosa hidrolizada a partir de la celulosa es un proceso establecido. Sin embargo, la

fermentación de las pentosas hidrolizadas de las hemicelulosas, es un proceso que aún no es viable económicamente, por el costo elevado de las enzimas requeridas.
La lignina, que constituye el 25% aproximado del material, es un polifenol y no puede ser fermentada a etanol, así como los extractivos y otros componentes presentes. La lignina además produce un efecto negativo en los procesos fermentativos, por lo que cualquier proceso viable de obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica, tiene que incluir la extracción de la lignina y su aprovechamiento en la obtención de productos de valor y/o generación de energía (Abril 2006).
Esta situación crea un problema adicional, ya que un proceso donde se produzcan varios productos, requiere tener un mercado seguro para todos, a fin de evitar acumulaciones de uno de ellos o crear un nuevo residual.
La lignina es fuente de una gran cantidad de productos de gran valor agregado, así como una posible fuente de energía que pudiera emplearse total o parcialmente en cubrir las demandas energéticas de una planta productora de etanol a partir de biomasa y otros productos.
La relación salida/entrada entre la energía liberada durante la combustión de etanol y la energía necesaria para su producción a partir de residuos lignocelulósicos es de 6, un poco menor que la del proceso con azúcares y mieles, pero muy superior a la de granos.
A pesar de la gran disponibilidad de materiales y residuos lignocelulósicos, es decisivo el proceso de recolección, manipulación, almacenamiento y preparación del material, así como la concentración del mismo en t/ha.año. Estos aspectos pueden hacer o no un proceso viable.
El costo actual del etanol obtenido por esta vía es en la actualidad superior al de los procesos con azúcares y granos.
El proceso general de obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica se muestra en la figura 3.

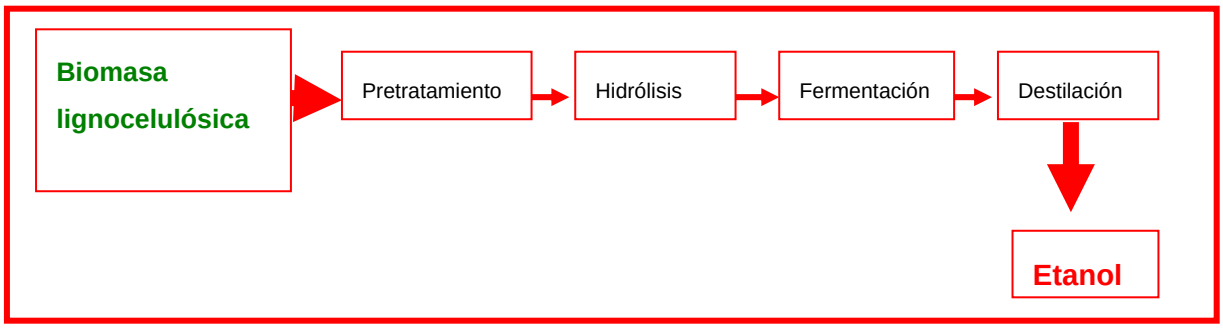


Figura 3. Proceso general de obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica

Pretratamiento
La etapa distintiva de este proceso es el pretratamiento, que consiste en las operaciones de recolección, transporte y manipulación, almacenamiento, molida o astillado y otras, para reducir el tamaño de las partículas, lograr la apertura del material fibroso, convertirlo en una suspensión que se pueda bombear y facilitar la posterior penetración de los agentes químicos de hidrólisis (Millett, 1975).
Incluye también un tratamiento termoquímico, con el fin de lograr un ablandamiento de la lignina y las hemicelulosas que facilite el posterior ataque de las enzimas o microorganismos (Lynd 1996).
Para el pretratamiento se han propuesto y desarrollado diferentes métodos, los cuales se relacionan en la Tabla I .

Tabla I. Métodos empleados para el pretratamiento de la biomasa lignocelulósica para la obtención de etanol

Métodos	Procedimiento	Observaciones	Ejemplos	Referencias
Físicos				
Pulverizado mecánico	molida	Molinos de bolas, de cuchillas o martillos	Residuos lignocelulósicos	Sund 2002
Pirólisis	T>300^{0}C	Hidrólisis con H_2SO_4 de los residuos	Maderas y residuos de algodón	Yu 2003
Físico-Químicos				
Explosión con vapor	Vapor saturado a 160-260^{0}C, alta presión en tiempos cortos y descompresión	Hidrólisis de hemicelulosas y algo de celulosa. Formación de inhibidores..	Maderas, bagazo de caña, paja de arroz.	Sund 2002 Söderström 2003, Lynd 2002.
Agua líquida caliente LHW	Agua 170-230^{0}C, a presión, 1-46 min.	Hidrólisis de hemicelulosas y algo de celulosa.	Bagazo de caña	Laser 2002. Lynd 2002.

Sin embargo, ninguno de los métodos de pretratamiento propuestos se puede aplicar en forma genérica a las diferentes materias primas (Claassen et al., 1999). Esto justifica la realización de análisis detallados de estas tecnologías en cada caso particular. Las etapas de pretratamiento e hidrólisis, constituyen unos de los principales problemas vinculados a la producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica (Muzzy,1983).

El complejo lignocelulósico está compuesto principalmente de una matriz de carbohidratos compuesta de celulosa y lignina enlazada por cadenas de hemicelulosa. Los pretratamientos Físicos y Físico-Químicos, tienen como objetivo desintegrar esta matriz de tal manera que la celulosa reduzca al máximo su grado de cristalinidad y aumente la celulosa amorfa, que es la más adecuada para el posterior ataque enzimático (Cowling 1976). Adicionalmente, la mayor parte de la hemicelulosa se hidroliza durante el pretratamiento y la lignina se libera o puede incluso descomponerse.

En una etapa posterior, la celulosa liberada se somete a hidrólisis enzimática con celulasas exógenas, lo cual hace que se obtenga una solución de azúcares fermentables que contiene principalmente glucosa, así como pentosas resultantes de la hidrólisis inicial de la hemicelulosa. Estos azúcares son posteriormente convertidos a etanol mediante microorganismos que pueden utilizar uno o varios de los azúcares presentes en el material lignocelulósico pretratado e hidrolizado.

El pretratamiento permite que los rendimientos en la hidrólisis de celulosa aumenten de menos del 20% de los rendimientos teóricos a valores mayores al 90% (Lynd, 1996).

Hidrólisis

La hidrólisis se puede realizar catalizada por ácidos, bases, calor y con la ayuda de microorganismos y tiene por objetivo convertir la masa viscosa obtenida en la etapa anterior en una solución de azúcares en forma de oligómeros para después convertirlos en azúcares monoméricos, en general glucosa (C6) y xilosa (C5).

Los pretratamientos e hidrólisis ácidos son de los más empleados en los procesos industriales y tienen la ventaja de que separan azúcares monoméricos de las hemicelulosas y exponen a las fibras celulósicas a la acción hidrolítica posterior. Tiene la desventaja de generar algunos compuestos inhibidores.

Las sustancias inhibidoras se originan como resultado de la hidrólisis de los diferentes componentes, de los ácidos orgánicos esterificados de la hemicelulosa, y de los derivados fenólicos solubilizados de la lignina (Lynd, 1996; Palmqvist 2000a, b). Por eso, y dependiendo del tipo de pretratamiento e hidrólisis utilizados, es necesario llevar a cabo la detoxificación de las corrientes que van a ser sometidas a fermentación.

Fermentación

Se realiza con el objetivo de fermentar los azúcares monoméricos (glucosa (C6) y xilosa (C5)) a etanol (Hahn-Hägerdal 1994). Los tratamientos enzimáticos son los preferidos (Zaldivar 2001). Las opciones a utilizar son las siguientes:

- **Hidrólisis y fermentación separadas** (SHF). Tiene la ventaja de que cada operación puede realizarse en condiciones óptimas de temperatura y pH, pero la acumulación de glucosa como resultado de la hidrólisis, inhibe la actividad de la celulasa.
- **Sacarificación y fermentación simultáneas** (SSF), usando celulasas de fuentes externas. En este caso, la glucosa obtenida es transformada rápidamente a etanol (Chandrakant 1998). Este proceso tiene una mayor velocidad de hidrólisis y mayor rendimiento, necesita una carga menor de enzima y reduce el riesgo de contaminación. Se necesita sin embargo un compromiso entre la temperatura de operación y la velocidad total del proceso, ya que el paso de hidrólisis es más lento que la fermentación. Una adaptación del proceso SSF, está patentada y se conoce como el proceso Gula SSF (Gauss 1976)
- **Sacarificación y fermentación separadas** en la cual los microorganismos también producen celulasa, llamado también como Conversión microbiana directa. Se emplea clostridia anaeróbica, la cual crece a altas temperaturas produciendo enzimas celulolíticas que hidrolizan el sustrato y los azúcares generados son convertidos inmediatamente en etanol. Tiene las desventajas de un bajo rendimiento en etanol, provocado por la formación de subproductos, la baja tolerancia del microorganismo al etanol y el limitado crecimiento en los siropes hidrolizados.

Problemas vinculados a la producción de etanol.

La formación de CO_2

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$$

La ecuación general de obtención de etanol a partir de la glucosa proveniente de cualquier fuente genera a un 100% de rendimiento para 1 t de glucosa, 0,51 t de etanol y 0,49 t de CO_2. En general, el CO_2 se aprovecha parcialmente en la producción de hielo seco. El incremento de la producción de etanol, hará muy difícil el aprovechamiento del CO_2 en las cantidades gigantescas que se obtendrá. Se reporta su uso en la obtención de bicarbonato de sodio (Procana 2007), pero esa solución solamente permitirá aprovechar una pequeña fracción.

La producción de etanol sin una solución para el CO_2 generado, implicaría el envío a la atmósfera del mismo, lo cual descartaría esta producción como “amigable” con el medio ambiente.

Disposición de residuales

Una de las fuerzas motrices del desarrollo de los procesos de obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica, es la preservación del medio ambiente (Szczodrak 1996). Los procesos de obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica, pueden generar grandes cantidades de desechos como los siguientes:

- Productos químicos que es necesario recuperar o disponer
- Biomasa celular residual de la fermentación
- Agua residual del proceso
- Vinazas, el residual de la destilación. Se ha calculado que una planta de 100 millones de litros de etanol al año, genera una contaminación semejante a una ciudad de 1,4 millones de habitantes.

La vinaza tiene varias aplicaciones. Sin embargo, al incrementarse la producción de etanol, va a ser difícil buscar mercado para los posibles productos, para que no constituya un problema medioambiental.

El etanol en mezclas con gasolina

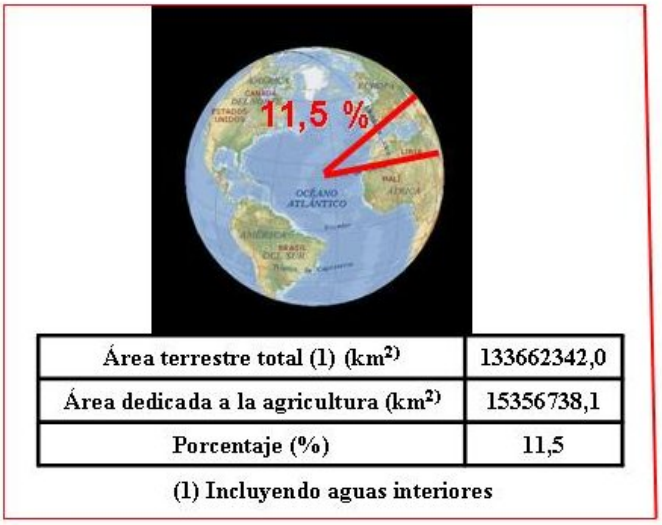
La única ventaja clara de la mezcla de etanol con gasolina es económica, debido al alto precio de la misma. Sus implicaciones medioambientales no están claras. Existen opiniones de que su combustión en mezcla con la gasolina, puede generar acetaldehído, ozono y compuestos cancerígenos. (Jacobson, M. 2007)

Posibilidades del bioetanol como sustituto de la gasolina

El "conflicto" de la tierra

En la Figura 4, se muestra el porcentaje actual del área mundial dedicado a la agricultura, que representa solamente el 11,5% del total. Incluye el suelo con cultivos no permanentes y suelo con cultivos permanentes y a los prados temporales para segar o pastos (FAO 2006).

En la Tabla II aparecen los 30 países con mayor cantidad de tierras dedicadas a la agricultura (FAO 2006) (en el orden de 100 000 km^2 y mayor). Los países con mayores áreas dedicadas, coinciden con los de mayor extensión, pero con porcentajes variables de utilización, que dependen de varios factores como son áreas desérticas, pantanos, condiciones climáticas extremas, densidad de población y otros factores.



Área terrestre total (1) (km^2)	133662342,0
Área dedicada a la agricultura (km^2)	15356738,1
Porcentaje (%)	11,5

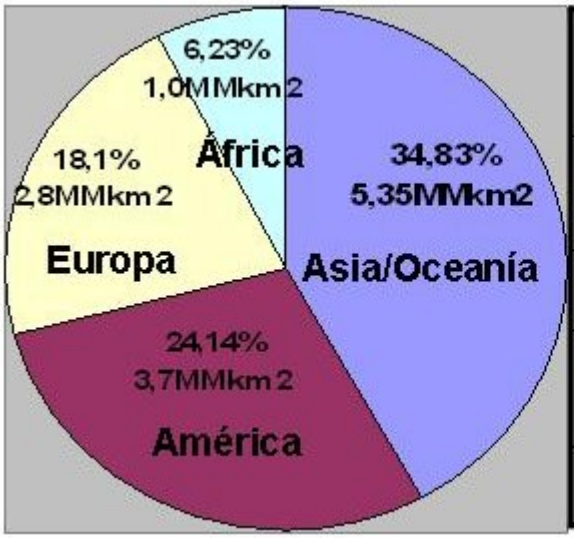
(1) Incluyendo aguas interiores

Figura 4. Área terrestre dedicada a la agricultura

Tabla II. 30 países con mayores tierras dedicadas a la agricultura

País	% D. Ag.	Área D. Ag. km^2	País	% D. Ag.	Área D. Ag. km^2
Estados Unidos	19,2	1886713,0	Pakistán	26,1	207780,8
India	57,1	1807555,3	Francia	35,6	193651,5
China	16,6	1588835,8	Irán	11,2	184576,0
Rusia	7,6	1297715,2	Sudán	7,3	182923,4
Brasil	7,9	675244,9	Tailandia	34,6	177537,8
Canadá	5,7	569126,2	Sudáfrica	12,9	157262,6
Australia	6,2	476302,6	Níger	11,4	144438,0
Indonesia	19,0	361863,3	Etiopía	11,8	133738,8
Ucrania	57,6	347731,2	Polonia	42,1	128825,8
Nigeria	36,7	339022,9	Alemania	34,5	123154,7

Argentina	**10,6**	**294722,4**	**Myanmar**	**16,7**	**112984,2**
México	**14,3**	**280906,6**	**Italia**	**36,4**	**109681,6**
Turquía	**33,8**	**263454,8**	**Filipinas**	**35,9**	**107700,0**
Kazajstán	**8,4**	**228253,2**	**Rumania**	**42,9**	**101887,5**
España	**42,1**	**213021,8**	**Bangladesh**	**64,7**	**95477,8**



Total cult. 30 países (km2)	12792089,7
Total cult. mundo (km2)	15356738,1
%	83,3
Área total 30 países (km2)	89991706
% total	67

Figura 5. Distribución por continentes del área dedicada a la agricultura por los 30 países seleccionados.

En la Figura 5, se muestra la distribución por continentes del área dedicada a la agricultura por los 30 países seleccionados (FAO 2006). Se puede apreciar que estos países poseen el 83,3% del total del área cultivable del mundo, a pesar que representan el 63% del área total mundial. Entre estos 30 países, por continentes, Asia y Oceanía y América presentan las mayores áreas cultivables.

Es posible que en los próximos años, pueda producirse un incremento en el área cultivable en algunos países y regiones, en especial en África, América Latina y Asia/Oceanía, pero a su vez, factores como la urbanización, desertificación, disminución de áreas costeras, deforestación y otros, provocan una disminución del área cultivable, por lo que el balance global puede ser negativo.

En la actualidad, es necesario planificar a mediano y largo plazo la estrategia de utilización de la tierra de manera racional para cubrir las necesidades de alimentación, urbanización, generación de energía, áreas de bosques y represas y lagos artificiales para el almacenamiento de agua dulce.

El bioetanol lignocelulósico como sustituto de la gasolina

A continuación se muestran las reacciones de obtención de etanol a partir de celulosa (glucosa) y hemicelulosas (xilosa). A partir de estas ecuaciones y las consideraciones que aparecen en la Tabla III, se puede calcular la cantidad de etanol que podría producirse en el 10% de la tierra cultivable del mundo.

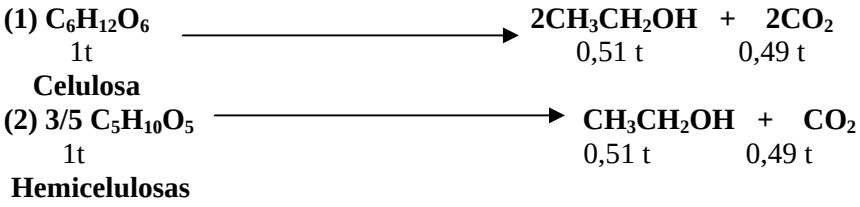


Tabla III. Estimados de producción de etanol a partir de pinos y caña de azúcar en el 10% de las tierras cultivables del mundo (EtOH: Etanol)

Área cultivable en el mundo (ha)	**1535,7 Millones**	
10% del área cultivable mundial(ha)	**153,6 Millones**	
Plantación	**Pinos**	**Caña azúcar(*)**
Área a cultivar (ha)	**76,8 MM**	**76,8 MM**
Rendimiento biomasa seca	**15 t/ha/año**	**60 t/ha/año.**
Contenido de holocelulosa	**70%**	**-**
Rendimiento de conversión en EtOH	**80%**	**-**
Índice de obtención de EtOH	**5355 L/ha/año**	**7800 l/ha/año**
Total de EtOH en 76,8 MM ha	**411264 MM L/año**	**599040 MM L/año**
Total	**1010304 MM de L/año**	
Demanda estimada EtOH 2020(**)	**2000 000 MM Litros**	

(*)Uso de azúcar, bagazo y miel. Estimado 130 L etanol por tonelada de caña.
(**)Estimado 2020, Asumiendo un creimiento anual del 4%

A pesar de los altos rendimientos de etanol considerados, solamente se podrían cubrir el 50% de las demandas de gasolina previstas para el 2020, por lo que el etanol solamente podrá jugar el papel de aditivo, para extender su uso y nunca podría ser un sustituto de ésta, a excepción de algunos países como Brasil por un tiempo determinado.
Las perspectivas del etanol como combustible automotor parecen estar ligadas a las de la gasolina, por lo que no parece ser una opción ventajosa a largo plazo.

CONCLUSIONES

- La biomasa lignocelulósica tiene perspectivas como fuente para la producción de etanol y asimilar las demandas crecientes del mismo. Los procesos productivos a escala industrial aún están en desarrollo.
- El empleo del etanol como combustible automotor tiene aspectos relacionados con su impacto medioambiental que no están aún resueltos, en especial los productos de su combustión, la disposición de las vinazas y del CO2 producido.
- Solamente el 11,5% del total de la superficie terrestre son tierras cultivables, por lo que su empleo debe ser seleccionado cuidadosamente, teniendo en cuenta las necesidades prioritarias de la alimentación.
- El etanol solamente podrá jugar el papel de aditivo de la gasolina, para extender su uso y nunca podría ser un sustituto de ésta, a excepción de algunos países como Brasil por un tiempo determinado.
- Las perspectivas del etanol como combustible automotor parecen estar ligadas a las de la gasolina, por lo que no parece ser una opción ventajosa a largo plazo.

REFERENCIAS

Abril, A. (2006). Monografía "Etanol a partir de biomasa lignocelulósica". Ed. CYTED. Habana, Cuba. ISBN 978 959-71 65-22-4.

Berg C. (2001) World Fuel Ethanol. Analysis and Outlook. www.agra-europe.co.uk/FOLstudies/ FOL-Spec04.html (2007.8.13)

Chandrakant P. Bisaria VS (1998) Simultaneous bioconversion of cellulose and hemicellulose to ethanol. Crit Rev Biotechnol 18:295-331

Claassen PAM, van Lier JB, López Contreras AM, van Niel EWJ, Sijtsma L, Stams AJM, de Vries SS, Weusthuis RA (1999) Utilisation of biomass for the supply of energy carriers. Appl. Microbiol. Biotechnol. 52: 741-755.

Cowling, E.B. and Kirk, T.K. (1976) Properties of cellulose and lignocellulosic materials as substrates for enzymatic conversion processes. Biotechnol. Bioeng. Symp. 6, 95-123.

FAO (2006) Base de Datos FAOSTAT www,fao.org Tomado de Enciclopedia Encarta 2007.

FO Licht´s (2007)World Ethanol and biofuels Report, vol 6, No 4/23.10.2007, citado Notietanol 01,08 ICIDCA www.icidca.cu (2008.1.08)

Gardner, K.H. and Blackwell, J. (1974) The hydrogen bonding in native cellulose. Bioch. Bioph. Acta. 343, 232-237.

Gauss WF. Suzuki S. Takagi M (1976) Manufacture of alcohol from cellulosic material using plural fermenters. (U.S. Pat. 3,990,944). USA (1976.10.05)

Hahn-Hägerdal B. Jeppsson H. Skoog K. Prior BA (1994) Biochemistry and physiology of xylose fermentation by yeast. Enzyme Microb Technol 16:933-943

Jacobson, M. 2007 Etanol ¿contamina más que la gasolina? www.cnnexpansion.com (2007.4.19)

Laser M, Schulman D, Allen SG, Lichwa J, Antal Jr MJ, Lynd LR (2002**)** A comparison of liquid hot water and steam pretreatments of sugar cane bagasse for bioconversion to ethanol. Bioresource Technol. 81: 33-44.

Lynd L. R (1996) Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment and policy. Annu Rev Energy Environ 21:403-465

Lynd L. R, Weimer PJ, van Zyl WH, Pretorious IS (2002) Microbial cellulose utilization: Fundamentals and biotechnology. Microbiol. Mol. Biol. R. 66: 506-577.

Mateos Moreno Isabel (2006) Aprovechamiento De Residuos Agrarios ttp://www.eeci.net. biobase - http://www.ciemat.es/eng/proyectos/pderbiocombus (2007.08.13)

Millett, M.A.; Baker, A.J. and Satter, L.D. (1975) Pretreatments to enhance chemical, enzymatic and microbiological attack of cellulosic materials. Biotechnol. Bioeng. Symp. 5,193-219.

Muzzy, J.D.; Roberts, R.S.; Fieber, C.A.; Faass, G.S. and Mann, T.M. (1983) Pretreatment of hardwood by continous hydrolysis. In: Wood and agricultural residues. J. Soltes, Ed. Academic Press. pp. 351-368.

OIA (Organización Internacional del Azúcar) (2008) Informe sobre Perspectiva Trimestral de Mercado MECAS(08)08. citado por NOTIETANOL N° 10 – Mayo del 2008 www.icidca.cu (2008.6.15)

Palmqvist E, Hahn-Hägerdal B (2000a) Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. I: inhibition and detoxification. Bioresource Technol. 74: 17-24.

Palmqvist E, Hahn-Hägerdal B (2000b) Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. II: inhibitors and mechanisms of inhibition. Bioresource Technol. 74: 25-33.

Prakash R, Henham A, Bhat IK (1998) Net energy and gross pollution from bioethanol production in India. Fuel 77: 1629-1633.

Procana (2007) http:// Procana.com, (2007.10.06)

Red para las energías renovables (2008) (REN 21) y Conferencia Internacional de Energías Renovables de Washington (Abril ,Wirec 2008), www.globalenergy.es 27.05.08)

Rojas,O, (2006) Universidad del Estado de Carolina del Norte EE.UU. Conferencia Magistral Congreso Iberoamericano de Investigaciones en Celulosa y Papel. Chile.

Söderström J, Pilcher L, Galbe M, Zacchi G (2003) Two-step steam pretreatment of softwood by dilute H2SO4 impregnation for ethanol production. Biomass Bioenerg. 24: 475-486.

Sun Y, Cheng J (2002) Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. Bioresource Technol. 83: 1-11.
Szczodrak J. Fiedurek J. (1996) Technology for conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. Biomass and Bioenergy 10:367-375
Yu Z, Zhang H (2003) Pretreatments of cellulose pyrolysate for ethanol production by Saccharomyces cerevisiae, Pichia sp. YZ-1 and Zymomonas mobilis. Biomass Bioenerg. 24: 257-262.
Zaldivar J. Nielsen J. Olsson L. (2001) Mini-Review Fuel ethanol production from lignocellulose: a challenge for metabolic engineering and process integration. App Microbiol Biotechnol 56:17-34

AUTOMATIZACIÓN DE LA SOLERA BODEGAS VIGÍA EN EL CERALBE

Mayra Capote Arritola[1], Idania Blanco Carvajal

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca No 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón. Ciudad de La Habana Cuba.
E.mail: idania.blanco@icidca.edu.cu

RESUMEN

En una fábrica de ron, una de las áreas más importante es la solera, donde se lleva a cabo el sistema de añejamiento o envejecimiento de las bebidas, dentro de los toneles, tras encontrarse en unas condiciones ambientales dadas, y que repercute fundamentalmente en una mejora en sus propiedades organolépticas, con la aparición de aromas y sabores característicos. Por esta razón, se debe tener un control estricto de cada uno de los toneles o barriles que contienen las bases o caldos que están almacenados en los mismos.

El Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE) perteneciente al Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), del Ministerio del Azúcar, cuenta con una solera en el área experimental de producción Bodegas Vigía. La misma llevaba el control de su solera de forma manual al contar con una pequeña producción. Al incrementarse los niveles productivos y con ello aumentar los toneles de su solera se hizo necesario contar con una herramienta automatizada para llevar el control de forma integral de la misma.

En este trabajo se expone las facilidades de una aplicación que permite realizar el control de forma automatizada de los toneles con que cuenta la solera de CERALBE, a través de un software llamado SOLERA, con un tratamiento de la información fácil, rápido y seguro. El mismo se puede generalizar a cualquier tipo de entidad que cuente con esta área

Palabras clave: *solera, toneles, automatización, bebidas alcohólicas.*

ABSTRACT

In a rum factory, one of the most important subjects is the solera, which carries out the system of upbringing or ageing beverages within the barrels, after having found specific environmental conditions, which affects primarily in a improvement in their organoleptic properties with the emergence of aromas and flavors characteristics. Therefore, there should be a strict control of each of the casks or barrels containing bases or wines that are stored in them.

The Reference Centre for Alcohol and Beverage (CERALBE) belonging to the Cuban Institute of Research of the Derivatives of Sugarcane (ICIDCA), from the Ministry of Sugar, has a solera in the pilot area of Bodegas Vigía production. It was in control of its solera by hand by having a small production. When increasing the production levels and with them increasing their solera's barrels, a need for an automated tool for comprehensively controlling it arised.

This work describes the facilities of an application that allows for automated control of barrels available to the solera of CERALBE, through software called Solera, with information processing easy, fast and secure. The mime can be applied to any entity that has this area.

Key words: solera, barrels, automation, alcoholic beverages.

I. INTRODUCCIÓN

El ron es una bebida alcohólica de alta graduación, cuya producción presenta una serie de etapas, condicionadas por factores que pueden influir decisivamente en la calidad del mismo. Para Bravo A.F. y otros (1985) uno de los factores que cabe destacar es el sistema de añejamiento o envejecimiento de los mismos, lo que condicionará la calidad final del producto.

Este factor ha sido durante mucho tiempo uno de los fenómenos más misteriosos del mundo de la tecnología de bebidas destiladas. En el envejecimiento de las bebidas alcohólicas, los toneles de madera de roble tienen un efecto beneficioso para las mismas.
Al conjunto o disposición de los toneles que se emplean desde la antigüedad para añejar, conservar, criar y trasladar las bebidas, se les denomina Solera y es donde la bebida sufre a lo largo del tiempo una evolución dentro del tonel tras encontrarse en unas condiciones ambientales dadas, y que repercute fundamentalmente en una mejora en sus propiedades organolépticas, con la aparición de aromas y sabores característicos. (Casares, R., 1949 y Giménez, R. y otros, 1997)

Por todo lo anteriormente expuesto, en una fábrica de producción de rones, una de las áreas más importantes es la Solera y se debe tener un control estricto de cada uno de los toneles o barriles que contienen las bases o caldos que están almacenados en los mismos. El Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE) perteneciente al Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), del Ministerio del Azúcar, cuenta con una solera en el área experimental de producción Bodegas Vigía. La misma llevaba el control de su solera de forma manual al contar con una pequeña producción. Al incrementarse los niveles productivos y con ellos aumentar los toneles de su solera se hizo necesario contar con una herramienta automatizada para llevar el control de forma integral de la misma.

En este trabajo se expone las facilidades de una aplicación que permite realizar el control de forma automatizada de los toneles con que cuenta la solera de CERALBE, a través de un software llamado SOLERA, con un tratamiento de la información fácil, rápido y seguro. Este sistema computacional se puede generalizar a cualquier tipo de entidad que cuente con esta área. Capote M., (2008).

II. DESARROLLO

II.1. Antecedentes

Hace unos años atrás CERALBE presentaba una Solera pequeña con no más de 60 toneles y sus niveles de producción anualmente eran bajos. El control que se llevaba a cabo en cada una de las bases o caldos que contenían sus toneles era una tarea fácil y se realizaba de forma completamente manual. Pero con el tiempo, al perfeccionar cada día más la tecnología, aumentaron los niveles de producción y con ello la cantidad de toneles de la solera y nos vimos en la necesidad de automatizar la información para poder llevar un control más estricto y seguro de nuestros productos.

Por esta razón nos dimos a la tarea de ver que controles se realizaban, la información con que se contaba y las necesidades del área de producción para realizar el trabajo de una forma integral y segura. De esta manera surgió la aplicación del sistema computacional SOLERA.

II.2. Objetivos del sistema computacional SOLERA

El sistema **SOLERA,** es una aplicación que permite realizar diferentes tipos de CONTROLES a los TONELES con que cuenta la solera de CERALBE de forma automatizada. Tiene el objetivo de permitir calcular, graficar, visualizar y / o imprimir o enviar por correo la información, de una forma rápida, exacta, segura y con un tratamiento fácil de operación del estado o historia de las bases, caldos o productos que presenta la misma.

A continuación daremos una panorámica de algunos aspectos de la aplicación para que el usuario se familiarice con el sistema y conozca de sus ventajas, antes de ponerlo en explotación en su fábrica.

II.3. REQUERIMIENTOS, INSTALACIÓN Y EJECUCIÓN DEL SISTEMA

Requerimientos técnicos de Hardware y Software

Para la explotación de **SOLERA** se requiere de una microcomputadora de actualidad, con 256 de memoria y 30 MB de espacio libre en disco duro

La aplicación esta realizada para un ambiente visual o gráfico, por lo que se ejecuta sólo en máquinas que operen sobre cualquiera de las versiones de Windows 95 ó versiones superiores. Está netamente diseñado con Microsoft Access 2003, pero se puede convertir a la versión que tenga el usuario.

Instalación

Se requiere la existencia en el disco duro de una carpeta de nombre SOLERA en ella debe copiarse el contenido del disco instalación de esta aplicación Y debe haber una carpeta de nombre SALVA (dentro de la carpeta SOLERA).

Ejecución de la aplicación

Esta aplicación tiene características similares a cualquier otra aplicación con ambiente gráfico, es decir, que se ejecute sobre Microsoft Windows. Su puesta en práctica se logra a través del archivo SOLERA.MDE que se encuentra en el directorio Disco:\SOLERA, creado durante la instalación, o por el acceso directo creado a tal efecto.

II.4. DOCUMENTOS DE ENTRADA Y SALIDA DE LA APLICACIÓN

Documentos de Entrada

SOLERA tiene como entrada 5 codificadores y la información sobre los movimientos y las bajas por deterioro que se realizan dentro de la solera.

Los cinco codificadores son el tamaño de los toneles, que tiene cada uno de los toneles, productos valorados en moneda nacional y divisa, tipos de extracciones y la entidad. Los datos necesarios son los movimientos

que se realizan a cada tonel ya sea alguna extracción o adicción de producto, las bajas por deterioro o cualquier otro motivo que de lugar a la perdida de un tonel.
Los codificadores se capturan en la implantación del sistema, se pueden actualizar en cualquier momento, estos se elaboran por el usuario.

A través de la opción de los datos capturamos todos los movimientos de los toneles y nos auxiliamos de la Barra de Herramientas, que se diseña para este objetivo.

A continuación se dará una breve explicación de las entradas de los movimientos que se le realiza a cada tonel: se comienza con la selección del tonel al que se le realizara el movimiento, se entra la fecha en formato corto y se escribe brevemente lo que se le ha realizado al tonel, se marca la acción de agregar o extraer según la operación realizada. Entre los datos complementarios que se introducen en esta opción se le da la altura del nivel del tonel (en cm) para el cálculo de la cantidad aproximada de litros que presenta el mismo a través de un factor establecido según su capacidad nominal. Otro dato de interés es el tiempo o edad de añejamiento del producto que se agrega al tonel.

En el caso de las extracciones se clasifican según un codificador creado al efecto, lo que nos permite conocer el uso que se le ha dado a cada extracción.
Posteriormente para visualizar los resultados se hace clic en el botón calcular y muestra los resultados siguientes:

- En el caso de Agregar: factor, cantidad de litros agregados y tiempo de añejamiento
- En el caso de Extraer: factor, cantidad de litros extraídos los cuales se mantienen con el mismo tiempo de añejamiento

y en ambos casos se muestra con la cantidad de litros que quedo el tonel después del movimiento realizado.

Otra entrada de la aplicación son las Bajas por Deterioro donde de se teclea el número del tonel al cual queremos darle baja, fecha del día de la baja en formato corto dd/mm/aa y la causa de la baja con una explicación corta que motivo la baja al tonel. Después se hace clic en el botón Ejecutar la baja y da el mensaje, eliminación del tonel satisfactorio. En el caso de las bajas se elimina de movimientos todos los que se le habían realizado hasta el momento y elimina del nomenclador de toneles el tonel seleccionado.

Documentos de Salida

Permite visualizar y/o imprimir los datos a manera de informes, los cuales garantizan la información agrupada por los distintos criterios solicitados. Los reportes se imprimen a través del menú contextual saliendo la pantalla de impresión del software de Windows.

El sistema cuenta con una relación de los Reportes, los cuales se enumeran seguidamente:

1-Movimientos por período.
2-Movimientos por período y tonel.
3-Bajas por deterioro Hasta la Fecha.
4-Situación de los Toneles (Para formular)
5-Por rango de Edades de los Toneles
6-Toneles Llenos su edad actual.
7-Balance por período
8-Extracciones por período
9- Cantidad de litros por producto
10- Valoración de las extracciones por tipo

II.5. UTILIZACIÓN DE LA APLICACIÓN

Secuencia de tratamiento de la información:

Esta aplicación, para su buen funcionamiento, necesita que las tareas se realicen en un orden lógico.
Para la correcta utilización de SOLERA es necesario que los Codificadores estén actualizados, antes de pasar a la captura de los Datos. Una vez capturada la información están creadas las condiciones para la realización de los informes de salida.

Opciones a ejecutar dentro de la aplicación

SOLERA cuenta con una Interface compuesta por una barra de menús a través de la cual usted puede ejecutar todas las funciones necesarias para manejar sus datos. La barra de menús no permite modificaciones, es similar a la de cualquier otra aplicación. En dicha barra se incluyen los menús: Archivo, Capturas, Ediciones, Gráficos y Ayuda.

Menú Archivo: Se realiza el control de los datos que utiliza la aplicación. Este submenú tiene las siguientes opciones:

Restaurar los datos: Reemplaza la información del disco por la del dispositivo seleccionado en la salva o por la de la carpeta Salva

Salvar los datos: Copia al dispositivo seleccionado la información del disco duro o en la carpeta Salva dentro de SOLERA.

Optimización Base de Datos: Permite compactar la base de datos, lográndose una optimización del espacio en disco.

Inicialización de la Base de Datos: Esta opción sólo se utiliza al implantar la aplicación, elimina la información que se encuentra en la Base de Datos, excepto la información de los Codificadores y cuando va a Inicializar un año pero en este caso se hace imprescindible realizar primero una salva para guardar los datos del año que termina.
Al finalizar el proceso de Inicialización, en el disco duro quedan creadas las condiciones para recibir la información inicial o del nuevo año.

Calcular edad de los toneles y Rangos de edad: Esta opción es cuando queramos calcular la edad de los toneles. Posteriormente contamos los toneles dentro de cada rango de los establecidos y sabemos cuales toneles son, garantizando la información para la edición por rangos.
Los rangos predeterminados son:

Menor de 0.5 años
Entre 0.5 y 1 año
Iguales a 1.5 años
Mayores de 1.5 y menor ó igual a 2.00 años
Mayores de 2.00 y menor ó igual a 2.5 años
Mayores a 2.5 años

Salir: Finaliza la ejecución de la aplicación TONELES, permitiendo salir y concluir todas las actividades del mismo.

Menú Capturas: Presenta dos opciones, los codificadores y los datos anteriormente expuestos.

Menú Ediciones: Permite visualizar y/o imprimir los datos a manera de informes. Para editar un informe en el caso que lo necesite solicitará la información requerida y ya en pantalla se imprimirá por el menú contextual utilizando las facilidades de Windows.

Menú Gráficos: Permite seleccionar por productos, rango de añejamiento y rango de cantidad de lo que queremos graficar; así como permite la impresión de la información seleccionada.

Menú Ayuda: Aquí se muestra los créditos y la ayuda de la aplicación para una mejor comprensión de la misma. Para una mejor comprensión de la aplicación se puede acceder a la ayuda, la cual brinda de forma detallada una explicación sobre cada opción. Para acceder a ella sólo es necesario presionar la tecla "**F1**" en cualquier lugar de la aplicación que se encuentre y le saldrá la ayuda correspondiente a esa pantalla.

Entrada de datos. Barra de herramientas.

El diseño de las pantallas de captura de datos, tanto en los Codificadores como en Captura de la otra información, sigue una misma filosofía de trabajo. En ellas existe una barra con botones, los cuales permiten realizar operaciones con los registros, y cerrar la captura.

Salida de Información.

La salida de los informes puede ser por pantalla o por impresora. Existen otras barras, las que nos permiten movernos por las páginas del reporte, y la que nos posibilita desplazarnos a través de la página activa.
Si la salida del informe es por impresora se muestra previamente una pantalla en la cual se configuran las características de la impresión, tales como la cantidad de copias, la impresora a utilizar, las páginas a imprimir, etc. Esta pantalla es la misma que se usa en todas las aplicaciones de Microsoft Office.

Validaciones y mensajes en las opciones

Salva y Restaura: Se emiten mensajes de aviso, tales como: "El dispositivo no está listo", "No hay espacio suficiente en el dispositivo", "El fichero a restaurar no se encuentra en el dispositivo", etc.

En los reportes: Si no existen datos para elaborar reporte, se emite el mensaje "No hay información para elaborar este Reporte".

Con todos los aspectos anteriormente expuestos se puede demostrar que contamos con una aplicación sencilla y que tiene como ventaja que de una forma rápida y segura se tiene el historial de cada uno de los barriles con que cuenta una solera y en el momento de realizar una formulación, de conocer las características de cada base, de realizar los estimados de planes de producción de un período dado, etc., con los reportes que el programa ofrece se puede acceder a la información.

CONCLUSIONES

1. Solera, es una aplicación sencilla, segura y rápida para mantenernos informado en cada momento del historial de una solera

2. Permite mantener la información en máquina por el período que desee el usuario.

3. Agiliza el tiempo de respuesta de los cálculos de añejamiento y cantidad de litros.

4. Admite trabajar en más de una máquina mediante la red (forma multiusuario).

5. Facilita el cálculo exacto, rápido y confiable de lo que tiene la solera en sus toneles y su añejamiento para realizar nuevas formulaciones, planes de producción, etc.

6. Permite valorar en las dos monedas los distintos tipos de extracciones realizadas.

7. Es un producto comerciable, cuenta con manual de usuario, ayuda en línea, plegable promocional y puede ser implantado en cualquier instalación que cuente con una solera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bravo Abad, F. y Pérez Rodríguez, L. (1985). “Muestras comerciales de brandy y coñac. Alcoholes superiores y espectro de absorción ultravioleta”. Alimentaria, 22 (6), 89-100.
- Casares, R., y Olmedo, R.G. (1949). “Estudio analítico de algunos coñacs españoles”, Anal. Bromatol., I, 31-56.
- Giménez, R.; López, H.; Villalón, M.; López Martínez, M.C. (1997). “Evolución de los parámetros físico-químicos en aguardientes macerados con madera de roble: Influencia del tiempo de maceración”. Alimentaria, julio-agosto: 111-117.
- Capote M., (2008). “Manual de utilización del sistema computacional Solera”. Versión 2.00, ICIDCA, pp. 1-18

DECOLORACIÓN BIOLÓGICA DE VINAZAS DE DESTILERÍA: PROMESAS Y DESAFÍOS

Tania González[1], Jennifer Fonseca[1], Aldo González[2], Isabel Goire[1], Zuyaima Cañete[1], Felipe Eng[1]

1 ICIDCA Vía Blanca 804 y Carretera Central, CP 11000, San Miguel del Padrón, Cuba
2 Centro de Investigaciones Biológicas (CIB/CSIC) Ramiro de Maeztu 9, E-28040 Madrid, España
tania.gonzalez@icidca.edu.cu

Resumen

Las vinazas generadas en la producción de etanol a partir de la fermentación de mieles de caña de azúcar pueden tener efectos altamente dañinos para el medioambiente debido a su alta demanda química de oxígeno (DQO) e intenso color marrón. El color de estos residuales se debe a la presencia de compuestos altamente resistentes a la degradación: las melanoidinas. En la digestión anaeróbica de las vinazas se utiliza la alta DQO para la producción de combustible (metano), a la vez que se reduce la carga orgánica. Sin embargo, este proceso no permite disminuir el color, debido a lo recalcitrante de las melanoidinas. En este trabajo se analizó la decoloración de vinazas no tratadas, y pre-tratadas anaerobicamente con el hongo basidiomiceto *Trametes* sp. I-62. Esta cepa mostró buena capacidad de crecimiento y producción de lacasas a pH 5 y 7, por lo que no es necesario realizar el ajuste de pH de los medios con efluente previo al tratamiento. Los cultivos en medios líquidos con vinaza no tratada (a concentración final del 20 %) y pre-tratadas (al 30 %) confirmaron que este hongo tiene una alto potencial para el biotratamiento de estos residuales. Se logró una reducción significativa del color (75 y 78 %, respectivamente) y de la DQO (63 y 66 %, respectivamente). Se demostró que los compuestos coloreados de las vinazas pueden ser degradados también mediante el tratamiento con crudos enzimáticos con actividad lacasa extracelular.

Palabras clave: vinaza, digestión anaerobia, decoloración, hongos, lacasa

Abstract

Vinasses generated by ethanol production from fermentation of sugarcane molasses can have detrimental effects on the environment due to its high chemical oxygen demand (COD) and dark brown colour. The colour of vinasses is mainly due to the presence of melanoidins, which are highly recalcitrant to biodegradation. Anaerobic digestion of this spent wash reduces its high COD for fuel production (methane) while reducing the organic load. Nevertheless, effluent from this process has a dark brown colour too; due to the recalcitrance of melanoidins. In this work the decolourisation of non- treated and anaerobically digested vinasses by the basidiomycetous fungi *Trametes* sp. I-62 was analyzed. This strain showed high capacity to growth and produce laccases at pH 5 and 7, so it is no necessary to adjust the pH of the media amended with effluent prior to the treatment. The cultures in liquid media with non-treated (at 20 % final concentration) and anaerobically digested vinasses (at 30 % final concentration) confirmed that this fungi has a high potential for the bio-treatment of these wastewaters. A significant reduction on colour (75 and 78 %, respectively) and COD (63 and 66 %, respectively) was achieved. It was demonstrated that the coloured compounds of vinasses can be also degraded by the treatment with enzyme crude with a high laccase activity.

Key words: Vinasse, anaerobic digestion, decolourisation, fungi, laccase

Introducción

En los principales países productores de caña de azúcar, la obtención de alcohol a partir de derivados de la caña se ha convertido en una práctica importante. De los diversos subproductos obtenidos en la fabricación del azúcar, son las melazas el que más se usa como sustrato para la fermentación alcohólica, debido a su alto contenido de carbohidratos, buena disponibilidad y bajo costo. A pesar de sus ventajas, existe un gran problema asociado con la producción de alcohol a partir de melazas de caña: el daño que causan al medioambiente los residuos de esta industria. El problema viene dado por los enormes volúmenes en que son generados y además, por su altísimo potencial contaminante (Kumar y otros, 1997).

Las vinazas poseen una elevada carga orgánica, que provoca la eutrofización de las aguas donde son vertidas. Sin embargo, el potencial contaminante de estos efluentes está dado no sólo por sus valores notablemente altos de demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO), sino por el intenso color marrón, que bloquea el paso de la luz en el agua, afectando la fotosíntesis, y por consiguiente la oxigenación y la vida acuática (Maiorella y otros, 1983).

La búsqueda de alternativas para el tratamiento de las vinazas ha sido incesante, pero no siempre exitosa. El problema esencial es la presencia de las melanoidinas, compuestos resistentes a la degradación y responsables, conjuntamente con los caramelos, del color oscuro que caracteriza a estos efluentes (González y otros, 2001). Para la eliminación de los compuestos coloreados se han empleado métodos físico-químicos que rinden buenos resultados, pero resultan extremadamente caros (Fitzgibbon y otros, 1995; Sirianuntapiboon y otros, 1998).

Los métodos biológicos convencionales como el tratamiento anaerobio-aerobio permiten disminuir de manera significativa la DQO, pero suelen ser ineficaces en la eliminación del color, pues las melanoidinas resultan tóxicas para los microorganismos empleados en este tipo de proceso (Kitts y otros, 1993). Es de mucho interés continuar la investigación para desarrollar nuevas tecnologías más efectivas, y económicamente viables, para el adecuado tratamiento de las vinazas. Otra alternativa es el desarrollo de procesos biotecnológicos que permitan complementar los existentes. Por ejemplo, el posterior biotratamiento de los efluentes generados en los reactores anaerobios en los que se reduce significativamente la carga orgánica, pero queda prácticamente inalterable el color. Con ese objetivo se ha iniciado la búsqueda de microorganismos que sean capaces de crecer a expensas de este tipo de aguas residuales y decolorarlas.

Estudios con hongos basidiomicetos demuestran que tienen la capacidad de degradar los compuestos coloreados de las vinazas. Se han descrito tratamientos a escala de laboratorio, con resultados alentadores, mediante la utilización de diferentes especies de este grupo (Ohmomo y otros, 1985; Sriniavisan y otros, 1995). Además, en las últimas décadas se han logrado avances significativos en la investigación de enzimas fúngicas, como las lacasas, que intervienen en la degradación de sustratos complejos, como las melanoidinas de las vinazas. El uso de microorganismos, o de sus enzimas, podría ser una alternativa para el desarrollo de nuevos sistemas de tratamiento. Su diseño debe estar enfocado a la remoción de los compuestos coloreados que resultan recalcitrantes a la degradación por los métodos tradicionales. En el presente trabajo se estudió la capacidad de una cepa cubana de basidiomiceto, *Trametes sp*. I-62, para decolorar vinazas no tratadas y pre-tratadas en reactores anaerobios, y la posible utilización de crudos enzimáticos con alta actividad lacasa en la decoloración de este tipo de efluentes.

Materiales y Métodos

Efluente

Se utilizaron vinazas de destilería de la Empresa Mielera Heriberto Duquesne de Villa Clara. Se empleó además el residual procedente del tratamiento de estas vinazas en un reactor anaerobio de

flujo ascendente UASB (de escala planta piloto). La caracterización de estos efluentes incluyó determinación de pH, unidades de color y demanda química de oxígeno (DQO).

Determinación del pH

Los valores de pH se determinaron haciendo uso de un aparato Practonic MV870 diseñado para medida del pH en soluciones.

Determinación del color

Se realizó la medición de la absorbancia en la zona del espectro uv–visible y se cuantificó el color mediante la técnica de la luminancia, según se describe en Standard methods for the examination of water and wastewaters (1989). Se basa en la medicion de la tramitancia de las muestras a 10 longitudes de onda diferentes: T_{489}, T_{515}, T_{529}, T_{541}, T_{551}, T_{561}, T_{572}, T_{584}, T_{600}, T_{627}. La luminancia es el valor resultante de la suma y la multiplicación por un factor de 0,1 de los 10 valores de transmitancia obtenidos. La absorbancia se obtiene mediante la siguiente formula :

$A = 2 - \text{Log } L$ donde A: absorbancia
L: luminancia

La remoción del color se calculó mediante la fórmula: $R = (A_i - A_f) / A_i$

Donde:

A_i : absorbancia inicial.

A_F: absorbancia final

Demanda química de oxígeno

Se realizó la determinación de la cantidad de oxígeno que necesita la muestra de materia orgánica para oxidarse en presencia de un agente oxidante fuerte (dicromato de potasio) en un medio fuertemente ácido (ácido sulfúrico). La medición se realizó utilizando un micrométodo desarrollado en el Instituto Cubano de Investigaciones de la Caña de Azúcar. El micrométodo reduce el tiempo de análisis de dos horas a 12 minutos y muestra similar eficiencia.

Microorganismo y su mantenimiento

La cepa de *Trametes* sp.I-62 (CECT 20197) fue aislada a partir de madera podrida en Pinar del Río (Mansur,1997).

Se conservó en placas de agar (2%) con medio Czapeck modificado (también nombrado como medio siete: M-7). La composición del medio se describe a continuación:

Medio Czapeck modificado (M-7) (g/l)

- Glucosa……10
- Tartrato de amonio…….2
- KH_2PO_4……..1.0
- KCl…….0.5
- Extracto de Levadura……..1.0
- Solución de elementos trazas…..1ml

Solución de elementos trazas (g/l):

- Na_2B4O_7……...0.10
- $ZnSO_4$ x $7H_2O$……. 0.07
- $CuSO_4$ x $5H_2O$ …….0.01
- $MnSO_4$ x $4H_2O$…….0.01
- $FeSO_4$ x $7H_2O$……0.05
- $(NH_4)_6Mo_7O_2$ x $4H_2O$…… 0.01

Tratamiento de vinazas en medios líquidos

El inóculo se preparó a partir del hongo crecido en placas con medio M7 durante 7 días. El agar de estas placas fue cortado en fragmentos de aproximadamente 1 cm^2 que se introdujeron en matraces Erlenmeyer de 500 ml conteniendo 200 ml de medio 7, y 4 bolas de vidrio de 1.5 cm de diámetro, con el propósito de ayudar a desprender y fragmentar el micelio. Estos matraces se incubaron durante 24 horas a 30°C en agitación (110 rpm). A continuación se filtró el contenido de los matraces a través de un colador metálico estéril, que retiene las bolas de vidrio y los trozos de agar y deja pasar el liquido con el micelio finamente fragmentado. Este filtrado se utilizó como inoculo en una relación 1:10 v/v .
Los cultivos para estudiar la biodegradación en medio líquido se prepararon en matraces Erlenmeyer de 250 ml con 75 ml de medio M7 y 20 % de efluente para la vinaza no tratada y 30 % para la vinaza pre-tratada anaeróbicamente. Se realizó la incubación durante siete días a 30°C en un agitador orbital, a 110 rpm. Se prepararon 3 réplicas para cada condición de estudio, controles en medio M7 sin efluente y los controles abióticos consistentes en medios con efluente sin inocular.

Determinación del peso seco

Se filtró el micelio a través de papel de filtro y se recuperó la biomasa, que se secó a 160°C durante una hora (hasta peso constante). A continuación se determinó el peso en una balanza analítica.

Actividad lacasa

La actividad lacasa se determino usando ABTS como sustrato según Wolfenden y Wilson (1982). La concentración final en la mezcla de reacción es de 10 mM en tampón acetato 0,1 M pH 5 (0.27435 g de ABTS en 50 ml de tampón acetato). El coeficiente de extinción molar de este sustrato es $\xi_0 = 9300\ M^{-1}cm^{-1}$. El incremento de absorbancia se mide a una longitud de onda de 436nm, durante un minuto. La unidad de actividad (UA) se define como la cantidad de enzima necesaria para producir 1 μmol de producto en un minuto.

Decoloración del efluente con caldos enzimáticos

Se estudió la decoloración del efluente, a partir del tratamiento con caldo enzimático obtenido a partir de cultivos de *Trametes* sp. I-62 en medio M7 durante 7 días, según se describió anteriormente. Para obtener el caldo se eliminaron los restos de micelio, filtrando los sobrenadantes de los cultivos a través de filtros Miracloth. Aproximadamente 150 ml del filtrado se colocaron en una membrana de diálisis de tamaño de poro de 10 kDa (Pierce) que se cubrió con sacarosa y se dejó reposar hasta que el volumen se redujo a la décima parte del inicial. A continuación se realizó la diálisis frente a agua destilada durante 24 horas a temperatura ambiente.
Para realizar los estudios de decoloración del efluente se midió la actividad lacasa en la solución dializada, y se prepararon mezclas de 9 ml de volumen final, con la cantidad de extracto necesaria para tener una unidad de actividad lacasa y el efluente a concentración del 20 %. Las mezclas se colocaron en tubos Falcon de 50 ml que se incubaron a 37^{o}C en agitación (200 rpm). Además se prepararon controles con composición idéntica a la de las mezclas en estudio, que se hirvieron 10 minutos para inactivar las enzimas y se incubaron en las mismas condiciones.

Se monitoreó el cambio de color asociado a la degradación enzimática del efluente, a través de la determinación de la luminancia. También se midieron los cambios en el espectro de absorción de las muestras, previa dilución de las mismas, en el rango de longitudes de onda comprendido entre 300 y 800 nm.

Resultados y Discusión

Caracterización de las vinazas no tratadas y pre-tratadas anaerobicamente

Las propiedades físico-químicas de las vinazas de destilería presentan gran variabilidad, que depende fundamentalmente de la materia orgánica y de las condiciones de fermentación (Brossard y Cortez, 1996). Sin embargo, existe una característica que reviste siempre una gran importancia, a pesar de sus fluctuaciones: la carga contaminante de estos residuos.

En el presente trabajo se utilizó la vinaza de entrada, procedente de la destilería de Heriberto Duquesne y el efluente de salida de un reactor UASB de escala planta piloto (con capacidad de 5 l) instalado en el ICIDCA. La tabla 1 muestra las características principales de estos residuales. La vinaza no tratada se caracteriza por su pH ácido, alta DQO, e intenso color marrón. Después del tratamiento anaerobio se obtiene un efluente alcalino, y la DQO se reduce significativamente. Sin embargo, el color prácticamente no varía. Se ha demostrado que el tratamiento anaerobio de las vinazas puede disminuir significativamente la DQO, pero resulta ineficiente en la remoción del color, debido a la presencia de compuestos coloreados resistentes a la degradación, fundamentalmente de tipo melanoidina (Miyata y otros, 2000).

Tabla I. Características de las vinazas de destilería no tratadas y pre-tratadas en reactores anaerobios.

	Vinaza	Vinaza pre-tratada anaerobicamente
Color (% luminancia dil 1/10)	35.3	34.8
pH	4.1	8.4
DQO (g/l)	50	4.3

Efecto del pH en cultivos líquidos de *Trametes* sp.I-62

Para el desarrollo de sistemas de biotratamiento de efluentes, lo más conveniente es utilizar microorganismos capaces de crecer en condiciones lo más similares posibles a las que caracterizan el residuo a tratar, pues el ajuste de éstas complica el proceso y lo encarece. Un factor importante es el pH. Como se planteó anteriormente, las vinazas pre-tratadas en reactores anaerobios son alcalinas (Tabla 1).
Diferentes autores han planteado que el crecimiento y la producción de enzimas ligninolíticas en los hongos basidiomicetos se favorecen a pH ácido. (Mansur y otros, 1997). Estudios de decoloración de las vinazas pre-tratadas en reactores anaerobios con este tipo de hongo plantean un pH óptimo de 5 para la decoloración (Satyawali y Balakrisnan, 2008). Sin embargo, en el género *Pleurotus* los valores óptimos para el crecimiento se encuentran en el rango 6-7; y en un estudio previo de la decoloración de vinazas con una cepa de este género se demostró que el bajo pH (4.5) afecta negativamente la producción de lacasas y la remoción del color (Rodríguez, 2004).
En *Trametes* sp., se han logrado altos niveles de producción de lacasas, relacionados con la decoloración de vinazas, en condiciones de bajo pH (González, 2001), pero no se ha analizado el efecto de esta variable sobre el crecimiento y la actividad enzimática; pues todos los estudios se han realizado en medios con pH cercano a 5 (González y otros, 2003; Arana y otros 2004). Por eso se consideró de interés el estudio del efecto del pH sobre el crecimiento y la actividad lacasa de este hongo.

Al contrario de lo que sugieren los antecedentes descritos, el crecimiento de *Trametes* sp. (estimado a través del peso seco) no presentó diferencias significativas en medios con pH 5 y 7. También llama la atención que la producción de lacasas extracelulares se incrementó a pH neutro (Fig. 1). Estos resultados permiten utilizar *Trametes* sp. I-62 sin realizar ajuste de pH en los medios con vinazas no tratadas o pre-tratadas en reactores anaerobios para el estudio de su degradación.

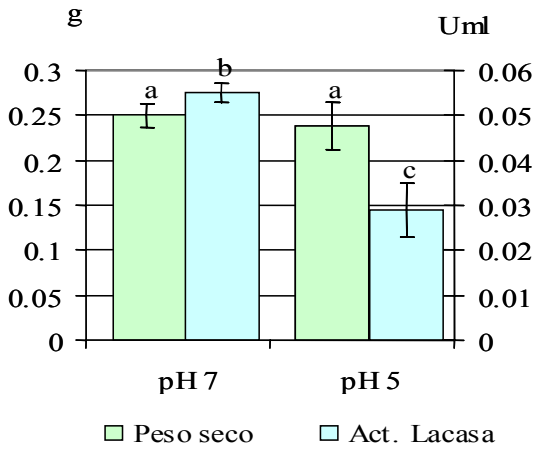


Figura 1. Efecto del pH sobre el peso seco y la actividad lacasa extracelular de cultivos líquidos de *Trametes* sp. I-62 en medio 7 incubados durante 7 días a 30°C, 110 rpm. Los valores graficados corresponden a la media de tres réplicas. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P<0.05$).

Biotratamiento de vinazas con *Trametes* sp. I-62 en medios líquidos

El biotratamiento de las vinazas no tratadas o pre-tratadas en reactores anaerobios con el basidiomiceto *Trametes* sp. I-62, durante 7 días, permitió disminuir visiblemente el color inicial del medio (Fig. 2). Fue evidente además un incremento en el crecimiento del hongo en el medio con efluente.

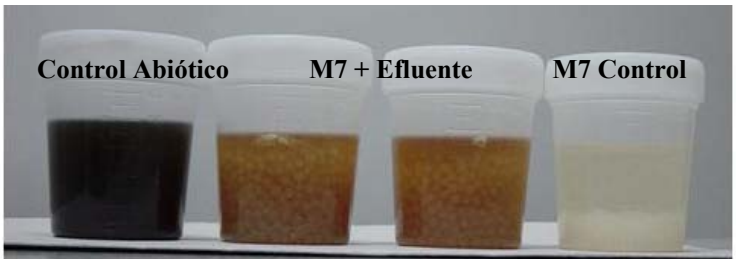


Figura 2. Decoloración de vinazas pre-tratadas en reactores anaerobios con *Trametes* sp. I-62. El efluente se añadió a concentración del 30 %. Los cultivos se incubaron a 30°C, 110 rpm durante 7 días. M7: medio 7

En la Tabla 2 se muestra la cuantificación del crecimiento (estimado por el peso seco), la actividad lacasa, el porciento de decoloración y la disminución de la DQO en los medios con efluentes, y en los controles crecidos en el medio 7 basal. El porciento al que se añadieron las vinazas no tratadas (20 %) y pre-tratadas anaerobicamente (30 %) se estableció de manera que todos los medios con efluentes presentaran la misma intensidad de color (determinado de acuerdo a la luminancia). Puede apreciarse que en ambos medios con efluente se alcanzaron altos valores de reducción del color y la

DQO. La actividad lacasa extracelular y el peso seco fueron superiores en los medios con efluente, respecto a los controles crecidos en el medio basal M7. Se ha planteado que la actividad lacasa puede ser inducida por los compuestos coloreados de las vinazas (González 2008) y que el hongo puede utilizar algunos de los componentes de este tipo de efluente como sustratos para su crecimiento (González, 2001).

Tabla II. Tratamiento de vinazas con *Trametes* sp. I-62 en medios líquidos durante 7 días.

Medio de cultivo	pHo	pHf	Peso seco (g)	Act. Lac. (U/ml)	Decoloración (%)	Dism. DQO (%)
M7 + vinaza (20 %)	4.82 (0)	4.32 (0.01)	0.9 (0.04)	0.9 (0.02)	75.1 (4.3)	63.5 (1.2)
M7 + vinaza PTA (30 %)	6.83 (0)	5.24 (0.026)	0.254 (0.025)	0.31 (0.01)	78.35 (0.79)	66.15 (0.35)
Control medio M7	5.74 (0)	4.56 (0.02)	0.132 (0.001)	0.056 (0.001)		

PTA: pre-tratadas anaerobicamente. Cada valor representa la media de tres réplicas. Entre paréntesis se muestra la desviación estándar.

Es necesario realizar la optimización del medio de cultivo, analizando los mínimos requerimientos nutricionales que garanticen un biotratamiento eficiente. No obstante, a partir de los resultados del análisis cualitativo descrito anteriormente, puede asumirse que *Trametes* sp. I-62 es efectivo tanto en la decoloración de las vinazas de destilería no tratadas, como en las de las pre-tradadas anaerobicamente.

Decoloración de vinazas con caldos enzimáticos de *Trametes* sp. I-62

Los estudios acerca de los aspectos fisiológicos y moleculares de la decoloración enzimática de los efluentes de destilería con *Trametes* sp. I-62 han demostrado la importancia de las lacasas de este basidiomiceto en el proceso (González et al, 2008). Sin embargo, un aspecto de gran interés desde el punto de vista de una posible aplicación práctica de estas enzimas es el determinar si es posible decolorar las vinazasas de destilería con caldos enzimáticos ricos en actividad lacasa.

Para resolver esta interrogante se utilizaron cultivos de *Trametes* sp. I-62 con altos niveles de producción de esta enzima. Cuando se alcanzó una unidad de actividad lacasa en el medio de cultivo, éste se separó del micelio, y se procedió como se describe en el apartado 2.8 de Materiales y Métodos para preparar una mezcla de efluente al 20 % y 0.11 U/ml de actividad lacasa. Es importante aclarar que en el caldo

concentrado se midieron además las actividades lignina peroxidasa y manganeso peroxidasa y no se detectó ninguna de estas dos enzimas.

Se monitoreó el color en la mezcla incubada a 37°C en agitación durante una semana y se comparó con un control negativo consistente en una mezcla de composición idéntica en la que previamente se hirvió el extracto enzimático para inactivar las enzimas. De esta manera se pudo valorar si el cambio de color está asociado exclusivamente a una acción enzimática, o intervienen además factores físico-químicos.

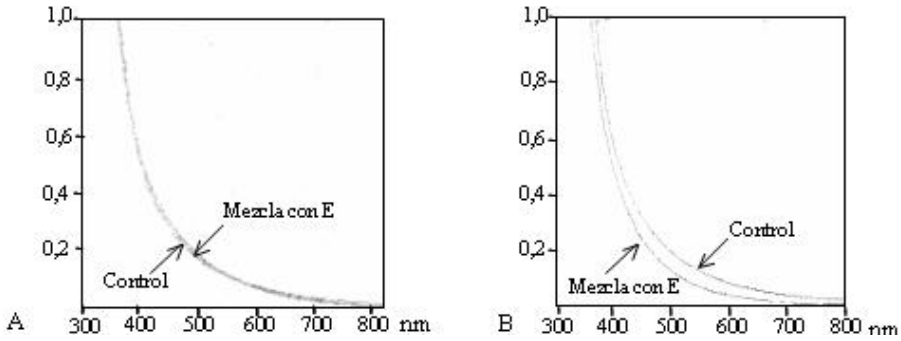


Figura 3. Cambios en el espectro de absorción debidos al tratamiento de vinazas de destilería con caldo enzimático de *Trametes* sp. I-62 obtenido a partir de cultivos con alta actividad lacasa. La incubación se realizó a 30°C, 110 rpm. La mezcla a tratar contenía 20 % de vinaza no tratada y 0.11 U/ml de actividad lacasa. El control consistió en la misma mezcla, en la que previamente se hirvió el extracto enzimático para inactivar las enzimas.

No se produjo ningún cambio de color en el control durante todo el tiempo del experimento. En cambio, en el efluente tratado con extracto enzimático el color había disminuido hasta un 35,1 % al finalizar el muestreo y la decoloración coincidió con la disminución de la absorción de la mezcla en el espectro visible, como se muestra en la Figura 3. La decoloración más rápida ocurrió durante las primeras 48 horas, en que se alcanzó un 27,3 %; luego el color continuó descendiendo muy lentamente, no mostrando prácticamente variación durante los últimos cuatro días. La disminución en la velocidad de decoloración coincidió claramente con la pérdida de actividad lacasa en la mezcla tratada. Esta asociación se confirmó mediante el análisis de la correlación entre los niveles de actividad lacasa y la velocidad de decoloración. El coeficiente de correlación fue del 95,5 %, lo que explica, que la mayor pérdida de color ocurre durante las primeras horas, cuando es mayor la actividad de la enzima en la mezcla.

Conclusiones

1. No es necesario realizar ajuste de pH previo al tratamiento de vinazas no tratadas o pre-tratadas anaerobicamente con *Trametes* sp. I-62.
2. El tratamiento de vinazas no tratadas o pre-tratadas anaerobicamente con *Trametes* sp. I-62 permite reducir significativamente el color y la DQO de estos efluentes.
3. Es posible decolorar las vinazas con caldos enzimáticos de *Trametes* sp. I-62 con alta actividad lacasa.

Referencias Bibliográficas

Arana, A., Roda A., Téllez A., Loena O., Carbajo J.M., González A.E. (2004). *J Basic Microbiol* 44, 79-87.

Brossard Pérez LE y Cortez LAB. (1996) Experiments on vinasse disposal part I: emulsification with fuel oils. Braz. J. Chem. Engineering. 13: 200-208.

Dahiya, J., Singh, D., Nigam, P. (2001), *Biores Technol* 78, 95-98.

Fitzgibbon, F.J., Nigam, P., Singh, D., Marchant, R. (1995), *J. Basic Microbiol* 35, 293-301.

González, T., Terrón, M., Yague, S., Zapico, E., Galletti, G., González, A. (2000), *Rapid Comm Mass Spectroscopy* 14, 1417-1424.

González, T, Terrón, MCE. Zapico, S. Yagüe, A. Téllez, H. Junca, and A.E. González. (2003) *Mycol Res* 107: 727-735.

González, T., Terrón M.C., Yagüe S., Junca H., Carbajo J.M., Zapico E.J., Silva R., Arana A., Téllez A. y González A.E. (2008) *Res Microbiol* 159, 103-109.

Kitts, D.D., Wu, C.H., Stich, H.F., Powrie, W.D. (1993), *J Agric Food Chem* 41, 2353-2358.

Kumar, V., Wati, L., Fitzgibbon, F., Nigam, P., Banat, I.M, Singh, D., Marchant, R. (1997), *Biotechnol Lett* 19, 311-313.

Kumar, V., Wati, L., Fitzgibbon, F., Nigam. P., Banat, I.M., Singh, D., Marchant, R. (1998). *Process Biochemistry* 33, 83-88.

Maiorella, B.L., Blanch, H.W., Wilke, C.R. (1983), *Process Biochem* 18, 5-8.

Mansur, M., T. Suárez, J.B., Fernández-Larrea, M.A., Brizuela, M., and A. E. González. (1997) *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 2637-2646.

Miyata, N., Mori, T., Iwahori, K., Fujita, M. (2000), J. *Biosci Bioeng* 89, 145-150.

Ohmomo, S., Aoshima, I., Tozawa, Y., Sakurada, N., Ueda, K. (1985), *Progress Agric Biol Chem* 49, 2047-2053.

Rodríguez, S.M., Fernández, R., Bermúdez, Morris, H. (2004). *Rev Iberoam Micol* 20, 160-170.

Satyawali Y., Balakrisnan, M. (2008) *J Environ Management* 86, 481-497.

Sirianuntapiboon, S., Chairattanawan, K., Ohmomo, S. (1998), *Japan Agric Res Quarterly* 32, 1-30.

Srinivasan C, D'Souza TM, Boominathan K y Reddy CA. (1995) Demonstration of Laccase in the White Rot Basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium* BKM-F1767. Appl. Environ. Microbiol. 61: 4274 -4277.

Standard methods for the examination of water and waste-water (17^{th} ed.). (1989) Clesceri LS, Greenberg AE y Trusel RR (*eds.*). American Public Health Association: Washington, DC.

Wolfenden, R.S., Willson, R.L. (1982), *J Chem Soc Perkin Trans* 2, 805-812.

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ESQUEMAS (ETAPAS) DE PRETRATAMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Autores: Leyanis Mesa Garriga[(1)], Erenio González Suárez[(1)], Yailet Albernas Carvajal[(1)], Meilyn González Cortés[(1)], Eulogio Castro Galiano[(2)], Yenisley Duarte Alvarez[(3)], Delvis Acosta[(3)].

(1) Centro de Análisis de Procesos. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5,5. leyanimg@uclv.edu.cu
(2) Facultad de Ciencias e Ingeniería de los materiales. Universidad de Jaén. Jaén. España
(3) Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5,5.

Resumen

El presente trabajo está encaminado al estudio experimental de la etapa de pretratamiento ácida a escala piloto y de la hidrólisis enzimática realizada a escala de laboratorio del proceso de obtención de bioetanol a partir de residuos de la industria azucarera, es decir bagazo de la caña de azúcar.
Para dar cumplimiento a las actividades previstas, se analizó la influencia de diferentes variables en el pretratamiento utilizando catalizador ácido, como lo son: % de etanol, tiempo e hidromódulo, utilizándose los diseños experimentales del tipo 2^k, siguiendo la estrategia experimental propuesta por Box y Wilson. Seguidamente se analizó la posibilidad de incluir una segunda etapa en el pretratamiento utilizando un catalizador básico y evaluando las variables independientes: % de etanol, tiempo y % de NaOH, manteniendo constante el hidromódulo, aplicándose en este caso un diseño fraccional saturado de Plackett – Bürman. Se estudiaron también diferentes factores que afectan la hidrólisis enzimática a través de un diseño fraccional parcial, lo que posibilitó una propuesta de tecnología simplificada y esbozar soluciones de utilización de los residuos de una etapa en otra, con los consiguientes ahorros de agua y una minimización del impacto ambiental. A partir de los resultados obtenidos, se evaluaron, mediante métodos de estimación, los costos inversionista y de producción concluyendo sobre las posibilidades de rentabilidad y la selección del mejor esquema tecnológico de la etapa de pretratamiento e hidrólisis enzimática.

Palabras clave: bagazo de caña de azúcar, pretratamiento Organosolv, hidrólisis enzimática, diseño Plackett-Burmann

Abstract

This paper aims to study the pilot phase of a pilot scale pretreatment acid and enzymatic hydrolysis conducted laboratory-scale process of obtaining ethanol from waste from the sugar industry, namely bagasse from sugar cane. To comply with the planned activities, analyzed the influence of different variables in the pretreatment acid, such as: % ethanol, and hidromódulo time, using the experimental designs Box Wilson. He then analyzed these same parameters but including a basic stage followed by acid analyzed by an array experimental Plackett-Burman. It also evaluated using methods for estimating the costs of production and investor with the help of software available on finalizing the chances of profitability and the selection of the best technological scheme of stage pretreatment. It also studied various factors affecting the enzymatic hydrolysis through a fractional part design, which enabled a proposal for technology and simplified outline

solutions using waste from one stage to another, thereby saving water and a minimization of environmental impact.

Key words: sugar cane bagasse, Organosolv pretreatment, enzymatic hydrolysis, Plackett Burmann Design

Introducción

El alto consumo energético nos ha llevado a una inevitable disminución de las reservas de combustibles fósiles y a la obtención de un ambiente con niveles preocupantes de contaminación. Ambos aspectos se han tornado altamente importantes en el mundo, afectando tanto cuestiones ambientales y económicas, como las que involucran la seguridad mundial y las políticas de producción y comercialización del petróleo y sus derivados.

Debido a esta problemática el etanol ha ocupado un lugar importante dentro de los combustibles renovables, sobre todo la producción de bioetanol de segunda generación para su aplicación en el sector del transporte, como una alternativa al empleo de las gasolinas, ya sea como aditivo, en mezclas o como único combustible o como materia prima para la producción de hidrógeno o biodiesel, Se utiliza como materia prima el bagazo de caña de azúcar, abundante en Cuba, y es una de la biomasa residual derivada del proceso de extracción de sacarosa de la caña de azúcar, y se centra fundamentalmente en una etapa clave del proceso de producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica como es el pretratamiento y su impacto en la hidrólisis enzimática.

En Cuba, y específicamente en Villa Clara, son generados anualmente, como subproducto de la molienda de la caña de azúcar 450 000 toneladas de bagazo, de los cuales, entre el 60 y el 90% son utilizados para alimentación de calderas y, entre el 10 y el 40% no poseen destino apropiado. Por lo que el bagazo de caña, es uno de los materiales lignocelulósicos con mayor potencial para la producción de etanol y otros productos de interés dentro del concepto de biorefinerías.

Entre las tecnologías para los pretratamientos actuales está siendo evaluado el proceso Organosolv con etanol. Este proceso, históricamente, ha sido investigado desde la perspectiva de la industria de la pulpa y el papel. Pero varios estudios, han demostrado la calidad de la fracción lignina extraída durante el pulpeo, incluyendo la demostración de su potencial para la fabricación de varios co-productos tales como polímeros biodegradables, por lo que en este trabajo nos proponemos realizar una evaluación de las alternativas de pretratamiento Organosolv en dos etapas, así como su impacto en la evaluación económica.

Materiales y métodos

El bagazo de caña de azúcar proviene del utilizado en la fábrica de papel "Sergio González" de la provincia de Cienfuegos, Cuba. Este fue conservado a granel según las normas técnicas establecidas (González, E. 1991). El bagazo de caña de azúcar fue cocinado en un digestor piloto de acero inoxidable, replica de los existentes en una fábrica de papel para ondular, de 50 lt de capacidad. En ambas etapas de pretratamiento se mantuvo constante la temperatura (175°C) y en la primera etapa se mantuvo constante la concentración de ácido sulfúrico utilizado como catalizador (1,25% en base a fibra seca) según resultados reportados anteriormente (Mesa, 2008). Los rangos de las variables estudiadas (tiempo 15 a 40 minutos; % etanol utilizado en el hidromódulo, 0-45%(v/v); hidromódulo, 5/1-7/1) fueron escogidos teniendo en cuenta resultados anteriores que reflejan el impacto ambiental positivo de esta tecnología y condiciones óptimas para la obtención de pulpa para papel (Sabatier P, 1994, González M, 2004) y rangos de operación recogidos de la literatura (Pan, XJ. 2005 y 2006). En la segunda etapa se mantuvo constante el hidromódulo (5/1) y se varió el tiempo (60 y 90 minutos), el % etanol utilizado como mínimo se utiliza 10% y 45% (v/v) como nivel superior y la concentración de NaOH utilizada como catalizador (1,5 y 3% en base a fibra seca). Esta selección de variables se hizo teniendo en cuenta resultados anteriores y que conllevan al movimiento acelerado hacia la región de óptimos resultados. Las pulpas fueron separadas del licor de pulpeo y lavadas.

Las pulpas lavadas fueron conservadas a 4°C para el análisis químico y la determinación de la actuación de la hidrólisis enzimática.
Como resultado de esta primera etapa de pretratamiento se obtiene un producto fibroso que es filtrado en dos fracciones, una sólida (residuo sólido insoluble RSI), enriquecida en celulosa y lignina, y una liquida (prehidrolizado) compuesta principalmente por los azúcares de la fracción hemicelulosa.
La determinación de los azúcares reductores totales (ART) se realizó por el método del 3,5 DNS descrito por Miller.
La determinación de la composición de los sustratos pretratados se realizó siguiendo el método de Van Soest.
La hidrólisis enzimática se llevó a cabo en las siguientes condiciones: 5% de sólido, 15 FPU de celulasas/g de sustrato pretratado, temperatura: 50ºC y pH: 4,8. Las muestras fueron tomadas a las 24 horas.

Desarrollo

Selección de condiciones del pretratamiento Organosolv de bagazo de caña de azúcar.

La primera etapa de un proceso de HE de materiales lignocelulósicos la constituye el pretratamiento, que tiene como objetivo alterar su compleja estructura permitiendo el acceso a las enzimas. El efecto del pretratamiento sobre el material lignocelulósico empleado como sustrato en la sacarificación enzimática, se evaluó a dos niveles diferentes. En primer lugar, sobre la recuperación de material ocurrida como consecuencia del pretratamiento y sobre la composición del residuo obtenido. En segundo lugar, se estimó la modificación experimentada en la fracción celulósica, por el incremento de su susceptibilidad al ataque enzimático. Considerando estas variables, se determinaron las condiciones del pretratamiento más adecuadas para el bagazo de la caña de azúcar.
En la Tabla I se recoge el análisis de la materia prima utilizada en este apartado realizado según el método Van Soest.

Tabla I Composición química de bagazo de la caña de azúcar expresado como % de materia seca.

Composición	%
Glucano	49,03
Xilano	15,65
Arabinano	0,19
Lignina	27,22
Extractivos	5,58
Cenizas	3,64

Efecto del pretratamiento en la composición.

El uso de diferentes diseños estadísticos han sido aplicados para el estudio del pretratamiento de la biomasa lignocelulósica (Araque E et al, 2007; Pan X et al, 2006). Estos han sido aplicados frecuentemente a la optimización de medios de cultivos para la obtención de amilasas, xilanasas y celulasas (Francis F et al, 2003; Dey G, 2001), los cuales han sido comparados con los métodos comunes de “un factor a la vez” y mostraron ser una herramienta poderosa y útil. No ha sido reportado en la literatura revisada el análisis de varios factores que influyen en dos etapas de pretratamiento aplicando un diseño estadístico para la discriminación de variables significativas.
Aunque desde el punto de vista de la economía global del proceso hay que buscar las condiciones en las que la degradación de la celulosa y hemicelulosa sea mínima, uno de los objetivos fundamentales del

pretratamiento debe ser aumentar al máximo la eficiencia de sacarificación (ES) de la celulosa (Wu y col., 1999). De este modo podría obtenerse una mayor concentración de azúcares que permitan la obtención de mostos con un mayor contenido alcohólico que facilitaría la posterior destilación. Se determinó la eficacia de sacarificación de los RSI obtenidos en cada pretratamiento, mediante test de hidrólisis enzimática a las 24 horas.

Se inicia este estudio que tiene como objetivo la evaluación de las variables que influyen en el pretratamiento Organosolv del bagazo de la caña de azúcar en dos etapas, primero utilizando un catalizador ácido que es más selectivo al ataque de la hemicelulosa y este es uno de los factores que mas influencia tiene sobre la eficiencia de la HE y luego una etapa Organosolv utilizando catalizador básico que es más selectivo a la deslignificación (Mesa, 2008). Se realiza el estudio aplicando un diseño factorial fraccionado, específicamente un diseño factorial fraccionado saturado. Este diseño llamado Plackett-Burman (PB) (Plackett y Burman, 1946) presenta un enorme potencial para la selección de un gran número de variables que intervienen en un determinado proceso y ha sido usado efectivamente en aplicaciones de desarrollo de procesos complejos y desarrollo de productos (Isaacson, 1970; Ghanem NB et al, 2000; Levin L et al. 2005)

El propósito primario de la aplicación de este diseño es ser capaz de estudiar o seleccionar todas las posibles variables, cuantitativas o cualitativas, así las más importantes que afectan el sistema pueden ser singularizadas. La terminación de un diseño experimental PB está considerado por ser un buen programa inicial para el estudio del comportamiento de sistemas que tienen un gran número de variables (> 5).

El diseño experimental de PB fue utilizado para evaluar la importancia relativa de varios factores que influyen aplicando un pretratamiento en dos etapas del bagazo de la caña de azúcar. Para cada variable independiente y las falsas variables, el efecto neto es la diferencia entre el valor medio de las respuestas obtenidas a los niveles superiores (+1) y el valor medio obtenido a los niveles inferiores (- 1). La determinación del valor absoluto de cada efecto permite a partir del error estándar (SE) calculado de los valores absolutos de los efectos de las falsas variables establecer el nivel de significación de la influencia de cada una de las variables independientes estudiadas en el parámetro respuesta analizado.

Considerando las 2 etapas de pretratamiento (la primera utilizando ácido sulfúrico como catalizador para remover la hemicelulosa y la segunda etapa utilizando catalizador básico para la deslignificación). Se realizan una serie de experimentos para conocer la influencia de cada variable definida y se analiza económicamente.

Tabla II: Matriz experimental de Plackett Burman para el análisis del pretratamiento en 2 etapas.

Muestras	$\mathbf{X_1}$	$\mathbf{X_2}$	$\mathbf{X_3}$	$\mathbf{X_4}$	$\mathbf{X_5}$	$\mathbf{X_6}$	$\mathbf{X_7}$
1	+	+	+	-	+	-	-
2	+	+	-	+	-	-	+
3	+	-	+	-	-	+	+
4	-	+	-	-	+	+	+
5	+	-	-	+	+	+	-
6	-	-	+	+	+	-	+
7	-	+	+	+	-	+	-
8	-	-	-	-	-	-	-

$\mathbf{X_1}$: tiempo de la primera etapa (15-40 min.), $\mathbf{X_{2:}}$ % alcohólico (0-45 %v/v), $\mathbf{X_{3:}}$ hidromódulo (3/1-5/1), $\mathbf{X_{4:}}$ falsa variable, $\mathbf{X_{5:}}$ tiempo (60-90 min), $\mathbf{X_{6:}}$ % alcohólico (10-45 % v/v), $\mathbf{X_{7:}}$% de sosa(1,5-3%).

Los parámetros respuestas del pretratamiento en dos etapas son los mismos que los escogidos para el pretratamiento en una etapa, o sea, Y_1: concentración de ART (g/L), Y_2: Rendimiento de ART en la HE y Y_3: g ART/100 g de bagazo inicial.

En la tabla III se muestran los resultados de la caracterización del material pretratado. En el análisis del pretratamiento en dos etapas se observa que los valores del % de recuperación disminuyen con respecto al análisis realizado teniendo en cuenta el pretratamiento en una sola etapa, o sea, cuando se utiliza catalizador ácido. Este resultado es lógico debido al sometimiento del material a dos etapas de pretratamiento donde se solubilizan la hemicelulosa y la lignina en mayor medida y se observa el incremento en la mayoría de los casos el % de celulosa en el sólido pretratado, excepto en los ensayos 6 y 7 lo cual se debe a las condiciones evaluadas en esos ensayos (Ver figura 1).

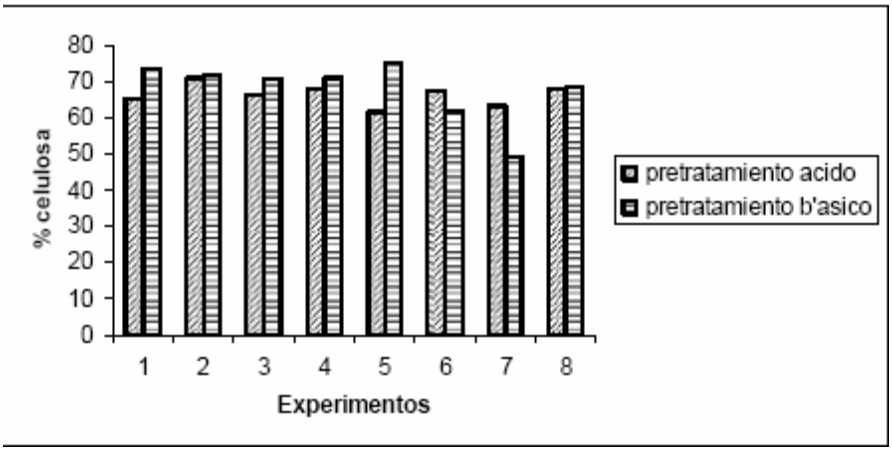


Figura 1: Variación del contenido de celulosa en cada ensayo tanto con pretratamiento ácido como básico.

Para el caso de los % de hemicelulosa y lignina tienen la tendencia a disminuir con respecto al pretratamiento en una etapa lo cual es favorable al proceso, debido a experiencias demostradas anteriormente donde se demuestra que la hemicelulosa y la lignina no benefician el proceso de HE (Mesa, 2008). En el caso de los experimentos 6, 7 y 8 el % de lignina aumenta debido a la mayor afectación que sufre la celulosa en estos 3 casos, lo que hace que porcentualmente aumente el contenido de lignina en estos sólidos pretratados con respecto al bagazo sin tratar y a los otros ensayos.

Tabla III. Recobrado de sólido total (%) y composición (% materia seca) del sólido insoluble en agua resultado del pretratamiento Organosolv correspondiente a las diferentes condiciones previstas en el diseño Plackett Burmann aplicado.

Ensayo	% Recuperación	% Celulosa	% hemicelulosa	% lignina
1	41,87	73,39	2,38	24,23
2	63,76	72	3,68	24,32
3	51,77	70,5	4,84	24,66
4	36,09	70,91	5,26	23,83
5	39,60	74,83	5,38	19,79
6	41,41	61,93	4,69	33,38
7	27,35	49,19	7,45	43,36
8	55,53	68,39	3,14	28,47

Resultados de la aplicación de las dos etapas de pretratamiento.

Como se puede observar en la tabla IV, con la aplicación de dos etapas de pretratamiento, por lo general, se logran mayores niveles de ART en el hidrolizado, factor que favorece en mayor medida las etapas posteriores del proceso, a decir, fermentación y destilación. Como es de esperar aumentan también los rendimientos de HE con la aplicación de dos etapas de pretratamiento. Los mejores resultados en cuanto a concentración de ART son los experimentos 2 y 6.

Tabla IV. Concentración de glucosa en el hidrolizado por la HE (Y1) del sólido insoluble en agua y el rendimiento de glucosa (g de glucosa /100 g de bagazo inicial)

Muestra	Concentración de ART g/L	Rendimiento HE	G ART/100 g MP
1	21,50± 0.10	52,74±0,25	18,1±0,09
2	28.25 ± 0,13	70,64±0,34	36,03±0,17
3	27.01 ± 0.44	68,96±1,17	27,96±0,47
4	25.35± 0,32	64,36±0,82	18,3±0,23
5	26,60 ± 0,21	63,99±0,48	21,07±0,17
6	27,44± 0,67	79,77±1,96	22,73±0,56
7	25,38 ± 0,025	92,89±0,09	13,88±0,015
8	24,70 ± 0.27	65,02±0,72	27,43±0,30

Resultados del diseño Plackett- Bürmann

Se procede al análisis de los resultados del diseño de Plackett- Bürmann, el cálculo de los coeficientes se realizó por las fórmulas siguientes, donde:

Ef=1.53 para una sola falsa variable tendremos que:

$Sbj=SQR(1.53^2)=\pm 1.53$

$\Delta bj=\pm 1.53 * t_p$ y para p=95%, $t_p=2.306$, siendo $\Delta bj=\pm 3.52818$, no pudiendo considerarse aquí ninguna variable significativa.

No obstante lo anterior, de acuerdo con la recomendación de Isacsson, de que en sistemas industriales o pilotos se puede utilizar una probabilidad de un 80% la t_p será de 0.806 y $\Delta bj=\pm 1.23318$, para lo cual serán significativo E_2 y E_7.

Basándonos en el resultado del los cálculos realizados se puede decidir operar, en las siguientes condiciones:

X_1*: tiempo de la primera etapa*. Al no ser significativo se puede utilizar tan bajo como se quiera, es decir 15 min.

X_2*: %alcohólico*. Siendo significativo y de coeficiente negativo la mejor alternativa es no utilizar etanol en esa etapa

X_3*: hidromódulo*. Al no ser significativo se puede utilizarse como se quiera, es decir 5/1.

X_5*: tiempo de la segunda etapa*. Al no ser significativo se puede utilizar tan bajo como se quiera, es decir 60 min.

X_6*: % de alcohol*. Al no ser significativo se puede utilizar tan bajo como se quiera, es decir 10% en volumen para disminuir consumo de etanol en el pretratamiento.

X_7*: % de sosa*. Al ser significativo y con coeficiente positivo debe utilizarse en su mayor valor, es decir 3%.

Los resultados hasta aquí obtenidos para el pretratamiento Organosolv del bagazo de la caña de azúcar resultan difícil su comparación con resultados de otros autores, pues es este es uno de los primeros reportes de utilización de este pretratamiento sobre el sustrato analizado.

Evaluación económica de las alternativas de pretratamiento.

Tabla V. Análisis económico comparativo de las variantes con una etapa y dos etapas de pretratatamiento considerando 2 estrategias inversionistas en la hidrólisis enzimática diferentes.

	I. Estrategia inversionista en la hidrólisis enzimática		**II. Estrategia inversionista en la hidrólisis enzimática**	
Aspectos	**Pretratamiento 1 etapa**	**Pretratamiento 2 etapas**	**Pretratamiento 1 etapa**	**Pretratamiento 2 etapas**
Materia prima $/año	16 112 240	14 993 333	16 112 240	14 993 333
Costo Producción $/año	32 371627	32 271 023	24 043 395	23 325 386
Costo inversión $	65 116 127	68 396 725	55 766 824	59 047 422
Valor de la producción $/año	36 000 000	36 000 000	36 000 000	36 000 000
Costo por litro $/L	0,5395	0,5378	0,4037	0,3887
Ganancia $/año	3 628 373	3 728 977	11 956 605	12 674 614

Aquí es interesante verificar el fuerte impacto que tiene el valor de la inversión en los costos de producción, en específico cuando se aplican diferentes estrategias inversionistas en la etapa de hidrólisis enzimática, se logran apreciables ahorros en el valor de la inversión y en los costos fe producción y aunque aun no se alcanzan rentables indican que trabajando en la estrategia inversionista se puede avanzar mucho en la rentabilidad del proceso.

Referencias Bibliográficas

1. Araque E, Parra C, Freer J, Contreras D, Rodriguez J, Mendoza R, Baeza J (2007) Evaluation of organosolv pretreatment for the conversion of *Pinus radiata* D. Don to ethanol. Enzyme Microb Technol, doi:10.1016/j.enzmictec.2007.08.006 (en prensa)
2. Dey G, Mitra A, Banerjee R, Maiti BR. 2001 Enhanced production of amylase optimization of nutritional constituents using response surface methodology. Biochem Eng J;7:227–31.
3. Francis F, Sabu A, Madhavan Nampoothiri K, Ramachandran S, Ghosh S, Szakacs G, Pandey A. 2003 Use of response surface methodology for optimizing process parameters for the production of a-amilase by Aspergillus oryzae. Biochem Eng J;15:107–15.

4. Ghanem NB, Yusef HH, Mahrouse HK. 2000 Production of Aspergillus terreus xylanase in solid state cultures: application of the Plackett–Burman experimental design to evaluate nutritional requirements. Biores Technol;73:113–21
5. Isaccson, W. B. (1970). "Statistical Analyses for Multivariable Systems" .Chemical Engineering, june 29, ,69-75
6. Levin L, Forchiassin F, Viale A. 2005. Ligninolytic enzyme production and dye decolorization by *Trametes trogii*: application of a Plackett-Burman experimental design to evaluate nutritional requirements.
7. Pan XJ, Arato C, Gilkes N, Gregg D, Mabee W, Pye K, et al. 2005. Biorefining of softwood using ethanol organolsolv pulping: Preliminary evaluation of process stream for manufacture of fuel grade ethanol and co-products. Biotechnol Bioeng; 90: 473-81
8. Pan XJ, Gilkes N, Kadla J, Pye K, Saka S, Gregg D, et al (2006). Bioconversion of Hibrid Poplar to ethanol and co-products using an Organosolv fractionation Process: Optimization of Process Yields. Biotechnol Bioeng; 94:851-61
9. Plackett RL; Burman JL. 1946. The design of multifactorial experiment. Biometrika. 33:305-25.
10. Wu J, Ju LK. 1998. Enhancing enzymatic sacharification of waste newsprint by surfactant addition. Biotechnol. Prog. 14, 649-652.
11. González M (2004) Impacto global de una tecnología más limpia en la fabricación de papel para ondular. Tesis de disertación en opción al grado científico de Doctor en Ciencias específicas (PhD) Universidad Central de Las Villas.
12. González, E (1991) Aplicación del análisis de procesos en la intensificación de diferentes industrias de Cuba. Tesis de disertación para la obtención del grado científico de Doctor en Ciencias (segundo nivel en Cuba). Universidad Central de Las Villas. Cuba
13. Mesa, L, González, E (2008). Evaluación preliminar del pretratamiento Organosolv del bagazo de la caña de azúcar para la obtención de azúcares fermentables con vistas a la producción de etanol. IV Taller Caribeño de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos. Cuba

TRATAMIENTO DE LOS AGUARDIENTES DE CAÑA CON CARBÓN ACTIVO. MÉTODOS, TRANSFORMACIONES Y RESULTADOS

Oscar Queris Hernández, Eusebio García

Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Carretera al Guatao Km. 3½. La Habana CP 19200.Cuba. E-mail: noalores@infomed.sld.cu

Resumen

El tratamiento de destilados con carbón activado con el objetivo de mejorar sus características sensoriales es una práctica habitual en las industrias productoras de bebidas espirituosas.
Este tratamiento puede ser realizado de diversas formas como son el empleo de columnas de lecho fijo, de lecho fluidizado, el uso de carbón en polvo en sistemas batch o continuos o su filtración a través de placas que llevan incorporado carbón activado en su constitución.
En el presente trabajo se han tratado aguardientes de caña mediante columnas de lecho fijo, de lecho fluidizado y sistemas batch con carbón en polvo, y utilizando técnicas analíticas clásicas y de cromatografía gas líquido se han determinado que cambios se producen en algunos de los grupos fundamentales que constituyen el aroma de los aguardientes.
Los resultados muestran la importancia que reviste el tiempo de uso del carbón en las columnas de lecho fijo así como el tiempo de contacto tanto en los sistemas de lecho fluidizado como cuando se emplea carbón en polvo. Se ha determinado que no existe prácticamente eliminación de los alcoholes superiores mayoritarios y sí una disminución notable de los ésteres etílicos superiores y de ácidos orgánicos.
El análisis sensorial de aguardientes tratados con carbón activo permitió conocer que cambios analíticos son los que se corresponden con la aceptación de los destilados para su uso en la industria ronera

Palabras clave: Aguardientes, carbón activo, tratamientos, cambios

Abstract

Active carbon distillates treatment, to improve their sensorial characteristics, is a customary practice in the spirituous beverage producers industries.
This treatment may be carry out in different ways like fixed bed columns, fluidized bed systems, batch or continuous systems with powder carbon or filtration through sheets with active carbon incorporated.
In this work, sugar cane distillates have been treated through fixed bed columns, fluidized bed systems and powder active carbon in batch procedures, and, using classical analytical techniques and gas liquid chromatography methods, changes produced, on some of the fundamental groups flavour constituents of sugar cane distillates, are determined.
Results show how important is carbon total work time in the fixed bed columns, just like contact time in fluidized bed and powder carbon systems. It was determine that do not exist practical elimination of majority superior alcohols and there is a remarkable diminution of superior ethylic esters and organic acids.
The sensorial analysis of sugar cane distillates treated with active carbon let know the analytical changes that correspond with the distillates approval for their use in rum production.

Key words: Distillates, active carbon, treatment, changes.

Introducción

Diversas tecnologías de elaboración de destilados contemplan como una etapa recomendable en el proceso el tratamiento con carbón de ellos, ya que se obtiene una mejoría notable en los caracteres sensoriales de éstos. El caso mas conocido es el vodka donde se busca una limpieza total del destilado para obtener un producto totalmente neutro.
El caso de los aguardientes de caña para la elaboración de rones es totalmente diferente pues si el tratamiento fuera extremo, el destilado quedaría exento de sustancias aromáticas que son imprescindibles para la caracterización de los mismos. No obstante, la mejoría sensorial lograda en los aguardientes es incuestionable.
Otras vías de mejorar los caracteres sensoriales de los aguardientes pueden ser la destilación a alto grado, como sucede en el caso de las denominadas tafias, algunas de las cuales se destilan hasta a 94 % alcohólico con lo que disminuye el contenido de congéneres aromáticos (Decreto 3192/1983; Standard 363/1992-07) o el tratamiento con ozono según reportan Vázquez M y González Ma. D. (1988).
Existen diversas maneras de realizar el tratamiento con carbón activado siendo los más populares las columnas de lecho fijo o fluidizado y el uso de carbón en polvo en sistemas batch o continuos.
El objetivo del presente trabajo es presentar los resultados del tratamiento con carbón de aguardientes de caña empleando distintos métodos, a saber, columnas de lecho fijo, tratamientos batch con carbón en polvo y columnas de lecho fluidizado, determinando que cambios químicos son los que se presentan en dichos aguardientes al mejorar sus caracteres sensoriales

Materiales y Métodos

Para los trabajos de cama fija, se utilizó una columna de vidrio 51 Mm. de diámetro, lleno con 200 g de carbón PKH de 0,6 a 1,2 Mm. y 80 g del mismo carbón de 0,2 a 0,6 Mm. con un tiempo de residencia de 140 minutos, realizando tres réplicas independientes empleando en cada una de ellas aguardiente añejado 18 meses y diluido a 52,5-53,5% alcohólico.
Cada muestra analizada correspondió a 12 horas de operación, manteniendo esta hasta que el aguardiente obtenido mostraba deficiencias en los caracteres organolépticos que lo hacían no utilizable en rones.
Para las experiencias de lecho fluidizado también se empleó aguardiente de similares características y acorde a recientes resultados obtenidos por Queris O y Pino J (2006), este aguardiente fue diluido a 47-48 % para intensificar la eliminación de impurezas. Se utilizó carbón ROX 0,8 de la firma Norit el que es un carbón extruido y reactivable.
Las experiencias de fluidización se realizaron en una columna de vidrio de un diámetro de 2,52 cm. con un ensanchamiento en su extremo superior hasta un diámetro de 3,45 cm. que permitía la retención del carbón dentro de la columna acorde al flujo utilizado. En cada experiencia se emplearon 30 g de carbón ROX 0,8 el que daba lugar, en régimen estático, a una columna de carbón de 16.5 cm. de altura la que en régimen fluidizado alcanzaba una altura de 25.5 cm.
Se utilizaron 4 L de aguardiente diluido en cada ensayo, el que se mantuvo en recirculación a un flujo de 3.3 mL/seg. durante 2, 4, 6 y 8 horas lo que permitía un tiempo total de contacto aguardiente/carbón de 2´44¨, 5´28¨, 8´12¨ y 10´56¨.
Al aguardiente sin tratamiento y al obtenido de las experiencias de fluidización se les determinó % alcohólico (NC 290:2007), acidez total (NC 291:2003), ésteres (NC 534:2007), aldehídos (NC 519:2007), fenoles totales expresados como ácido tánico según AOAC 1997 e intensidad colorante (NC 529:2007).
Para la realización de las experiencias con carbón en polvo se utilizó carbón Norit SX-I determinando el efecto de la dosificación de carbón y del tiempo de contacto tanto en el caso de los ésteres etílicos como en el de los ácidos grasos y alcoholes superiores.
En busca de relacionar la respuesta sensorial con una respuesta analítica se tomaron 20 muestras de aguardientes añejados entre 12 y 24 meses y se trataron con dosis variables de carbón SX-I desde 1 a 3,5 g/L

manteniendo en agitación durante 15 minutos, filtrando y determinando sensorialmente (aceptación-rechazo) por un panel de 4 expertos, cuales eran aptas para el proceso ronero. Aquellas muestras que unánimemente fueron aceptadas se analizaron y procesaron los resultados determinando que cantidad de cada variable permanecía sin adsorber.

Variaciones en los alcoholes superiores

A las muestras obtenidas en las tres réplicas del sistema de cama fija se les determinó alcoholes superiores por CGL empleando un cromatógrafo GV-207 Carlo Erba con detector de ionización de llama, operando el detector a 250° C, el inyector a 250° C y la columna a 100° C.

La velocidad del papel fue de 35 cm./h. Se empleó una columna de vidrio de 2 m de largo y 4 Mm. de diámetro interior. Se utilizó como gas portador nitrógeno a un flujo de 30 mL/minuto, empleando una columna de PEG 1500 en Chromosorb W 60-80 mesh. Se inyectaron 3 µL y el análisis cuantitativo se efectuó por el método del patrón interno n-butanol.

Para la determinación del efecto ejercido por el carbón SX-I sobre los alcoholes superiores se aplicó el mismo método de análisis descrito a muestras del aguardiente tratado con cantidades variables de carbón desde 0,25 a 3g/L después de 30 minutos de contacto con agitación.

Variaciones en los ésteres etílicos

Para la realización de esta etapa, se tomaron cinco porciones de un mismo aguardiente añejado 18 meses y diluido a 52,5-53,5% alcohólico tratándose a razón de 0,5-1,0-2,0 y 3,0 g/L de carbón SX-I durante 30 minutos con agitación, filtrando posteriormente para eliminar el carbón. La quinta fracción permaneció como testigo del aguardiente sin tratar. En este caso se hallaron las ecuaciones que mejor expresaban el comportamiento de cada variable en relación con la dosis de carbón, así como los coeficientes de regresión correspondientes.

Para observar el efecto del tiempo de contacto se trató este mismo aguardiente con 3 g/L de carbón SX-I manteniéndose con agitación y tomando porciones a los 4, 10, 20, 30 y 40 minutos de contacto.

De los aguardientes a ser analizados se tomaban 40 mL, se añadían 5 g de cloruro de sodio y 2 mL de bisulfuro de carbono, se agitaba vigorosamente 7 minutos y se centrifugaba a 3000 Rev. /min. durante 2 minutos

Se tomaban 3 µL del extracto en bisulfuro de carbono y se inyectaban en el cromatógrafo (Pye Unicam 204) con detector de ionización de llama empleando una columna de 2 m de largo y 2 mm de diámetro interno. El gas portador fue nitrógeno a un flujo de 20 mL/min.; la temperatura en el inyector fue de 250° C y en el detector 250° C

Se utilizó programación de temperatura empleando una isoterma inicial de 3 minutos a 100° C y elevación de temperatura a razón de 4° C por minuto hasta 220° C donde se mantenía 15 minutos. El patrón interno fue el pelargonato de etilo.

Variaciones en los ácidos grasos.

La materia prima empleada fue aguardiente añejado de 18 meses rebajado a 52,5-53,5% alcohólico.

Para aislar la porción ácida de la neutra y básica se siguió un método de extracción selectiva, siendo este extracto posteriormente metilado para su separación e identificación cromatográfica.

Para ello, en un embudo separador de 1000 mL se colocaban 250 mL de aguardiente diluido a 52,5-53,5% alcohólico y 500 mL de agua destilada. Se realizaban 3 extracciones empleando 100, 50 y 50 mL de éter, uniendo los extractos etéreos en un embudo separador de 500 mL y desechando la fase acuosa.

El extracto etéreo se trataba tres veces con 10 mL de carbonato de sodio al 5%; la fase acuosa era recogida en un erlenmeyer donde se ajustaba su pH a 2 con solución diluida de ácido clorhídrico diluido. La solución ácida se llevaba a un embudo separador donde se trataba tres veces con dosis de 50 mL de cloruro de metileno, desechando la fase acuosa y pasando los extractos en cloruro de metileno a un balón donde se añadía sulfato de sodio anhidro y se dejaba estar 24 horas. Se separaba la muestra del sulfato de sodio y se evaporaba a sequedad. La muestra seca se lavaba con pequeñas porciones de cloruro de metileno y se pasaba a un balón de 10 mL donde se volvía a secar.

La muestra seca se trataba con 500 mL de metil 8 (dimetil acetal en piridina). Se colocaba en un baño a 60° C durante 15 minutos quedando lista para ser inyectada en el cromatógrafo.

Para la obtención del cromatograma se empleó una columna de 2 m de largo y 2,5 Mm. diámetro interno llena con SE-30, 10% como soporte, con el detector a 230° C y el inyector a 200° C. Se utilizó un programa de temperatura consistente en un isoterma inicial de 10 minutos a 100° C con elevación de temperatura a razón de 6° C/min. hasta 210° C.
El flujo de nitrógeno fue de 50 mL/min. y la velocidad del papel 120 seg. /cm.; la sensibilidad 100x32 y se inyectó 1 µL de muestra.
Con el objetivo de medir el efecto de diferentes dosis de carbón sobre los ácidos grasos se trataron dosis de un mismo aguardiente con 0,5-1,0-2,0 y 3,0 g/L de carbón SX-I durante 30 minutos con agitación, eliminando el carbón y determinando los ácidos grasos, hallando el % de concentración relativa de cada uno con respecto al contenido en la muestra original sin carbón. Se hallaron las ecuaciones que mejor expresaban el comportamiento de cada variable así como los coeficientes de regresión correspondientes.
Para determinar el efecto del tiempo de contacto se fijó una dosis de 3 g/L y se tomaron muestras a los 4, 10, 20 y 40 minutos procediendo al igual que anteriormente
.

Resultados y Discusión

Transformaciones que se producen durante el tratamiento de los aguardientes en sistemas de lecho fijo de alta productividad

Las figuras 1 a 4 muestran los resultados obtenidos en las tres réplicas del sistema de lecho fijo a 52,5-53,5% alcohólico en relación a la acidez total, el color, los alcoholes superiores y los fenoles.
Es de interés observar en las tres réplicas, el comportamiento de tendencia aparentemente cíclica, pues se detectan zonas de aumento en el contenido de las variables analizadas en el aguardiente, después de zonas de disminución de ellas lo que parece indicar una cierta desorción de los compuestos adsorbidos
Se observa una disminución inicial grande de la acidez total que cuando el carbón está agotado, los valores de la dilución de alimentación a la columna y los de la filtración que se obtiene de ella son similares.
En el caso de los fenoles existen valores oscilantes pero siempre hay una disminución total de ellos al principio de empleo del carbón y un aumento gradual a medida que este va perdiendo su actividad. En este caso también el comportamiento parece ser cíclico.
Los resultados obtenidos con los fenoles nos llevan a algunas deducciones. Los fenoles presentes en los aguardientes añejados son fundamentalmente los provenientes de la madera de los barriles, los que aun cuando fueran eliminados en esta etapa del proceso, posteriormente, en la etapa de añejamiento del ron, surgen de nuevo y sin embargo, en esta etapa no existen los problemas de olores desagradables, por lo que este grupo de compuestos no debe ser el que determina la calidad de los aguardientes tratados con carbón activo. No obstante esto, existe la posibilidad de eliminación de fenoles propios del destilado derivado de la caña de azucar, los que fueron reportados en rones tipo Jamaica por Timmer (1971) y entre los que se encuentran el fenol, p-etil fenol, o-cresol, guaiacol, p-etil guaiacol y dehidro eugenol y recientemente se reportan por Queris O y Pino J., (2006).
.
.

Fig 1. Variaciones de la acidez total en sistema de cama fija a 53% alcohólico

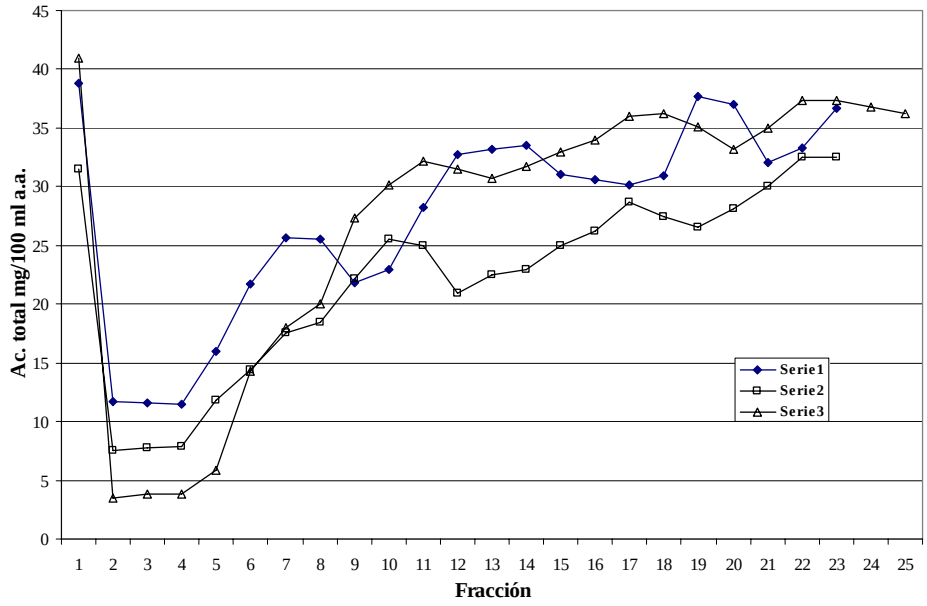


Fig 2. Variaciones del color en sistema de cama fija a 53% alcohólico

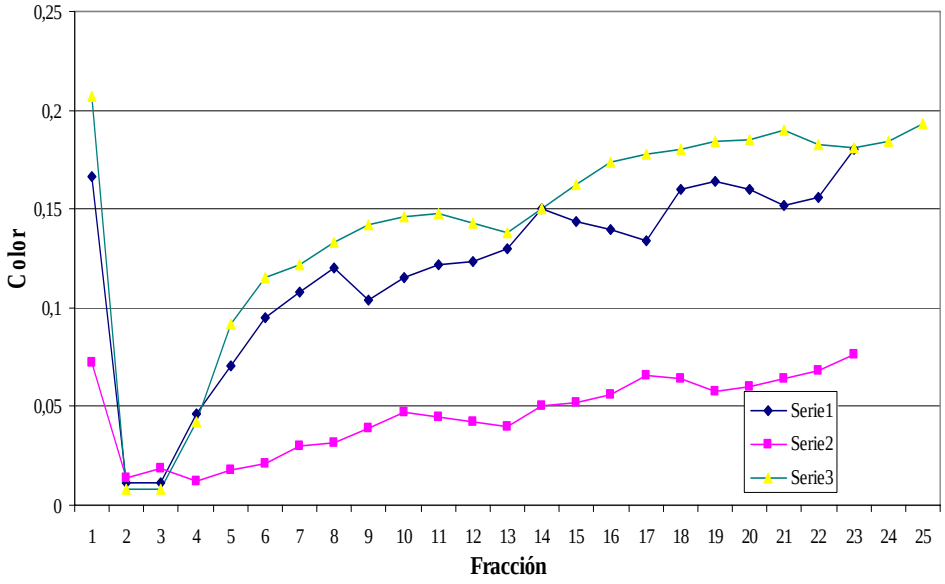


Fig 3. Variaciones de los alcoholes superiores en sistemas de cama fija a 53 % alcohólico

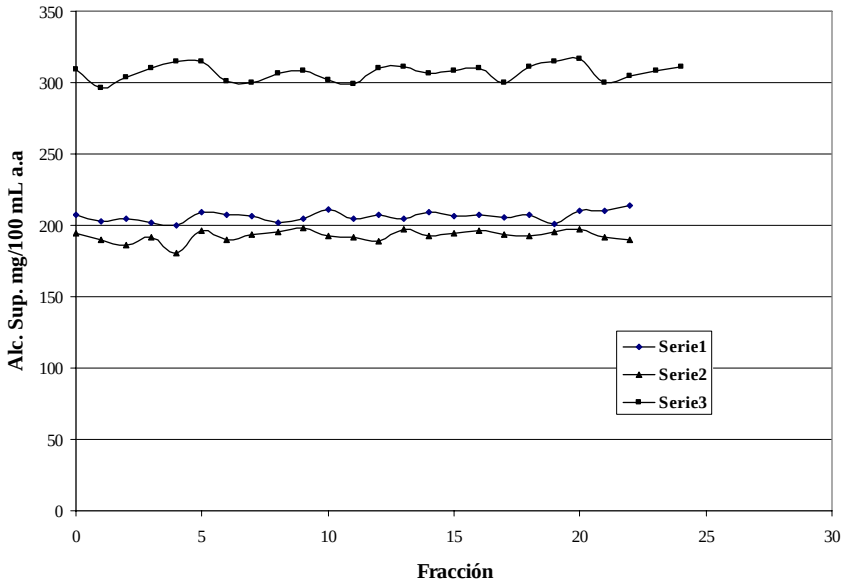
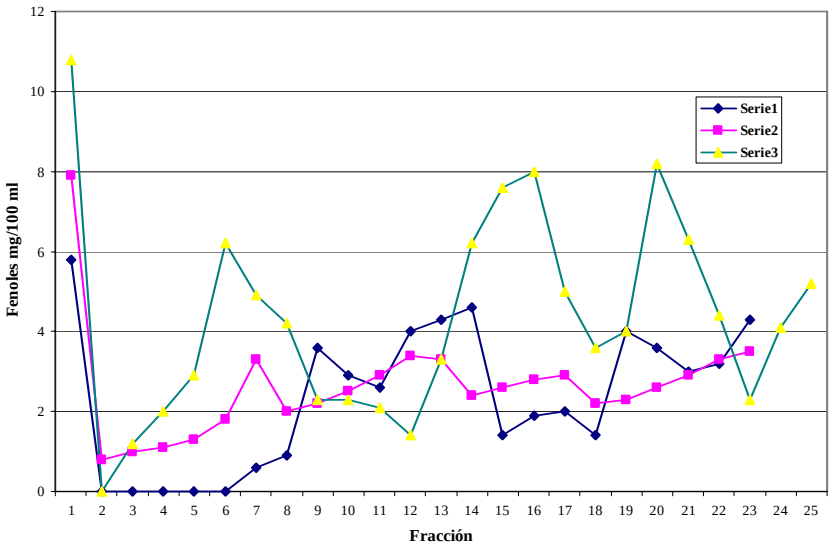


Fig 4. Variaciones de los fenoles en sistema de cama fija a 53% alcohólico



.En cuanto a los alcoholes superiores no se puede plantear que exista un comportamiento decidido de adsorción y por lo tanto que ésta sea la causa de la mejoría de los caracteres sensoriales durante el tratamiento con carbón.

En general, podemos decir que las transformaciones que tienen lugar en los aguardientes durante la vida útil del carbón ensayado, dependen del tiempo de empleo del carbón y son cuantitativamente diferentes en cada

momento y dada la tendencia oscilatoria en los valores que indica en general un aparente comportamiento por ciclos en la mayoría de las variables analizadas, podemos plantear que la forma mas práctica y real de controlar el estado del carbón en los filtros desodorizantes de aguardientes para determinar si es necesaria su reactivación o sustitución, es mediante el análisis de la acidez total y el color del aguardiente de entrada al sistema de lecho fijo y al de salida del mismo.
Cuando el valor de la acidez del aguardiente de salida del sistema alcance el 90% del valor del aguardiente de entrada y el color sea superior al 80% del color original deberá procederse a la reactivación o sustitución del carbón. Estas variables pueden ser tomadas como elemento de control ya que son grupos analíticos con tendencias bien definidas durante la vida útil del carbón estudiado.
Otro señalamiento a realizar es la necesidad del establecimiento de controles muy rígidos sobre las filtraciones de aguardientes y su empleo para la elaboración de los rones pues las características de estas dependerán en alto grado del estado de saturación que presente el carbón y por lo tanto los rones que se elaboren a partir de ellas presentarán diferencias en su calidad.

Transformaciones que se producen durante el tratamiento con carbón en polvo
Transformaciones relacionadas con la dosificación del carbón activo
En la tabla I presentamos los resultados de los análisis realizados a las muestras tratadas con 6 dosis diferentes de carbón activo SX-I a un tiempo constante de 20 minutos

Tabla I. Efecto de la dosificación de carbón activo SX-I sobre la composición de aguardientes (% no adsorbido)

Dosis g/l	Ac. Total	Esteres	Aldehídos	Fenoles	Furfural	Color
1.0	87.5	85.1	92.6	45.7	87.2	22.3
1.5	84.7	84.6	120.0	22.9	72.1	11.9
2.0	83.3	83.6	150.5	19.3	59.8	6.5
2.5	83.1	80.4	167.1	16.2	51.3	4.9
3.0	82.5	76.7	175.0	12.2	45.7	3.3
3.5	82.2	75.4	182.2	9.3	39.2	1.9

Se hallaron las ecuaciones que explican el comportamiento de cada variable, concluyendo que:

Acidez total	$y = 1.1214x^2 - 6.9493x + 93.024$	$r^2 = 0.97$
Esteres	$y = -1.0571x^2 + 0.4486x + 86.08$	$r^2 = 0.97$
Aldehidos	$y = -13.671x^2 + 97.499x + 7.7086$	$r^2 = 0.99$
Fenoles	$y = 42.831x^{-1.1712}$	$r^2 = 0.97$
Furfural	$y = 4.9857x^2 - 41.161x + 122.95$	$r^2 = 0.99$
Color	$y = 50.766e^{-0.9397x}$	$r^2 = 0.99$

Donde ¨y¨ es el contenido de la variable no adsorbido y ¨x¨ es la dosis de carbón

Al analizar los resultados logrados observamos que este carbón presenta efecto marcado sobre los aldehídos, fenoles, furfural y color detectándose que mientras los valores de los ácidos, ésteres, fenoles, fufural y color descienden a medida que la dosis de carbón es mayor, los valores de aldehídos aumentan, lo que puede estar dado por su capacidad oxidante, dado el aire contenido en sus poros.

Transformaciones relacionadas con el tiempo de contacto
En la tabla II presentamos los resultados de los análisis realizados a las muestras tratadas con 2 g/Lde carbón SX-I durante diferentes períodos de tiempo.
Sobre el efecto de este carbón podemos decir que a los 10 minutos de contacto se obtuvo el menor valor para la acidez total y que en el caso de los ésteres, fenoles, furfural, color y aldehídos los valores obtenidos, si

bien continúan variando, lo hacen en una cuantía mínima por lo que no resulta de interés práctico prolongar los 10 minutos planteados

Tabla II. Efecto del tiempo de contacto con el carbón SX-I sobre la composición del aguardiente.

Tiempo minutos	Ac.Tot mg/100 mL a.a.	Esteres mg/100 mL a.a.	Aldehidos mg/ 100 mL a.a.	Fenoles mg/100 mL	Furfural mg/L	Color
0	47.3	35.7	3.9	13.3	4.7	0.184
4	41.9	31.0	5.9	3.1	3.3	0.016
10	41.2	27.0	6.9	2.6	2.8	0.012
20	42.0	26.1	7.1	2.3	2.3	0.010
30	41.9	27.0	7.1	1.8	2.9	0.008
40	41.7	27.9	7.1	1.6	3.0	0.007

.

Es necesario señalar que el empleo del carbón en polvo presenta como principal ventaja el control que se puede ejercer sobre el producto que se desea obtener, pues acorde a las características del carbón empleado y del aguardiente a tratar será la dosificación del carbón a utilizar.

Otro punto a tomar en cuenta es el referente al tiempo necesario para obtener la adsorción deseada, pues, mientras que en los sistemas tradicionales el paso del liquido a través del carbón es muy lento, y en los percoladores de alta productividad este es algo mayor que una hora, en el caso del carbón en polvo ya a partir de los 10 minutos deja de tener sentido práctico mantener el contacto entre el carbón y el líquido lo que tiene gran importancia para el diseño de reactores o sistemas continuos con carbón en polvo.

En base a lo anterior es posible, acorde al tipo y dosis de carbón, tiempo de contacto y contenido de impurezas en el destilado, modelar el tratamiento de forma de garantizar una composición constante en el aguardiente ya tratado lo que es de suma importancia para la uniformidad de la calidad del producto terminado.

Relación entre la composición analítica y el análisis sensorial

Acorde a los resultados de los análisis de acidez total, fija, fenoles, furfural y color realizados a las muestras aceptadas sensorialmente para su empleo en la industria ronera quedó definido que las dosificaciones de carbón que producen la mejoría sensorial, se encontraron siempre entre 2 y 3 g/L pues con dosis superiores o inferiores a estas nunca se pudo obtener coincidencia total en las evaluaciones de los jueces, ya que por lo general, dosis mas bajas no siempre garantizaban la “limpieza” que produce la mejoría sensorial del producto y dosis mayores lo dejaban demasiado ”limpio”, lo que significa que en general, la eliminación de impurezas en el aguardiente es obtenida mayoritariamente en el rango de 2 a 3 g/L al ser utilizado el carbón SX-I

Los aguardientes fueron aceptados después de su tratamiento con carbón cuando:

Su acidez total estaba entre 54.81±8.36 y 66.0±7.25 % de la acidez antes del tratamiento

Su acidez fija estaba entre el 56.76±16.76 y 67.52±12.93 % de la de antes del tratamiento

Sus fenoles se encontraban entre 20.02± 9.15 y 30,28±8.87 % de los iniciales

El furfural se hallaba entre 58.852±6.36 y 70,01±5.22 % del aguardiente sin tratar

El color obtenido era entre el 14,12 ±4.43 y 34,77 ±5.07 % del original.

Lo anterior no significa que estas variables sean las responsables de la mejoría organoléptica del aguardiente sino que su comportamiento en conjunto puede ser empleado como un índice de la misma

Por lo tanto siempre que los valores de los aguardientes a destufar se encuentren dentro del rango de los aquí estudiados, puede emplearse 2,5 g/L de carbón lo que garantiza aguardientes limpios, utilizables en la industria ronera

Si comparamos estos resultados con las curvas de adsorción en los sistemas de cama fija, observamos que los valores obtenidos se encuentran en el rango central del comportamiento del carbón, todo lo cual confirma los resultados obtenidos.

Variaciones de los alcoholes superiores

A) En sistemas de lecho fijo con carbón granulado

En la Fig. 3 presentamos los resultados del comportamiento de los alcoholes superiores en el sistema de cama fija. Como se observa, la concentración de los alcoholes superiores analizados no ofreció variación durante el desarrollo de todas las experiencias, ni al inicio (con el carbón nuevo), ni al final cuando ya el carbón se encontraba agotado, por lo que no se puede atribuir la mejoría organoléptica a cambios en el contenido de los tres alcoholes superiores fundamentales en el aguardiente. Estos resultados no niegan la posibilidad de la existencia de carbones activos que afecten la presencia de estos alcoholes, pero si esclarecen la creencia sobre la influencia de ellos en la mejoría sensorial de los aguardientes quedando establecido que no es básicamente su eliminación la que produce dicha mejoría.

B) En sistemas que emplean carbón en polvo

En la tabla III presentamos los valores de los alcoholes superiores obtenidos al emplearse diferentes dosis de carbón en polvo SX-I en contacto con el aguardiente. En ella podemos observar que al igual que se produjo en el sistema de lecho fijo (empleando otro tipo de carbón), tampoco se detecta variación en el contenido de los tres alcoholes superiores fundamentales por lo que no debe atribuirse la mejoría organoléptica al contenido de estos alcoholes pues tanto en las muestra con las dosis menores que se consideraron no aptas para el proceso ronero, como en las que llevaron una dosificación mayor (2-3 g/l) que se estimaron adecuadas para su empleo, el contenido de los tres alcoholes superiores fue similar.

Tabla III. Efecto del carbón activo SX-I sobre los alcoholes superiores

Carbón g/L	n-propanol mg/100 mL a.a.	I-butanol Mg/100 mL a.a.	I-amílico mg/100 mL a.a.	Total mg/100 mL a.a.
0	48.0	79.3	264.5	391.8
0.25	49.4	79.8	253.4	382.8
0.50	47.1	83.8	276.5	407.5
0.75	47.0	79.8	266.4	393.2
1.0	47.9	80.5	268.8	397.2
1.25	49.4	82.1	270.4	401.9
1.50	48.5	79.6	268.4	396.5
1.75	52.3	84.5	277.2	414.1
2.0	50.5	79.6	259.7	389.8
2.25	47.1	79.1	257.5	383.8
2.50	45.9	79.3	266.4	391.7
2.75	50.6	79.8	260.6	391.0
3.0	50.8	78.6	264.5	394.0

Variaciones en los ésteres etílicos

En la tabla IV mostramos los resultados obtenidos con las diferentes dosis de carbón empleadas, observándose el efecto decisivo que sobre la presencia de los ésteres etílicos ejerce dicha dosificación.

Como se observa, la acción del carbón ya es notable aún con la menor dosis, siendo el poder de adsorción mayor a medida que aumenta la cadena carbonada del éster. El caprilato de etilo disminuye su concentración en 66% de la original; el caprato en un 89.3%; el laurato en 90,3% y el miristato en 94.9%, siendo esta diferencia en el poder de adsorción la que determina que mientras en el aguardiente sin tratar con carbón, la relación entre los 4 ésteres fundamentales (C8:C10:C12:C14) era 0.34:1:0.65:0.11, en el aguardiente tratado con 3 g/l de carbón esta relación fue 1.08:1:0.46:0.054 lo que equivale a decir que mientras en el aguardiente sin tratar el éster mayoritario era el C10, en el aguardiente tratado el mayoritario e el C8.

Tabla IV. Concentración de ésteres etílicos en aguardientes tratados con diferentes dosis de carbón activo.

Dosis de Carbón g/L	Medición	Caprilato de etilo	Caprato de etilo	Laurato de etilo	Miristato de etilo	Total
0	mg/L éster %	3.59 100	10.41 100	6.78 100	1.17 100	21.95 100
0.5	mg/L éster %	3.22 89.69	7.02 67.50	3.60 53.00	0.35 29.91	14.19 64.60
1.0	mg/L éster %	3.00 83.56	5.70 54.80	2.01 29.64	0.26 22.22	10.97 49.98
2.0	mg/L éster %	1.32 36.70	2.38 22.40	0.73 10.76	0.13 11.11	4.56 20.77
3.0	mg/L Éster %	1.20 33.40	1.11 10.67	0.52 9.66	0.06 5.12	2.89 13.16

Obsérvese que todo lo concluido reafirma el principio de que la adsorción es mayor a mayor peso molecular del éster en cuestión, siendo las ecuaciones que describen el fenómeno de su adsorción las siguientes:

Esteres superiores totales $y = 2{,}399x^2 - 13{,}327x + 21{,}4$ $r^2 = 0.99$
Caprilato de etilo $y = 0{,}1138x^2 - 1{,}2382\,x + 3{,}7514$ $r^2 = 0{,}93$
Caprato de etilo $y = 0{,}8936x^2 - 5{,}6953\,x + 10{,}181$ $r^2 = 0{,}99$
Laurato de etilo $y = 1{,}1669x^2 - 5{,}4206\,x + 6{,}4491$ $r^2 = 0.98$
Miristato de etilo $y = 0{,}7713\, e^{-0{,}8981x}$ $r^2 = 0.93$

Donde ¨y¨ es la concentración de éster en mg/L y ¨x¨ es la dosis de carbón

La disminución total de los ésteres etílicos superiores fue desde 21.95 mg/L en el aguardiente sin tratar hasta 2.89 g/L en el aguardiente tratado, lo que equivale a decir que disminuyeron 86,84%

Si aplicamos estas ecuaciones para valores de carbón entre 2 y 3 g/L que son los concluidos como recomendables para el tratamiento con el carbón SX-I, podemos plantear que la mejoría sensorial se obtiene cuando quedan en el aguardiente después del tratamiento con carbón:

Esteres etílicos superiores totales Entre 13,7% y 19,77% del contenido original
Caprilato de etilo Entre 29,5% y 48,2% del contenido original
Caprato de etilo Entre 10,92% y 22,71% del contenido original
Laurato de etilo Entre 4,06% y 10,17% del contenido original
Miristato de etilo Entre 4,4% y 10,9% del contenido original

En la tabla V mostramos los resultados obtenidos con cada período de tiempo ensayado.

Tabla V. Efecto del tiempo de contacto con el carbón activo sobre la concentración de ésteres etílicos

Tiempo(min)	Medición	Caprilato de etilo	Caprato de etilo
0	mg/L ester %	3.59 100	10.41 100
4	mg/L éster %	2.03 56.5	2.26 21.71
10	mg/L éster %	1.33 37.04	1.35 12.97
20	mg/L éster %	1.20 33.4	1.12 10.76
30	mg/L éster %	0.86 23.96	0.89 8.55
40	mg/L éster %	1.33 37.05	1.17 11.24

Como se puede observar en esta tabla, es notable el hecho de que los dos ésteres que se decidió determinar, caprilato y caprato de etilo, disminuyen su concentración hasta los 30 minutos de contacto, pero sin embargo, con el tratamiento de 40 minutos se observa un ligero aumento de dicha concentración lo que hace pensar en la posibilidad de una desorción por parte del carbón después de un tiempo determinado de contacto, destacándose que el éster de mayor cadena carbonada (C_{10}) se desorbe menos que el de menor cadena (C_8) es decir que pudiera ocurrir que mientras mayor sea el poder de adsorción del carbón sobre el éster, menor sea su capacidad de desorción del mismo.

Variaciones de los ácidos grasos superiores

El efecto de las diferentes dosis del carbón SX-I sobre los ácidos grasos superiores aparece reflejado en la tabla VI

Tabla VI. Concentración de ácidos grasos superiores en aguardientes tratados con diferentes dosis de carbón activo

Dosis g/l	Medición	Ac. Cáprico	Ac. Capróico	Ac. Láurico
0	Área media	0.471	0.840	0.187
	% de ácido	100	100	100
0.5	Área media	0.225	0.265	0.079
	% de ácido	56.2	31.5	42.2
1.0	Área media	0.120	0.138	0.016
	% de ácido	25.4	16.4	8.5
2.0	Área media	0.06	0.080	0.010
	% de ácido	14.6	9.5	5.3
3.0	Área media	0.069	0.042	0.0
	% de ácido	14.6	5.0	0.0

Es bueno destacar, que acorde al principio de que la adsorción de moléculas de estructura semejante aumenta con el tamaño de ellas, los ácidos grasos presentes en los aguardientes deben ser adsorbidos y que estos poseen influencia sobre el bouquet de las bebidas, dado que sus umbrales de detección sensorial son relativamente bajos según planteó Salo (1970 y 1972).

Como se observa, el efecto producido es similar al mostrado en los ésteres etílicos, cumpliéndose en general que la adsorción aumenta con el largo de la cadena carbonada del ácido y con el incremento de la cantidad de carbón activo, llegándose a una adsorción completa del ácido láurico con una dosis de 3 g/l de carbón. Las ecuaciones que mejor relacionan el comportamiento de cada uno de los ácidos con las dosis de carbón utilizadas fueron las siguientes:

Ac. Cáprico $y = 0{,}0925\ x^2 - 0{,}3961\ x + 0{,}4402$ $r^2 = 0{,}96$

Ac. Capróico $y = 0{,}5201e^{-0{,}9093\ x}$ $r^2 = 0{,}91$

Ac. Láurico $y = 0{,}0411x^2 - 0{,}1773\ x + 0{,}1716$ $r^2 = 0{,}93$

Donde ¨y¨ corresponde al área media y ¨x¨ a la dosis de de carbón.

Si en este caso, según los criterios obtenidos en cuanto a la relación entre la dosis de carbón y las aceptación sensorial, aplicamos las fórmulas halladas anteriormente al rango 2-3 g/L de carbón, obtenemos que los aguardientes resultan aceptados sensorialmente cuando después del tratamiento con carbón:

El contenido de ácido cáprico se encuentra entre 3,8 y 17,9% del original

El contenido de ácido cáprico se halla entre el 4 y 10% del inicial

El ácido láurico está presente en solo un máximo de 5% del inicial

En la tabla VII se presenta el resultado del tiempo de contacto sobre el contenido de ácidos grasos.

Como se puede observar, la adsorción mayor se produce en los primeros minutos de contacto dejando de tener interés práctico prolongar el tiempo por mas de 10 minutos.
En relación con los ácidos se observa al igual que con los ésteres etílicos, una cierta desorción a tiempos superiores a 30 minutos.

Tabla VII. Efecto del tiempo de contacto con el carbón activo sobre la concentración de los ácidos grasos

Tiempo (min.)	Medición	Ac. Cáprico	Ac. Capróico	Ac. Láurico
0	Área media	0.471	0.840	0.187
	% de ácido	100	100	100
4	Área media	0.122	0.086	0.010
	% de ácido	25.9	10.2	5.3
10	Área media	0.072	0.049	0.007
	% de ácido	15.3	5.8	3.7
20	Área media	0.069	0.042	0.0025
	% de ácido	14.6	5.0	1.3
30	Área media	0.058	0.037	0.0032
	% de ácido	12.2	4.4	1.6
40	Área media	0.114	0.050	0.017
	% de ácido	23.9	5.95	9.1

En resumen podemos decir que el contenido de ácidos grasos superiores en aguardientes de caña es disminuido notablemente durante el tratamiento con carbón activo, teniendo un gran efecto tanto la dosis de carbón como el tiempo de contacto.

Conclusiones

- Las columnas de lecho fijo producen en los aguardientes de caña disminución en el contenido de las variables analizadas cuya concentración va en aumento a medida que el carbón se agota por lo que el sistema no es capaz de garantizar una uniformidad en la composición del aguardiente obtenido del mismo.
- Una forma práctica de determinar el momento de reactivación del carbón en las columnas de lecho fijo es la determinación de la acidez total y el color del aguardiente de salida del sistema y su comparación con el de entrada.
- Han sido halladas ecuaciones que relacionan la cantidad de carbón activo SX-1 con la composición del aguardiente tratado con el mismo.
- Un tiempo de 10 minutos de contacto con el carbón SX-1, es suficiente para garantizar la eliminación deseada de componentes indeseables en el aguardiente.
- Ha sido hallado el rango en que deben presentarse los diferentes grupos analíticos que conforman el aroma de los aguardientes, una vez tratados con carbón activo, para que estos sean aceptados sensorialmente para su empleo en rones.
- La mejoría sensorial de los aguardientes al ser tratados con carbón lleva consigo una disminución de ésteres etílicos superiores y ácidos grasos, siendo esta eliminación mayor a mayor cadena carbonada

Bibliografía

- AOAC. 1997. AOAC Official Method 952.03. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th Edition
- Colombia. 1983. Decreto 3192. Tafias.
- Determinación del % alcohólico. 2007. NC 290.
- Determinación de la acidez total 2003. NC 291.
- Determinación del contenido de ésteres 2007. NC 534.
- Determinación del contenido de aldehídos 2007. NC 519.
. Determinación de la intensidad colorante 2007. NC 529.
- Ecuador. 1982. Ecuatorian National Standards Institute (INEN). Standard 363 (1982-07). Rum.
- Queris H.O.; Pino A. J. 2007. Efecto de la concentración alcohólica sobre la adsorción por el carbón activado de compuestos volátiles presentes en los aguardientes de caña. 2007. Memorias 6º Simposio Internacional de Alcoholes y Levaduras. Bogotá. Colombia.
- Salo P. 1970. Determining the odour thresholds for some compounds in alcoholic beverages. J. Food Science, 35, 95-97
- Salo P.; Nykanen L.; Suomalainen H. 1972 Odour thresholds and relative intensities of volatile aroma components in an artificial beverage imitating whisky. J. Food Sci. 3. 394-396
- Timmer R.; ter Heide H.J.; Woben H.j.; de Valois P. 1971. Phenolic compounds in rhum. J. Food Sci. 36(3) 462-463
- Vázquez M y González Ma. D. 1988. Depuración acelerada de aguardientes. Revista ICIDCA, Vol. 22, 2

EVALUACIÓN DE CEPAS INDUSTRIALES DE *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* EN LA FERMENTACIÓN DE HIDROLIZADOS ÁCIDOS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Teresa Fernández[1,2], Carlos Martín[1], Mohammad Taherzadeh[2]

[1]Departamento de Química e Ingeniería Química, Universidad de Matanzas, Matanzas 44740, Cuba, [2]School of Engineering, Borås University Collage, 50190 Borås, Sweden
teresa.fernandez@umcc.cu, carlos.martin@umcc.cu, mohammad.taherzadeh@hb.se

Resumen

Se evaluaron una cepa de laboratorio (# 1) y dos cepas industriales (# 2 y # 3) de *Saccharomyces cerevisiae* para la producción de etanol a partir de hidrolizados ácidos de bagazo. Las cepas # 2 y # 3, aisladas de plantas procesadoras de sustratos lignocelulósicos, presentaron una alta velocidad de consumo de furfural y de HMF. Aunque las tres cepas pudieron fermentar un hidrolizado detoxificado, para dos de ellas se observó una fuerte inhibición de la fermentación de un hidrolizado sin detoxificar. La cepa # 3, aislada de una planta de producción de etanol a partir de licores al sulfito, presentó una mayor tolerancia a inhibidores que las otras dos. La inhibición del rendimiento de etanol en la fermentación del hidrolizado no detoxificado fue de sólo 2.3 % con esa cepa, mientras que en las cepas # 1 y # 2 fue 73.9 y 86.4 %, respectivamente. La alta productividad volumétrica y específica de etanol, mayor velocidad de consumo de glucosa y más rápida conversión del furfural evidencian la superioridad de la cepa # 3, así como su factibilidad para fermentar hidrolizados sin necesidad de que medie una etapa de detoxificación.

Palabras clave: *Saccharomyces cerevisiae*, hidrolizados ácidos, fermentabilidad, producción de etanol

Abstract

One laboratory (# 1) and two industrial (# 2 and # 3) strains of *Saccharomyces cerevisiae* were evaluated for ethanol production from sugarcane bagasse acid hydrolysates. The strains # 2 and # 3, isolated from lignocellulosic substrates-processing plants, exhibited a high consumption rate of furfural and HMF. Although all the three strains were able to ferment a detoxified hydrolysate, for two of them a strong inhibition was observed in the fermentation of an undetoxified hydrolysate. The strain # 3, isolated from a spent sulphite liquor fermentation plant, displayed higher tolerance to inhibitors than the other two strains. In the fermentation of an undetoxified hydrolysate, the ethanol yield was inhibited only in 2.3 % for that strain, whereas for the strains # 1 and # 2, the inhibition was 73.9 and 86.4 %, respectively. The high ethanol volumetric and specific productivities, the glucose consumption rate, and the fast furfural conversion are good evidences of the feasibility of the strain # 3 for fermenting bagasse hydrolysates, even without the requirement for a detoxification step.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae*, acid hydrolyzates, fermentability, etanol production

Introducción

Durante los últimos años ha aumentado el interés por el etanol combustible debido al aumento de los precios del petróleo crudo, la inminencia del agotamiento del petróleo y la necesidad de mitigar el efecto invernadero. El etanol se ha convertido en un importante producto en el mercado mundial de combustibles. Su comercialización creció de menos de un millardo de litros en 1975 a más de 39 millardos en 2006 y se espera que alcance los 100 millardos en 2015 (Licht, 2006). Los altos costos de las materias primas azucaradas y amiláceas (Claassen *y otros*, 1999), así como el debate alimentos *versus* combustibles, han motivado el interés por los materiales lignocelulósicos (MLC) como posibles materias primas para la producción de etanol (Wyman, 1999; Hahn-Hägerdal *y otros*, 2006). Se ha afirmado que la producción de etanol combustible podrá permanecer como una industria importante y como un sistema agrícola auto-sostenible en el siglo XXI solamente si la utilización de los MLC se convierte en una realidad comercial (Wheals *y otros*, 1999).

El bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es un MLC de gran interés para la producción de etanol en Cuba. A pesar de que el bagazo se utiliza como combustible en los ingenios azucareros (de Armas *y otros*, 2000; Pandey *y otros*, 2000; Valdés *y otros*, 2000), puede ser considerado una materia prima potencial para la producción de etanol, especialmente si se tiene en cuenta su contenido de carbohidratos y su disponibilidad en forma concentrada en los ingenios azucareros (Martín *y otros*, 2002b).

Los MLC contienen carbohidratos en forma de celulosa y hemicelulosas, los que, mediante procesos de hidrólisis, generan monosacáridos como glucosa, xilosa y otros. A continuación, estos azúcares pueden ser convertidos en etanol por fermentación utilizando diferentes microorganismos (Almeida *y otros*, 2007). La hidrólisis de la celulosa puede ser catalizada por ácidos (Taherzadeh y Karimi, 2007a) o por enzimas (Taherzadeh y Karimi, 2007b). Tanto en la hidrólisis ácida como en el pretratamiento para la hidrólisis enzimática ocurre la degradación de los azúcares con formación de subproductos inhibitorios de la fermentación alcohólica, tales como ácidos alifáticos, aldehidos furánicos y compuestos fenólicos (Palmqvist y Hahn-Hägerdal, 2000).

Los microorganismos a ser empleados en la fermentación de hidrolizados lignocelulósicos deben producir etanol con un alto rendimiento y productividad y hacer resistencia a los inhibidores presentes en los hidrolizados (Hahn-Hägerdal *y otros*, 2001; Martín *y otros*, 2002a; Martín y Jönsson, 2003).

La búsqueda de organismos resistentes a los inhibidores se ha convertido en una tarea de máxima prioridad. En este trabajo se investigó la fermentación de hidrolizados ácidos de bagazo utilizando dos cepas industriales y una de laboratorio de *S. cerevisiae*. Las cepas industriales fueron aisladas de una planta de fermentación de licores al sulfito y de una planta demostrativa de producción de etanol a partir de residuos lignocelulósicos.

Materiales y métodos

Obtención de los hidrolizados

El bagazo de caña de azúcar, donado por el ingenio azucarero “Mario Muñoz” (Matanzas, Cuba), fue secado al aire, molido y conservado en bolsas plásticas a temperatura ambiente. Los hidrolizados fueron obtenidos por hidrólisis ácida en dos etapas. En la primera etapa, muestras de bagazo fueron impregnadas con ácido sulfúrico a una concentración final de 0.5% y una relación de 10 g de sólidos por 100 g de mezcla. El material fue colocado en un reactor presurizado, donde se calentó a 180^{o}C durante 7 minutos para hidrolizar las hemicelulosas. A continuación, el hidrolizado hemicelulósico fue separado del material fibroso por filtración a vacío. En la segunda etapa, la celulosa contenida en el material fibroso fue hidrolizada por calentamiento con ácido sulfúrico a 230^{o}C durante 7 minutos. La concentración de H_2SO_4 fue 0.5% y la carga de sólidos fue 12 g por 100 g de mezcla. Finalmente, el hidrolizado celulósico fue separado por filtración a vacío y se conservó congelado hasta usos posteriores.

Detoxificación de los hidrolizados

Los hidrolizados fueron detoxificados por tratamiento con $Ca(OH)_2$ al 20% (w/w) hasta pH 10 y se mantuvieron bajo esas condiciones durante una hora. Luego resultaron filtrados, neutralizados a pH 5,5 y filtrados nuevamente (Larsson *y otros*, 1999)

Cepas

Se utilizaron tres cepas de *S. cerevisiae*. La cepa # 1 (CBS 8066) es una cepa de laboratorio que se utilizó como referencia porque ha sido utilizada previamente en estudios similares (Martín y Jönsson, 2003; Talebnia y Taherzadeh, 2006). Las cepas # 2 (CCUG 53310) y # 3 (ATCC 96581) son cepas industriales. La # 2 fue aislada de hidrolizados fermentados de astillas de pino en una planta demostrativa de producción de etanol (Domsjö fabriker AB, Örnsköldsvik, Suecia), mientras que la # 3 fue aislada de una planta productora de etanol a partir de licores de pulpeo de madera por el proceso al sulfito (Mo Do, Suecia).

Preparación del inóculo

Las tres cepas fueron conservadas en cuñas de YPD-agar (10 g L^{-1} de extracto de levadura, 20 g L^{-1} de peptona, 20 g L^{-1} de glucosa y 20 g L^{-1} de agar). Una asada de la cepa a estudiar fue transferida a 100 mL de medio sintético (20 gL^{-1} de glucosa, 7.5 gL^{-1} de $(NH_4)_2SO_4$, 3.5 gL^{-1} de K_2HPO_4, 0.75 gL^{-1} de $MgSO_4.7H_2O$, 1 mL de solución de vitaminas, y 1 mL de solución de trazas de metales. Esta última solución contiene en gL^{-1}: EDTA, 3; $CaCl_2.2H_2O$, 0.9; $ZnSO_4.7H_2O$, 0.9; $FeSO_4.\ 7H_2O$, 0.6; H_3BO_3, 0.2; $MnCl_2.H_2O$, 0.16; $Na_2Mo_4.2H_2O$, 0.08; $CoCl_2.2H_2O$, 0.06; $CuSO_4.5H_2O$, 0.06; KI, 0.02. La solución de vitaminas se preparó en gL^{-1} con: ácido p-aminobenzoico, 0.2; ácido nicotínico, 1; pantotenato de calcio, 1; piridoxina, 1; tiamina, 1; biotina, 0.05; m-inositol, 25 (Karimi *y otros*, 2005). El volumen resultante fue incubado en un Erlenmeyer de 300 mL a 30^0C, 120 rpm hasta alcanzar valores de densidad óptica (DO_{620}) entre 8-11.

Fermentación de los hidrolizados

La fermentación anaeróbica se realizó en Erlenmeyers de 300 mL equipados con tapas de goma, dos tubos capilares de cristal y una trampa de CO_2 (Taherzadeh y otros, 1997). Los capilares fueron usados para la toma de muestras después de 0, 2, 4, 8, 12 y 24 horas y para la inyección de N_2 (con menos de 5 ppm de O_2). El volumen de trabajo fue 100 mL de hidrolizado, los cuales fueron enriquecidos con los mismos componentes del medio sintético usado en la preparación del inóculo y en las mismas concentraciones. Se adicionó además 0.1 mL de ergosterol. La fuente de carbono fue la misma que poseían los hidrolizados. Los frascos se inocularon con 4 mL de inóculo de una concentración de células igual a 4 gL^{-1} y se incubaron a 30^0C y 120 rpm durante 24 horas. La referencia se preparó con glucosa añadida, en igual concentración que los hidrolizados, como fuente de carbono. Se enriqueció también con las mismas sales y demás componentes utilizados en las muestras de estudio. Se realizaron dos réplicas en todos los casos.

Como criterio de la fermentabilidad se tomaron: el rendimiento ($Y_{E/G}$), la productividad volumétrica (Q), y la productividad específica (q) de etanol, la velocidad de consumo de glucosa (VCG) y la inhibición del rendimiento (IY) y de la productividad volumétrica (IQ). Para calcular el rendimiento en etanol se dividió la concentración de etanol producido a las 24 h por la concentración de glucosa inicial. La productividad volumétrica (Q) se basó en los gramos de etanol producidos por litro de medio de cultivo por hora durante las primeras 8 h de fermentación y la productividad específica es la relación entre Q y la concentración inicial de células (masa seca). La biomasa seca se determinó centrifugando (2 minutos a 4000 rpm) 5 mL de cultivo en un tubo de ensayos previamente pesado. Las células fueron lavadas con agua destilada y centrifugadas nuevamente. Luego de expulsar el sobrenadante se secaron a 105^0C durante 48 horas. La velocidad de consumo de glucosa se calculó como la diferencia entre las concentraciones, inicial y luego de 8h, dividida por 8h. Por último la inhibición del rendimiento de etanol (IY) se calculó mediante la siguiente expresión:

$$IY = \frac{Y_{ref} - Y_{preh}}{Y_{ref}} * 100$$

Donde Y_{ref} y Y_{preh} son los rendimientos en etanol de la referencia y el prehidrolizado respectivamente. De modo similar fue calculada la inhibición de la productividad de etanol.

Análisis
Los hidrolizados y medios de fermentación fueron analizados por HPLC. El eluente fue H_2SO_4 5 mM a una velocidad de flujo de 0.6 mL/min. Para la separación de glucosa, ácido acético, etanol y glicerol se utilizó una columna Aminex HPX-87H (Bio-Rad, Richmond, CA, EE.UU.) y un detector RI (Jasco International Co., Tokyo, Japón). El furfural y el HMF fueron detectados con un detector UV/VIS a 210 nm. La composición de los hidrolizados se muestra en la Tabla 1.

Resultados y discusión

Durante la hidrólisis se formaron inhibidores de la fermentación, tales como ácido acético, furfural, hidroximetilfurfural y ácido fórmico. La alta concentración de aldehídos furánicos es comparable con la encontrada en hidrolizados de bagazo obtenidos por explosión con vapor asistida con impregnación con ácido sulfúrico (Martín *y otros*, 2002a). Los hidrolizados fueron detoxificados con el objetivo de disminuir su toxicidad hacia las levaduras. El proceso de detoxificación permitió reducir la concentración de los principales inhibidores en entre 11.1 y 15.0% (Tabla I). No obstante, el contenido de aldehídos furánicos (2.5 g/L) aún se mantuvo a un nivel inhibitorio para las levaduras.

Tabla I. Concentración de los principales componentes detectados en los hidrolizados, g/L.

Medio	Glucosa	Ácido acético	Furfural	HMF
Hidrolizado detoxificado	11.2	1.7	0.7	1.8
Hidrolizado no detoxificado	12.1	2.0	0.8	2.0

La alta concentración de aldehídos furánicos exige una alta tolerancia a inhibidores por parte de la cepa de levadura a utilizar en la fermentación. El objetivo del trabajo fue evaluar dos cepas industriales que, por haber sido aisladas de plantas procesadoras de sustratos lignocelulósicos, han experimentado una adaptación a los inhibidores presentes en los hidrolizados. Además, la cepa # 2 es floculante, lo que facilita su separación por sedimentación y permite ahorrar recursos, ya que se evita el uso de centrífugas (Purwadi *y otros*, 2007). Para evaluar la capacidad de las cepas de levadura se hicieron fermentaciones del hidrolizado sin detoxificar, el hidrolizado detoxificado y una solución de referencia en paralelo para cada cepa. La solución de referencia contenía glucosa en la misma concentración que los hidrolizados, pero no contenía inhibidores.

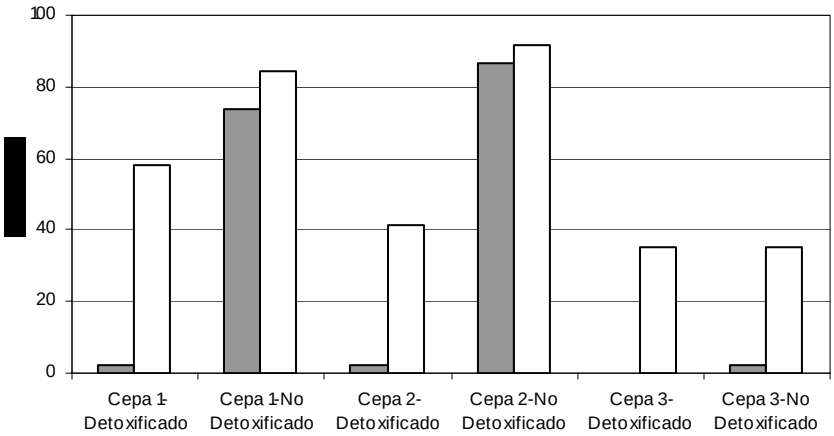


Figura 1. Inhibición del rendimiento (barras grises) y la productividad volumétrica de etanol (barras blancas) durante la fermentación de los hidrolizados detoxificados y sin detoxificar.

Como era lógico esperar, la fermentación de los hidrolizados estuvo inhibida en comparación con la de la referencia. La inhibición del rendimiento de etanol fue menor que la de la productividad volumétrica (Fig. 1), lo que se debió a que los inhibidores impidieron una producción rápida de etanol durante las primeras horas, pero luego ocurrió un proceso de adaptación de las cepas, lo que llevó a relativamente altos rendimientos de etanol al final de la fermentación. Para ilustrar este fenómeno en la Fig. 2 se muestra la dinámica de formación de etanol y consumo de glucosa en la fermentación de los hidrolizados con la cepa # 1, la cual fue la más sensible a la inhibición.

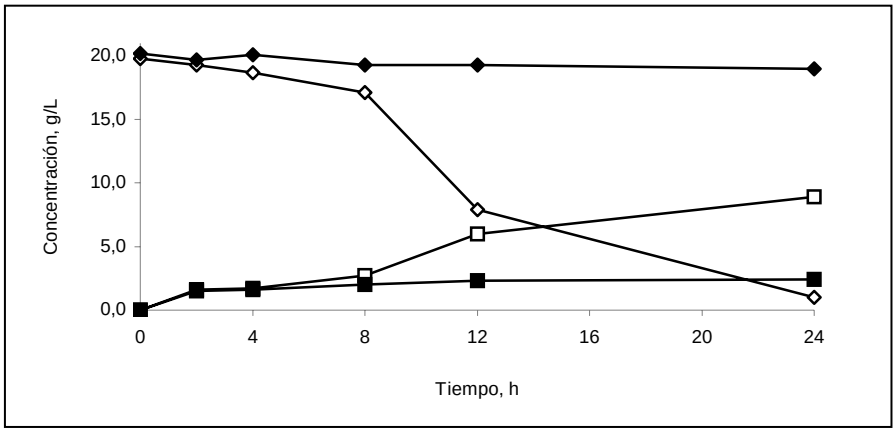


Figura 2. Consumo de glucosa (rombos) y formación de etanol (cuadrados) durante la fermentación del hidrolizado detoxificado (símbolos vacíos) y del hidrolizado sin detoxificar (símbolos rellenos) con la cepa # 1.

A pesar de que la remoción de inhibidores durante la detoxificación fue relativamente baja (Tabla I), el efecto en la fermentabilidad de los hidrolizados detoxificados fue muy marcado. La inhibición de la fermentación fue mucho menor en el hidrolizado detoxificado que en el hidrolizado sin detoxificar (Fig. 2). El rendimiento de etanol en la fermentación del hidrolizado detoxificado fue comparable al rendimiento en la referencia (Tabla II), por lo que la inhibición de ese parámetro fue inferior a 2 % para las tres cepas, e incluso fue nula para la cepa # 3 (Fig. 1). La velocidad de consumo de glucosa, así como las productividades volumétrica y específica de etanol se incrementaron con la detoxificación, aunque sin llegar a los valores de la referencia.

Tabla II. Parámetros de la fermentación. $Y_{E/G}$, rendimiento de etanol por g de glucosa; VCG, velocidad de consumo de glucosa, Q, productividad volumétrica de etanol; q, productividad específica de etanol.

Cepa	Medio	$Y_{E/G}$, g/g	VCG, g/L h	Q, g/L h	q, g/g h
# 1	Hidrolizado detoxificado	0.45	0.94	0.50	1.66
	Hidrolizado no detoxificado	0.12	0.06	0.19	0.63
	Referencia	0.46	1.78	1.02	2.92
# 2	Hidrolizado detoxificado	0.43	0.86	0.43	1.43
	Hidrolizado no detoxificado	0.06	0.07	0.06	0.30
	Referencia	0.44	1.61	0.73	2.43
# 3	Hidrolizado detoxificado	0.44	0.93	0.46	1.53
	Hidrolizado no detoxificado	0.43	0.94	0.46	1.53
	Referencia	0.44	1.78	0.74	2.47

En lo referente al comportamiento de las distintas cepas, debe resaltarse la alta tolerancia a inhibidores de la cepa # 3. Con esa cepa no se observó inhibición del rendimiento de etanol en la fermentación del hidrolizado

detoxificado, mientras que la inhibición en el hidrolizado sin detoxificar fue mínima y la inhibición de la productividad volumétrica fue comparable para ambos hidrolizados (Fig. 1). La velocidad de consumo de glucosa y la productividad específica de etanol también reportaron valores similares para ambos hidrolizados (Tabla II). La mayor productividad específica en la fermentación del hidrolizado sin detoxificar fue obtenida con la cepa # 3. Este resultado evidencia la superioridad de esa cepa con respecto a las demás, así como su factibilidad para fermentar hidrolizados sin necesidad de que medie una etapa de detoxificación.

Consumo de aldehídos furánicos

Los parámetros del consumo de furfural y de HMF se muestran en la Tabla 3, mientras que la dinámica de la conversión de esos compuestos durante la fermentación con la cepa # 3, la más resistente, se ilustran en la Figura 3. En la fermentación con las cepas # 2 y # 3 se logró una alta conversión de los inhibidores furánicos, la cual fue mayor en los hidrolizados detoxificados que en los no detoxificados. Con ambas cepas, en la fermentación de los hidrolizados detoxificados el 85% del furfural fue consumido en 24 h, mientras que con la cepa # 1 sólo se consumió el 52.3% (Tabla II). El consumo de furfural fue más rápido con la cepa # 3, la cual logró altas conversiones de furfural incluso en el hidrolizado sin detoxificar. A las 4 h de fermentación, esa cepa ya había consumido tres cuartas partes del furfural contenido en el hidrolizado detoxificado y casi la mitad del contenido en el hidrolizado no detoxificado, mientras que el porcentaje de furfural consumido al final de la fermentación fue semejante para ambos hidrolizados.

Tabla III. Consumo de aldehidos furánicos durante la fermentación, % del contenido inicial.

Cepa	Detoxificación	Furfural-4h, %	Furfural-24h, %	HMF-4h, %	HMF-24h, %
# 1	Sí	18.2	52.3	5.9	29.0
	No	10.4	16.7	2.7	6.7
# 2	Sí	23.7	85.5	0	58.3
	No	0	22.7	0	7.3
# 3	Sí	73.5	85.3	8.5	56.5
	No	46.8	85.0	5.5	39.0

Aunque el consumo de HMF fue inferior, con todas las cepas se observó la misma tendencia que con el consumo de furfural (Tabla II). La cepa # 3 fue claramente superior a las demás, mientras que la # 1 fue inferior. Evidentemente, la alta conversión de los aldehidos furánicos por la cepa # 3 es la causa de la alta capacidad de esa cepa para fermentar los hidrolizados sin detoxificar.

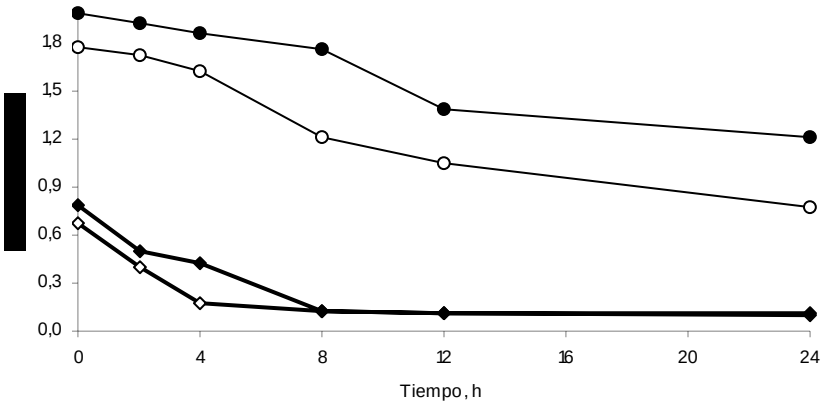


Figura 3. Dinámica del consumo de furfural (rombos) e HMF (círculos) durante la fermentación del hidrolizado detoxificado (símbolos vacíos) y del hidrolizado sin detoxificar (símbolos rellenos) con la cepa # 3.

El consumo del furfural se debe a su reducción a alcohol furfurílico, lo que ha sido demostrado previamente. La capacidad de *S. cerevisiae* de reducir el furfural fue observada por primera vez por científicos del ICIDCA (Díaz de Villegas *y otros*, 1992). Igualmente, se conoce que el HMF es reducido a alcohol hidroximetilfurfurílico (Taherzadeh *y otros*, 1999; Taherzadeh *y otros*, 2000). La reducción del furfural y del HMF en fermentaciones de hidrolizados de bagazo ha sido reportada previamente por este colectivo de investigadores (Martín *y otros*, 2002a,b; Martín y Jönsson, 2003).
La dinámica de la conversión del furfural explica el comportamiento fermentativo de las cepas. Durante las primeras horas, cuando las concentraciones de furfural eran altas, las fermentaciones fueron lentas y la productividad de etanol fue baja, pero cuando el furfural fue convertido en el poco tóxico alcohol furfurílico las fermentaciones se activaron conduciendo a altos rendimientos de etanol (Tabla II). Por otra parte, las menores inhibiciones se observaron en las fermentaciones en las que se alcanzaron las mayores conversiones del furfural

Formación de glicerol
El glicerol fue el principal subproducto formado durante la fermentación. La producción de glicerol fue mayor en los hidrolizados detoxificados que en los hidrolizados sin detoxificar (Fig. 3), y fue inferior en los hidrolizados que en las referencias (Datos no mostrados). Se observó una estrecha correlación entre el consumo de furfural y la formación de glicerol. Un rápido consumo de furfural, como en la cepa # 3, conllevó a una mayor formación de glicerol, mientras que un retraso en el consumo de furfural, como en la fermentación del hidrolizado sin detoxificar con la cepa # 1, condujo a una baja formación de glicerol. Este fenómeno ha sido observado previamente en fermentación de hidrolizados de bagazo obtenidos por explosión con vapor seguida de hidrólisis enzimática (Martín *y otros*, 2002b).

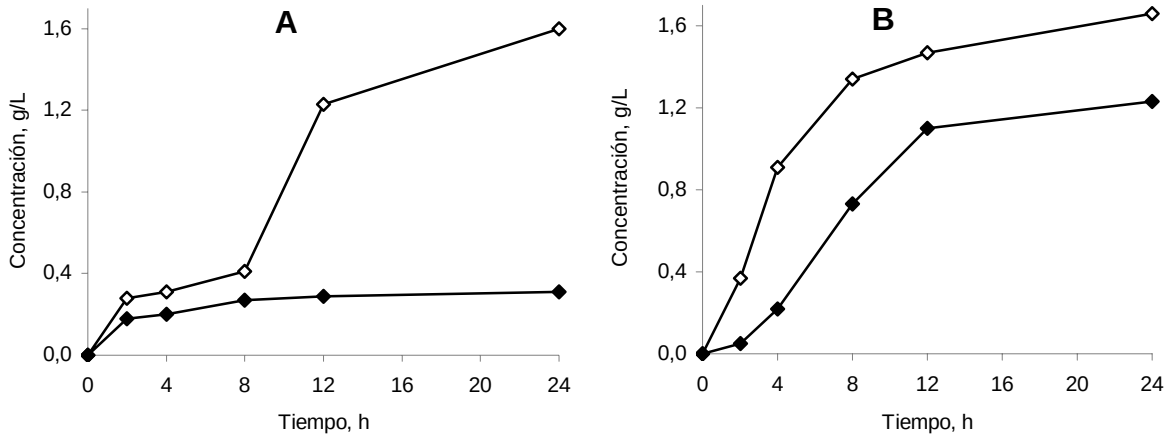


Figura 4. Producción de glicerol durante la fermentación del hidrolizado detoxificado (símbolos abiertos) y del hidrolizado sin detoxificar (símbolos cerrados) con las cepas # 1 (A) y # 3 (B).

El retardo de la formación de glicerol, así como las menores cantidades de este subproducto en relación con la cantidad formada en las fermentaciones de referencia están relacionados con transformaciones que ocurren durante la asimilación del furfural por las levaduras. En condiciones anaeróbicas, el glicerol es sintetizado por las levaduras para equilibrar el balance redox intracelular mediante la re-oxidación del exceso de NADH generado durante la formación de biomasa (van Dijken, 1986). En esas condiciones, el potencial reductor del NADH es utilizado por la enzima glicerol-3-fosfato deshidrogenasa para reducir el fosfato de dihidroxiacetona a glicerol-3-fosfato, el cual es posteriormente convertido en glicerol. Paralelamente el NADH se re-oxida a NAD^+. La baja formación de glicerol durante la reducción de furfural, puede ser atribuida a la conversión del exceso de NADH en NAD^+ por reducción de furfural por una alcohol furfurílico

deshidrogenasa dependiente de NADH en lugar de por reducción del fosfato de dihidroxiacetona por la glicerol-3-fosfato deshidrogenasa (Wahlbom y Hahn-Hägerdal, 2002).
La menor formación de glicerol en los hidrolizados también es consecuencia de la menor producción de biomasa en comparación con la fermentación de referencia. Además, la baja formación de glicerol está conectada con la presencia de ácido acético en los hidrolizados. Ha sido demostrado que la adición de ácido acético conduce a un decremento de la producción de glicerol en levaduras (Taherzadeh, 1999).

Conclusiones

El empleo de una cepa de *Saccharomyces cerevisiae* aislada de una planta de fermentación de licores de pulpeo al sulfito permitió fermentar hidrolizados ácidos de bagazo con una inhibición mínima debido a la alta capacidad de la cepa para convertir los inhibidores furánicos en formas menos tóxicas. La cepa aislada puede fermentar hidrolizados sin necesidad de detoxificación, lo que permite disminuir los costos del proceso.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al apoyo de proyectos del Ministerio de Educación Superior de Cuba (contrato No. 6.115) y de la International Foundation for Science (contrato No. F/3563-1).

Referencias Bibliográficas

1. Almeida, J., Modig, T., Petersson, A., Hahn-Hägerdal, B., Lidén, G., Gorwa, M.F. (2007), *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 82**,** 340-349.
2. Claassen, P.A., Sijstma, L., Stams, A.J.M., De Vries, S.S., Weusthuis, R.A. (1999), *Applied Microbiology and Biotechnology* 52, 741-745.
3. de Armas, C. (2000), En *Manual de los derivados de la caña de azúcar* (Ed. L.O. Gálvez). Tercera Edición. La Habana, Cuba.
4. Díaz de Villegas, M. E., Villa, P., Guerra, M., Rodríguez, E., Redondo, D. and Martínez, A. (1992), *Acta Biotechnologica* 12, 351-354.
5. Hahn-Hägerdal, B., Galbe, M., Gorwa-Grauslund, M.F., Lidén, G., Zacchi, G. (2006), *Trends in Biotechnology* 24, 549-556.
6. Hahn-Hägerdal, B., Wahlbom, C.F., Gardonyi, M., van Zyl, W.H., Cordero Otero, R., Jönsson, L.J., (2001), *Advances in Biochemical Engineering and Biotechnology* 73, 53-84.
7. Karimi, K., Brandberg, T., Edebo, L., Taherzadeh, M. (2005), *Biotechnology Letters* 27, 1395-1400.
8. Larsson, S., Palmqvist, E., Hahn-Hägerdal, B., Tengborg, C., Stenberg, K., Zacchi, G., Nilvebrant, N.-O. (1999), *Enzyme and Microbial Technology* 24, 151-159.
9. Licht, F.O. (2006), Worlds ethanol markets: Agra Europe special report, UK.
10. Martín, C., Galbe, M., Nilvebrant, N.-O. and Jönsson, L. J. (2002a), *Applied Biochemistry and Biotechnology* 98/100, 699-716.
11. Martín, C., Galbe, M., Wahlbom, C.F., Hahn-Hägerdal, B. and Jönsson, L.J. (2002b), *Enzyme and Microbial Technology* 31, 274-282.
12. Martín, C., Jönsson, L.J. (2003), *Enzyme and Microbial Technology* 32, 386-395.
13. Palmqvist, E., Hahn-Hägerdal, B. (2000), *Bioresourse Technology* 74, 25-33.
14. Pandey, A., Soccol, C.R., Nigam, P. Soccol, V.C. (2000), *Bioresourse Technology* 74, 69-80.
15. Purwadi, R., Brandberg, T., Taherzadeh, M.J. (2007), *International Journal of Molecular Sciences* 8, 920-932.

16. Taherzadeh, M., Eklund, R, Gustafsson, L., Niklasson, C., Lidén, G. (1997), *Industrial Engineering Chemical residues* 36, 4659-4665.
17. Taherzadeh, M.J., Gustafsson, L., Niklasson, C. and Lidén, G. (1999), *Journal of Biosciences and Bioengineering* 87, 169-174.
18. Taherzadeh, M.J., Gustafsson, L., Niklasson, C. and Lidén, G. (2000), *Applied Microbiology and Biotechnology* 53, 701-708.
19. Taherzadeh, M.J., Karimi, K. (2007a), *BioResources* 2, 472-499.
20. Taherzadeh, M.J., Karimi, K. (2007b), *BioResources* 2, 707-738.
21. Talebnia, F., Taherzadeh, M.J. (2006), *Journal of Biotechnology* 125, 377-384.
22. Valdés, A., Almazán, O., Fiandor, H. (2000), *International Sugar Journal* 102, 551-555.
23. van Dijken, J. P. (1986), *FEMS Microbiology Reviews* 32, 199-224.
24. Wahlbom, C.F., Hahn-Hägerdal, B. (2002), *Biotechnology and Bioengineering* 78, 172-178.
25. Wheals, A.E., Basso, L.C., Alves, D.M.G., Amorim, H.V. (1999), *Trends in Biotechnology* 17, 482-487.
26. Wyman, C.E. (1999) Biomass ethanol**:** Technical Progress, Opportunities, and Commercial Challenges. *Annual Reviews of Energy and Environment* **24**, 189–226.

SUSTITUCIÓN DE IMPORTACIONES Y CREACIÓN DE FONDOS EXPORTABLES DE GASOLINA, MEDIANTE EL USO DE ALCOHOL ETÍLICO ANHIDRO

Norma Elena Mora; Ramón Arévalo; Juan J. Alfonso

Centro de Investigaciones del Petróleo Washington169, esq. Churruca, Ciudad de La Habana, Cuba. ZIP 12000 E-mail: normae@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

El alcohol etílico anhidro, usado como combustible en mezcla con gasolina, produce beneficios económicos importantes, si la gasolina base es formulada maximizando el contenido volumétrico de naftas de menor octano - por tanto, de menor costo de producción - en las mezclas. En este caso, la ventaja económica es mucho mayor, que la que se obtiene por la simple sustitución de una parte de combustible fósil por alcohol, cuando no se utiliza el mencionado procedimiento. Este efecto económico es adicional a otros que se obtienen durante la explotación de las mezclas, relacionados con el impacto ambiental y el ahorro de combustible. En el presente trabajo se describen variantes de formulación de mezclas gasolina/alcohol (MeGAs) en un Balance Nacional de Gasolina hipotético, concebidas para sustituir importaciones y crear fondos exportables de este combustible, mediante la producción nacional de los grados Especial y Súper (90 y 94 RON, respectivamente). Ello permite la liberación de la gasolina importada planificada para estos fines y producir excedentes de naftas de alto octano y, por tanto, mayor precio en el mercado internacional. En un ejemplo de cálculo se demuestra el impacto de la formulación de una MeGA-90, en tales beneficios. Para la selección de las variables de formulación de MeGAs, se utilizó el software *NAFTCOHOL,* de cálculo de octano RON de mezcla.

Palabras clave: *gasolina; mezclas gasolina/alcohol; alcohol combustible; software octano*

ABSTRACT

The anhydrous ethylic alcohol, used as fuel, mixed with gasoline, produces important economical benefits, if the based gasoline is formulated maximizing the volumetric naphtha content of minor octane- so, the minor cost of production – in the mixture. In this case, the economic advantage is much bigger than the one obtained by the simple substitution of a part of fossil fuel for alcohol, when the mentioned procedure is not used. This economic effect is additional to others that are obtained during the exploitations of the mixtures, related with the environmental impact and the fuel saving. In this work variants of formulation of mixtures gasoline/alcohol (MeGAs) are observed in a national balance of hypothetical Gasoline, conceived to substitute importations and to create exportable gas funds through national production of 90 and 94 RON gasoline, which permits to free the imported gasoline planned in the balance for this aim, and to produce surplus of high octane naphtha for exportation. In a calculus example it is shown the impact of a MeGA-90 formulation, in such benefits. For the selection of the formulation variables, NAFTOHOL software of octane calculus mixture RON was used.

Key words: gasoline, mixtures gasoline/alcohol

INTRODUCCION

En 2007, EE.UU. registró una producción de 19,5 millones de toneladas de alcohol y Brasil - 14,9 que, junto a otros productores menos representativos, producen el 1% de la demanda mundial de combustible. Las cifras son del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) de España (Jaramillo, 2008). Los pronósticos, por otra parte, aunque difieren ligeramente según la fuente de información, coinciden en que el consumo de etanol crecerá considerablemente, y deben llegar a 1,5 millones de barriles por día, para finales del 2008, según la Agencia Internacional de Energía (BrasilAgro, 2008). Tal aumento en la producción está dado por el ¨boom¨ del etanol que se produjo, a partir de la estrategia de EEUU y la UE de introducir masivamente el alcohol como combustible en su respectivas economías, trayendo aparejado la expansión de cultivos de la caña de azúcar y el maíz, fundamentalmente en tierras de los países pobres, para producir alcohol en detrimento de los alimentos, lo que ha sido reiteradamente denunciado por nuestro Comandante en Jefe y por las voces mas avanzadas del pensamiento humanista mundial.

Pero la utilización del alcohol como combustible no tiene necesariamente que identificarse con las políticas despiadadas de los grandes capitales. La obtención del alcohol a partir de residuales de la producción de azúcar refino de alta calidad, en cantidades suficientes para pequeñas economías nacionales, sin afectar las tierras productoras de alimentos y que constituyan aportes energéticos que permitan sustituir importaciones de gasolina y/o crear excedentes para la exportación, además de aumentar los márgenes de cogeneración, y que posibiliten las ventajas relacionadas con el medio ambiente, es posible en países como Cuba, cuyo sistema socio-político está profundamente implicado con principios que no permiten la postergación de la vida del hombre en aras de cualquier negocio millonario, como en el que se ha convertido la obtención de alcohol para combustible.

El objetivo central del presente trabajo es demostrar que la utilización del alcohol etílico anhidro, usado como combustible en mezcla con gasolina (mezclas gasolina/alcohol: MeGAs), permite beneficios económicos considerables si la gasolina base es formulada maximizando el contenido volumétrico de naftas de menor octano - por tanto de menor costo de producción - en las mezclas. Con ello se posibilita, además, la sustitución de importantes volúmenes de gasolina importada y la creación de excedentes de alto valor para la exportación, que son dos de los indicadores fundamentales para la introducción de esta tecnología en Cuba. Se enfatiza en la peculiaridad del efecto del etanol en la capacidad antidetonante de las gasolinas en función de las naftas que la componen, que de no tenerse en cuenta, perderían las ventajas económicas mencionadas.

Los cálculos se realizaron sobre la base de un Balance Nacional de Gasolina hipotético, para dos refinerías de diferentes volúmenes de producción, que denominaremos Refinería A (R-A) y Refinería B (R-B).

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron los siguientes productos:

- ✓ Alcohol Etílico Anhidro (AA)
- ✓ Nafta Virgen Ligera (NVL)
- ✓ Nafta Virgen Pesada (NVP)
- ✓ Nafta Craqueada (corte amplio) (NC)
- ✓ Nafta Reformada (NR)
- ✓ Mezcla(s) Gasolina/Alcohol MeGA(s)

Los métodos de ensayo empleados se relacionan en la Tabla I.

Tabla I. Métodos de análisis físico-químicos utilizados

INDICE	METODO
Nº de Octano Investigativo (RON)	**ASTM D 2699**
Densidad, g/cm^3	**ASTM D 1298**

Para establecer las diferentes variantes de formulación, se utilizó el software NAFTCOHOL v2.0 registrado en la oficina CENDA, como un programa de cálculo de número de octano (RON) de mezcla, que constituye una herramienta de cálculo rápido con la aproximación necesaria en la toma de decisiones preliminares que preceden la introducción generalizada de este combustible en la economía de cualquier país. Sus principales características se muestran en la Tabla II.

Tabla II. Características generales del software *NAFTCOHOL v2.0*

PROPIEDADES	*RA*	*RB*
DISEÑO DE EXPERIMENTOS	***3^3***	***Combinación de 3^4 / 2^4 / Box-Behnken)***
INDICE DE REGRESION ESTADISTICO, R^2	***99,5%***	***99,89 / 99,83%***
ERROR ABSOLUTO MEDIO	***0,4425***	***0,357 / 0,2745***
DISTRIBUCION NORMAL ESTANDARIZADA (ERROR DE MEDICIÓN VALIDADO EN UNA MÁQUINA YUT-85 /1989)	***95% (+/- 1 punto de RON)***	***95% (+/- 1 punto de RON)***

PECULIARIDADES DEL EFECTO DEL ALCOHOL EN EL OCTANO DE LA GASOLINA

La capacidad antidetonante es una de las dos características físico-químicas mas importantes de las gasolinas (la segunda es la volatilidad), que determina sus propiedades de explotación. Se mide por el Número de Octano, de los que existen dos tipos fundamentales: el Investigativo (RON) y el Motor (MON), cuya diferencia estriba en las condiciones de determinación del ensayo. El octano está íntimamente relacionado con la composición hidrocarbonada de los componentes de la gasolina (naftas) y con las infinitas correlaciones químicas y físicas de sus moléculas entre sí y entre éstas y el oxígeno del aire, durante el proceso de combustión. En sentido general, se acepta que la reacción de combustión es, fundamentalmente, una reacción en cadena de oxidación de radicales libres, por lo que su velocidad de reacción está íntimamente ligada a su velocidad de formación o desaparición. Los combustibles, al igual que el petróleo crudo, son mezclas de hidrocarburos con diferentes estructuras y longitudes de cadenas, lo que obviamente requerirá de diferentes energías de activación para generar los radicales que se enlazarán, posteriormente, con el oxigeno del aire. Estas diferencias en las energías de activación garantizan una distribución adecuada en el consumo de radicales para que la combustión se efectúe de una forma suave y progresiva evitando la detonación, aunque en el mecanismo de la detonación intervienen otros fenómenos de naturaleza física y mecánica que no se discuten en el presente trabajo.

Para garantizar el inicio de la reacción química de oxidación en cadena se utilizan sustancias promotoras de radicales libres, denominadas “aditivos antidetonantes” o “mejoradores de octano”, entre los que se encuentran el Tetraetilo de Plomo, alcoholes de bajo peso molecular, éteres, etc. Dentro de los alcoholes de mayor popularidad como combustible automotor, está el etanol anhidro, cuyo mayor atributo es la habilidad de aumentar la capacidad antidetonante de las mezclas, con menores daños ambientales y a la salud humana en comparación con el metanol, que también posee un alto octano.

En investigaciones realizadas en Cuba (Mora, 2004), se verificó que las naftas de menor octano exhiben el mayor incremento de este índice en el intervalo de 0-20 %v de contenido de alcohol. Las mezclas con naftas

reformadas (86,8 RON- NR1; 95,5 RON - NR2) y nafta craqueada (NC), si bien presentan los más altos valores de su octano base, exhiben el menor incremento de RON en el intervalo mencionado (Fig.1a).
La eficacia del alcohol en el incremento unitario del octano de mezclas de algunas de las naftas analizada se muestra en la Fig.1b, en términos de ***Sensibilidad al alcohol***, definido como el ***incremento de octano de la mezcla con cada porcentaje de alcohol adicionado,*** medido en puntos de octano. Estos resultados pusieron de manifiesto que, para cada nafta, existe un punto de concentración máxima de alcohol, a partir del cual la efectividad del mismo decrece con el aumento de su contenido en la mezcla. Este punto se encuentra en el intervalo de 5 – 10 %v/v de alcohol para tales naftas. En este intervalo, el mayor valor absoluto de efectividad del alcohol corresponde a la NVP, de menor octano base, con ≥ 1 punto de incremento de RON por cada porcentaje de alcohol adicionado. Sin embargo, habitualmente este tipo de nafta no se destina al "pool" de gasolina, por el bajo octano que presenta y porque constituye el inyecto tradicional al proceso de Reformación Catalítica, donde aumenta su valor agregado.

La NVL tiene mayor octano que la NVP y, en mezcla con alcohol, ostenta una Sensibilidad de 1-0,9 puntos de RON por cada porcentaje de alcohol adicionado en el intervalo de mayor rendimiento del alcohol, como mejorador de octano. Esta propiedad la convierte en un componente idóneo de MeGAs que posibilita aumentar, de forma sustancial, la efectividad del alcohol en la mezcla.

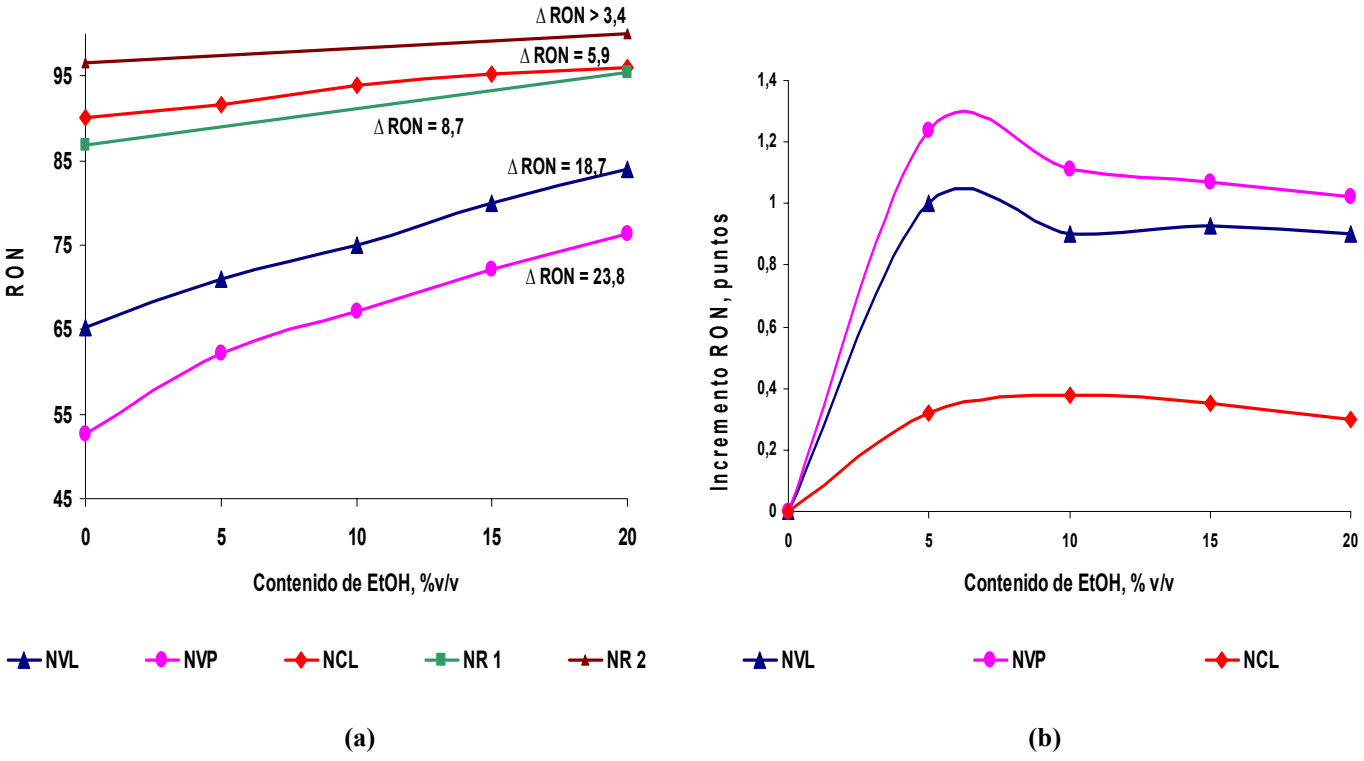


Fig. 1 Efecto del alcohol en el octano (RON) de las naftas cubanas. Sensibilidad al alcohol.

PREMISAS, BASES E INDICADORES PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO.

Las variantes de formulación de MeGAs que se empleen para determinar los beneficios económicos pronosticados, requieren de la definición de condiciones, fundamentos e indicaciones, que establezcan la línea base de los cálculos correspondientes. En la Tablas III - V se relacionan las Premisas, las Bases y los Indicadores, respectivamente, utilizados en este trabajo.

Tabla III. Premisas

1	**Producción nacional: sólo gasolina-90RON**
2	**Consumo nacional gasolina-94RON: sólo de importación**
3	**Cantidad de AA en la mezcla con gasolina: 10 %v/v, máx.**
4	**RON de los componentes: NC / NR (RA / RB) – 92; NVL (RA/ RB) – 69**
5	**Factores de conversión: Densidad gasolina ρ = 0,7259 g/cm^3 (1377,6 L/T)**
6	**COSTOS de producción (ctvsUSD/L)** **(NC / NR)– 92: 0,5894 / 0,6084; NVL – 69 (RA/ RB): 0,5317 / 0,5843; AA: 0,25**
7	**PRECIOS (CIF en USD/T): Gasolina Motor 92 RON: 981,71**

Tabla IV. Bases para la formulación de MeGAs

1	***Usar eficientemente la propiedad del alcohol como mejorador de la combustión, maximizando la cantidad de naftas de menor octano en las mezclas, específicamente, de la NVL.***
2	***Producir Gasolina de 94 RON con componentes de producción nacional, en sustitución de la***
3	***Crear el máximo de excedentes de naftas de mayor valor agregado para la formación de fondos exportables y/o sustitución de importaciones.***

Tabla V. Indicadores utilizados en los cálculos para formulación de las MeGAs

INDICADORES		**VALOR**
CONSUMO NACIONAL	**de GASOLINA 90RON**	**417 900 t**
	de GASOLINA 94RON	**85 650 t**
INDICES DE DISTRIBUCION DE LA DEMANDA INTERNA		
	desde la Refinería "A"	**74 %**
	desde la Refinería "B"	**26 %**
GASOLINA IMPORTADA	**de 92 RON**	**281 550 t**
	de 95 RON	**154 050 t**

Para cumplir con las condiciones planteadas, se analizaron tres variantes de formulación de MeGAs:

1. Para producir solamente MeGA-90 (90RON) en las Refinerías A (R-A) y B (R-B), respectivamente, que cubra la demanda planificada en sus zonas de influencia. ***Variante 1***
2. Para producir solamente MeGA-94 en las R-A y R-B, respectivamente. ***Variante 2***
3. Para producir, simultáneamente, MeGA-90 y MeGA-94 con una relación 80/20%, en cada una de las refinerías. ***Variante 3***

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VARIANTE 1

En la R-A, la producción planificada de gasolina-90RON es de ***309246 t*** atendiendo al indicador de consumo interno que esta empresa debe cubrir (74%). La mezcla de componentes de gasolina (gasolina base, GB) con 10% de alcohol, permite obtener un ***excedente de 77312 t de NC-92RON*** (Tabla VI)**.** El incremento de 46,38 MT de NVL es sostenible con la disponibilidad que tiene la empresa en el balance de este producto, que se produce en la misma torre atmosférica, sin tratamiento catalítico posterior y por tanto, con menor valor agregado, por su menor octano y menor impacto en el pool de gasolina sin alcohol. La relación de los componentes de la gasolina base en esta formulación con alcohol es de 2,6 y su octano – aproximadamente, 86 RON.

Para la R-B, la producción de gasolina-90RON indicada, es de ***108654 t:*** 26% del total planificado en el Balance Nacional de Combustible. La adición del 10 %v de alcohol a los componentes tradicionales de esta refinería (NVL/NR), permiten crear un ***excedente de 36942 t de NR-92RON*** (Tabla VI)**,** a costa de un incremento de 26077 t de NVL. Este excedente posee la ventaja de su bajo contenido de azufre, que como promedio es >20 veces menor que la NC**.** Por otra parte, la adición de alcohol permite cumplir con la especificación del punto 10% de la destilación fraccionada de la NR. Para obtener MeGA-90 en esta refinería, la gasolina base debe tener una proporción de los componentes hidrocarbonados: NR/NVL = 1,81, con un RON aproximado de 84.

Los excedentes de ambas refinerías pueden ser usados, forma individual o mezclados, para los siguientes usos:

- ✓ formular MeGA-94 para consumo nacional, sustituyendo la correspondiente cantidad de gasolina importada destinada a este fin.
- ✓ exportarlos, con un incremento significativo de calidad de la gasolina destinada a estos fines, debido a la sustitución de la correspondiente cantidad de NVL por NC/NR-92RON.
- ✓ incrementar volúmenes de gasolina base para la formulación de MeGA-90.
- ✓ como reserva estratégica de gasolina sin alcohol, en caso de pérdida de calidad de las MeGAs.

Tabla VI. Producción de MeGA-90

Refinería A							Refinería B						
Componente	%v/v		toneladas		Efecto		Componente	%v/v		toneladas		Efecto	
					▲t	%						▲t	%
NC - 92RON	90	65	278321	201010	77312	25	NR - 92RON	92	58	99962	63019	36942	34
NVL - 69RON	10	25	30925	77312	-46387	-15	NVL - 69RON	8	32	8692	34769	-26077	-24
Alcohol (AA)	0	10	0	30925	-30925	-10	Alcohol (AA)	0	10	0	10865	-10865	-10
total	100	100	309246		0	0	total	100	100	108654		0	0

"+" excedente **"-" aumento de t**

VARIANTE 2:

Esta variante demuestra la posibilidad de la R-A de producir gasolina-94RON, a partir de la adición de 10%v de alcohol a sus componentes tradicionales: NVL y NC (corte amplio), ninguno de los cuales alcanza 94 octanos, por lo que sin la utilización de alcohol, no dispondría de recursos para producirla (Tabla VII). En adición, la empresa podría disponer de un ***excedente de 15462 t de NC-92 RON*** y ***la misma cantidad de NVL***, en relación a la producción de gasolina- 90RON sin alcohol.

Para formular MeGA-94 la relación NC/NVL es de 17, con un RON de mezcla aproximado de 91 RON.

La R-B, por su parte, puede disponer de ***18471 toneladas de excedente de NR-92RON***, pero no de NVL porque a diferencia de la R-A, la relación de los componentes de la gasolina base para obtener 94 octanos con alcohol, en esta refinería, es sólo de 5 con ~ 88 RON.

La posibilidad de producir sólo MeGA-94 en estas refinerías, presenta ventajas técnicas comunes: la de producir gasolina de mayor octano que la de sus componentes individuales, y específicas: la de producirla (R-B) en condiciones de operación moderadas del reactor de Reformación Catalítica, con la consecuente preservación de la vida útil del catalizador durante mayor cantidad de tiempo y condiciones menos severas de regeneración; este régimen operacional, además, permite el ahorro de recursos energéticos, entre ellos - el hidrógeno.

Con alcohol, la R-A podría producir 3,6 veces todo el consumo nacional de gasolina-94RON planificado o el 61% del consumo total (90 + 94RON), si se decidiera cubrir el mercado nacional solamente con MeGA-94. Por su parte, la producción de MeGA-94 en la R-B también cubriría, individualmente, todo el consumo nacional planificado de gasolina-94RON sin alcohol, con saldo positivo de 23MT o el 22% de la demanda total del mercado interno.

Mezclando los excedentes de ambas refinerías se producirían 46433 t más de MeGA-94, que permitiría cubrir el 92% de la demanda nacional de ambos grados de gasolina y sustituir el 30% de la gasolina importada de 94 RON.

Tabla VII. Producción de MeGA-94

Refinería A					**Refinería B**			
Componente	**%v/v**		**toneladas**		**Componente**	**%v/v**	**toneladas**	
NC - 92RON	**Sin alcohol NO se puede producir 94RON**	**85**	**0**	**262859**	**NR - 92RON**	**75**	**81491**	**La producción de NR de ≥ 94 RON atenta contra la vida útil del catalizador; esta variante brinda la posibilidad de producir MeGA-94 con NR de 92 RON**
NVL - 69RON		**5**	**0**	**15462**	**NVL - 69RON**	**15**	**16298**	
Alcohol (AA)		**10**	**0**	**30925**	**Alcohol (AA)**	**10**	**10865**	
TOTAL		**100**	**0**	**309246**	**TOTAL**	**100**	**108654**	

VARIANTE 3:

Esta alternativa permite la producción simultánea de MeGA-90 y MeGA-94, distribuidas en una proporción 80/20 %v de la producción asignada a cada una de las refinerías, para el mercado interno (Tabla VIII).

Con esta estructura de producción, en la R-A se logran ***excedentes de 64942 t de NC-92RON,*** con aumento en el consumo de NVL de 34 MT, disponibles en esta empresa.

En la R-B, esta variante produce ***33248 t de excedentes de NR-92RON***, en relación a la producción de gasolina-90RON sin alcohol, sobre el aumento de consumo de 22383 t de NVL para la formulación de ambos grados de MeGAs, lo que es posible en esta refinería

En ambas fábricas, esta variante sólo permite cumplir el 80% de los compromisos de producción de MeGA-90. Sin embargo, posibilita disponer de excedentes que permiten la producción de mayores volúmenes de gasolina-90RON (si se le agrega NVL) o simplemente de gasolina-92RON, ambas sin alcohol, que pueden cubrir el 20% faltante, con más de 3MT de margen positivo en la R-A y de 11MT- en la R-B. Esa posibilidad constituye una alternativa estratégica al disponer de gasolina sin alcohol para casos de emergencia debido a la peculiaridad de las MeGAs de perder instantáneamente su calidad, en presencia de pequeñas cantidades de agua.

La producción de MeGA-94 en esta variante, no sólo brinda la posibilidad de producir este grado de octano a la R-A y reducir la intensidad del régimen operacional del reactor de Reformación Catalítica en la R-B, sino que abastece el 72 y 25%, respectivamente, de la demanda nacional de gasolina-94RON, con componentes de producción nacional, posibilitando la sustitución del 97 % de la gasolina importada destinada al mercado interno.

Tabla VIII. Producción simultánea de MeGA-90 (80%) y MeGA-94 (20%).

Refinería A					Refinería B				
Componente	%v/v		toneladas		Componente	%v/v		toneladas	
	90RON	94RON	90RON	94RON		90RON	94RON	90RON	94RON
NC– 92RON	65	85	160808	52572	NR– 92RON	58	75	50415	16298
NVL– 69RON	25	5	61849	3092	NVL– 69RON	32	15	27815	3260
Alcohol (AA)	10	10	24740	6185	Alcohol (AA)	10	10	8692	2173
total	100	100	247397	61849	total	100	100	86923	21731
producción total			309246		producción total			108654	

La relación de los componentes de la gasolina base para las MeGAs, constituye el know-how de los beneficios económicos que aporta este tipo de combustible oxigenado, en razón de su formulación. Existen otras fuentes de utilidades durante la producción y explotación de las MeGAs que discutiremos en próximos trabajos. Es importante señalar que, tales relaciones sólo son válidas para cada componente específico, con sus características físico-químicas propias y no pueden extrapolarse a otros tipos de componentes, ni incluso a naftas de la misma denominación, si el crudo de origen y/o los parámetros operacionales variaran significativamente. En la Tabla IX se resumen tales relaciones para las MeGAs formuladas.

Tabla IX. Octano (RON) y relación entre los componentes de la Gasolina Base

Componentes, %v / Indicadores GB	90 RON		94 RON	
	R-A	R-B	R-A	R-B
NC-92RON	65	-	85	-
NR-92RON	-	58	-	75
NVL-69RON	25	32	5	15
Relación GB	2,6	1,81	17	5
Octano GB, RON aprox.	86	84	91	88
Sensibilidad al alcohol (para 10%v)	0,4	0,6	0,4	0,6

El cálculo económico para determinar el efecto de la formulación de las MeGAs en las ganancias "pronóstico", se realizó solamente para la Variante 1.

En la Tabla X se muestra el cálculo del efecto económico de la sustitución de Gasolina 90RON sin alcohol, por la correspondiente MeGA-90, según la Variante 1, en la R-A. En la Tabla XI – en la R-B.

El efecto económico de la formulación planteada en cada refinería, suma 48,8 MMUSD, que representan 4,88 MMUSD por cada porcentaje de alcohol adicionado, en condiciones de mayor utilización de NVL. Con ello se liberan 114254t de naftas con 92 RON, de mayor valor agregado.

Según el Índice de Sensibilidad al alcohol, la capacidad antidetonante de la gasolina base producida en las R-A y R-B aumentaron en 0,4 y 0,6 puntos, respectivamente, por cada porcentaje de alcohol adicionado, lo que se considera adecuado en la práctica industrial.

Tabla X. Efecto económico de sustitución de gasolina-90RON sin alcohol por MeGa-90. R-A.

Formulación	Fórmula, %v.	Volumen, L/año	Cantidad, t/año	Valor, USD	Costo formulación, USD	Efecto económico, USD
Sin alcohol		**426.017.290**	**309.246**	**303.588.963**	**248.636.471**	**54.952.493**
NC-92	**90**	383.415.561	278.321	273.230.067	225.985.131	47.244.936
NVL-69	**10**	42.601.729	30.925	30.358.896	22.651.339	7.707.557
Con alcohol		**426.017.290**	**309.246**	**303.588.963**	**230.490.264**	**73.098.699**
NC-92	**65**	276.911.238	201.010	197.332.826	163.211.484	34.121.342
NVL-69	**25**	106.504.322	77.312	75.897.241	56.628.348	19.268.893
Alcohol (AA)	**10**	42.601.729	30.925	30.358.896	10.650.432	19.708.464
					Ganancia por formulación con alcohol: MeGA-90	***18.146.206***
NC-92 EXCEDENTE		**106.504.322**	**77.312**	**75.897.241**	**62.773.648**	**13.123.593**
					Ganancia total pronosticada	***31.269.800***

Tabla XI. Efecto económico de la sustitución de gasolina-90RON sin alcohol por MeGa-90. R-B.

Formulación	Fórmula, %v.	Volumen, L/año	Cantidad, t/año	Valor, USD	Costo formulación, USD	Efecto económico, USD
Sin alcohol		**149.681.750**	**108.654**	**106.666.393**	**90.777.791**	**15.888.602**
NR-92	**92**	137.707.210	99.962	98.133.081	83.781.067	14.352.014
NVL-69	**8**	11.974.540	8.692	8.533.311	6.996.724	1.536.588
Con alcohol		**149.681.750**	**108.654**	**106.666.393**	**84.547.437**	**22.118.955**
NR-92	**58**	86.815.415	63.019	61.866.508	52.818.499	9.048.009
NVL-69	**32**	47.898.160	34.769	34.133.246	27.986.895	6.146.351
Alcohol (AA)	**10**	14.968.175	10.865	10.666.639	3.742.044	6.924.595
					Ganancia por formulación con alcohol: MeGA-90	***6.230.353***
NR-92 EXCEDENTE		**50.891.795**	**36.942**	**36.266.573**	**30.962.568**	**5.304.005**
					Ganancia total pronosticada	***11.534.358***

Para ilustrar la influencia de la formulación de las mezclas en los beneficios económicos que pueden aportar los combustibles oxigenados con alcohol, se formuló una MeGA-90 para la R-B, maximizando el consumo de NR-92RON (utilizando menos alcohol y NVL) que denominamos ***"Fórmula (2)";*** a la anterior - ***"Fórmula (1)"***.

En comparación con la ***Fórmula (1),*** la relación de naftas que forman la GB en la ***Fórmula (2)*** es 3,75, que obliga a la utilización de 18472 t más de NR-92RON. El RON de esta GB = 87 y el Índice de Sensibilidad al alcohol disminuye de 0,6 a 0,3: el alcohol reduce su eficiencia como mejorador de octano en 50%.

En la Tabla XII se muestra el análisis comparativo del impacto de las formulaciones, en las correspondientes ganancias pronosticadas. La formulación con mayor contenido de NR-92RON provoca la pérdida del 50%

de las ganancias**,** por concepto de mayor costo de producción de la mezcla y disminución considerable de excedentes de NR-92RON.

CONCLUSIONES

1. En la explotación de mezclas gasolina/alcohol (MeGAs), la proporción entre los componentes hidrocarbonados y el alcohol en la formulación, constituyen la piedra angular de los beneficios económicos que se obtienen por esta vía, si se cumplen los siguientes criterios:
   - ✓ maximización de la eficacia del alcohol como mejorador de la combustión
   - ✓ producción de la mezcla al menor costo
   - ✓ creación del mayor volumen de excedentes de naftas de alto octano.
2. La efectividad del alcohol, como mejorador de octano de la gasolina, depende de la formulación y aumenta con el incremento del contenido de componentes de menor octano en la mezcla.
3. El octano de mezcla de la Gasolina Base no constituirá el criterio unitario para la formulación de las MeGAs, sino que se determinará la proporción entre las naftas y el alcohol, por medios experimentales y cálculos, que involucren las peculiaridades que otorga el alcohol a cada una de ellas.
4. El efecto económico adicional por sustitución de importaciones y creación de fondos exportables de naftas de alto octano aumentan en relación directa a la formulación de MeGAs que se aplique.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil Agro. (2008). *Uso del etanol combustible hasta el 2050*. NOTIETANOL (ICIDCA), 4(10).
- Jaramillo, A. (2008). *El etanol impulsa el crecimiento de Brasil*. Disponible en: http://www.elcomercio.com/noticiaEC.asp?id_noticia=202439&id_seccion=6
- Mora, N.E. (2004). *Utilización del etanol anhidro nacional como componente oxigenado en la producción de Gasolina Súper–Especial*. Informe Etapa 03. Proyecto 2407. CEINPET. La Habana.

Tabla XII. Influencia de la formulación de las MeGAs en el efecto económico del alcohol como combustible. Análisis para MeGA-90 en la R-B.

Componentes	Fórmula, %v		Volumen, L/año		Cantidad, t/año		Valor, USD		Costo formulación, USD		Efecto económico, USD	
			149.681.750		108.654		106.666.393		84.547.437	87.662.614	22.118.955	19.003.779
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
NR-92RON	58	75	86.815.415	112.261.313	63.019	81.491	61.866.508	79.999.794	52.818.499	68.299.783	9.048.009	11.700.012
NVL-69 RON	32	20	47.898.160	29.936.350	34.769	21.731	34.133.246	21.333.279	27.986.895	17.491.809	6.146.351	3.841.469
Alcohol (AA)	10	5	14.968.175	7.484.088	10.865	5.433	10.666.639	5.333.320	3.742.044	1.871.022	6.924.595	3.462.298
Ganancia por formulación con alcohol: MeGA-90											6.230.353	3.115.177
NR-92 EXCEDENTE			50.891.795	25.445.898	36.942	18.471	36.266.573	18.133.287	30.962.568	15.481.284	5.304.005	2.652.003
GANANCIA PRONOSTICADA											*11.534.358*	*5.767.179*

UN ENFOQUE ÉTICO A LA POLÉMICA SOBRE LOS BIOCOMBUSTIBLES

Ariadna Martín[1], Carlos Martín[2]

[1]Departamento de Problemas Socio-Culturales, Universidad de Matanzas, Matanzas 44 740, Cuba,
[2]Departamento de Química e Ingeniería Química, Universidad de Matanzas, Matanzas 44 740, Cuba, (E-mail: carlos.martin@umcc.cu).

Resumen

El quehacer científico está sujeto a valoraciones éticas. Los científicos deben poseer un código moral que acentúe el valor de la verdad y el respeto a la objetividad, y mantener una posición activa hacia lo social y humanamente justo. Como consecuencia de la manipulación de la ciencia y la tecnología en respuesta a un modelo consumista, el mundo vive hoy una "crisis de la civilización" caracterizada por la degradación creciente del medio ambiente, el agotamiento paulatino de recursos naturales y energéticos, así como en el incremento del déficit de alimentos. En las condiciones actuales se requiere de una aplicación estricta de patrones éticos que aseguren una concepción humanista de la ciencia y una utilización noble de sus resultados. Una urgencia de la ciencia de hoy es la de búsqueda de fuentes alternativas de energía, entre las que se encuentra la biomasa vegetal, a partir de la cual se pueden producir los biocombustibles. Los biocombustibles presentan fortalezas relacionadas con seguridad energética y beneficios ambientales, por lo que se proyectan como alternativas a los combustibles fósiles. Es incorrecto ignorar la oportunidad que los biocombustibles ofrecen para solucionar graves problemas energéticos y ambientales, y contribuir al desarrollo de países subdesarrollados. Por otra parte, desde el punto de vista ético es incorrecto usar alimentos como materias primas para la producción de biocombustibles, pero para el científico es éticamente inaceptable renunciar a los beneficios de los biocombustibles sin buscar soluciones que permitan la producción de estos y de alimentos sin afectaciones mutuas.

Palabras clave: biocombustibles, ética, Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS).

Abstract

The scientific activities are ruled by ethical principles. Scientists should have a moral codex highlighting the value of truth and respect to objectivity, and keep an active position towards all that is correct for the human been and its environment. As a consequence of manipulation of science and technology in response to a consumption-encouraging model, today's world is under a "civilisation crisis" characterised by an increasing environmental pollution, a continuous depletion of natural and energetic resources, and a growing deficit of food. A strict application of ethical principles ensuring a humanistic conception of science and a correct utilization of its results is required for solving that crisis. An urgency of today's science is the search for alternative sources of energy, such as plant biomass, among others. The biofuels, which can be produced from biomass, have advantages related to energetic security and environmental protection, and can be considered as alternatives to fossil fuels. It is unfair to ignore the opportunity given by the biofuels for solving severe energetic and environmental problems, and to contribute to the development of developing countries. On the other hand, from an ethical point of view it is not correct to use foods as feedstocks for

biofuel production, but for the scientist is ethically unacceptable to renounce from the benefits of the biofuels without searching for solutions allowing producing them without affecting the food sector.

Key words: biofuels, ethics, Science, Technology and Society (STS).

Introducción

El mundo actual es azotado por una fuerte crisis energética resultante de la tendencia al agotamiento de los combustibles fósiles, los cuales son indispensables para el desarrollo de la sociedad moderna. Ante esta situación ha aumentado el interés en la explotación de fuentes renovables de energía. Dentro de estas se encuentran los biocombustibles líquidos, los cuales han desatado una serie de opiniones masivas a favor y en contra de ellos, basándose en sus oportunidades y amenazas para la sociedad. Desafortunadamente, en esa polémica frecuentemente predomina un hipercriticismo a ultranza que exagera las desventajas de los biocombustibles y minimiza o ignora sus potenciales beneficios y oportunidades (Wyman, 2007). En esta situación, un acercamiento ético a la polémica generada puede ser de utilidad para ayudar a los científicos a tomar decisiones acertadas y a evitar que los resultados de sus investigaciones afecten a la sociedad humana y al ambiente que la rodea.

Se conoce que la Ética afecta a todas las esferas de la sociedad, y se caracteriza por la contraposición del bien y del mal a través de un sistema de normas que regulan la conducta humana. El objeto de estudio de la Ética es la moral. Es la teoría filosófica que describe, explica y analiza los principios, normas, valores, cualidades e ideales morales que forman parte de la vida social y espiritual de los hombres.

En la literatura revisada no se encontró ningún reporte que relacione los preceptos éticos con el papel de los científicos en la producción de biocombustibles en las condiciones actuales. En el presente trabajo se hace una valoración sobre la responsabilidad ética de los científicos en un escenario, en el que el inminente agotamiento del petróleo exige la toma de decisiones trascendentales para el futuro de la humanidad.

Desarrollo

La vida en sociedad trae consigo la conformación de hábitos, costumbres y tradiciones, que el hombre, como ser racional, traduce en un sistema de teorizaciones para explicar y ordenar su realidad. Así surge la Ética en la antigüedad como ciencia filosófica que forma parte del desarrollo cultural, y cuyo objeto de estudio es la moral. La Ética surgió como parte integrante de la filosofía en el período de la formación de la sociedad antigua, principalmente en Grecia, y fue aplicada también en la India, China y Mesopotamia. La palabra ética procede del griego *ethos* que significa ordinariamente morada, pero posteriormente pasó a significar "el carácter" o "el modo de ser", que una persona o grupo va adquiriendo a lo largo de su vida, mientras que el término moral procede del latín *mores*, que originalmente significaba costumbre pero luego pasó a significar también carácter o modo de ser. La moral ha sido comprendida como la esfera de la actividad que se caracteriza por la contraposición del bien y del mal a través de un sistema de normas que regulan la conducta humana. La Ética es una ciencia normativa, pues designa un conjunto de principios, normas, valores, cualidades e ideales morales que forman parte de la vida social y espiritual del hombre (López, 2004a,b).

El mundo moral aparece cuando el hombre siente la necesidad de la socialización, de expresar su manera de vivir a través de sus sentimientos e ideas, y de compartir los intereses y deseos. La moral representa el marco normativo básico referido al comportamiento con el prójimo, pero también con la naturaleza y la sociedad. La moral constituye globalmente reglas de acción y representaciones de sentido sustraídas al control individual, así como en el sentido normativo de las instituciones públicas, por ejemplo: la propiedad, la familia, etc., y en el ordenamiento económico, social, político y cultural. Estos principios y valores son transmitidos por cada generación a la siguiente, en la confianza de que se trata de un buen legado de orientaciones sobre el modo de comportarse para llevar una vida buena y justa.

La Ética es un fenómeno social único y cualitativamente peculiar que está interrelacionada con todas las demás esferas de la vida social (López, 2004a). En el siglo XX se han desarrollado reflexiones éticas ligadas a contextos específicos, tales como el género, la vida, los valores, la ecología, la ciencia, la desigualdad de recursos, las diferencias culturales y el futuro, a las que se les ha llamado Éticas aplicadas. Estas permiten la utilización de la Ética como herramienta en las distintas esferas de la sociedad. Los fenómenos científicos no escapan de estas valoraciones, es por eso que una de las Éticas aplicadas es la Ética del científico y la Ética de la Ciencia y la Tecnología.

La ciencia puede ser entendida como los conocimientos del hombre que de forma sistémica pueden modificar la visión del mundo real y que constituyen una fuente de riquezas. Además de la búsqueda de la verdad, la ciencia es ante todo producción, difusión y aplicación de conocimientos, y ello la distingue y califica en el sistema de la actividad humana (Núñez, 1999).

La ciencia se desenvuelve en el contexto de la sociedad y la cultura, e interactúa con sus más diversos componentes. Actúa como asimiladora y creadora de valores y creencias, y se relaciona con el mecanismo cultural global que regula a la sociedad. Desde una visión en la que holísticamente se integran los conceptos ciencia, tecnología y sociedad, se define ciencia "como una institución social (…), cuya estructura y desarrollo se encuentran estrechamente vinculados con la economía, la política, los fenómenos culturales, con las necesidades y las posibilidades de la sociedad" (Núñez, 1999).

El alto desarrollo alcanzado por la ciencia y la tecnología durante el siglo XX hizo posible ganar en control sobre la naturaleza y construir una existencia civilizada. El rápido avance tecnológico trajo consigo la explotación intensiva de los recursos minerales, incluyendo los combustibles fósiles. Como efecto colateral, la emisión de gases de combustión ha dado lugar al efecto invernadero y a la amenaza de cambio climático.

Durante las últimas décadas la degradación creciente del medio ambiente, el agotamiento paulatino de recursos naturales y energéticos, así como en el incremento del déficit de alimentos han revelado la llegada de una "crisis de la civilización". Esa crisis pone en tela de juicio la racionalidad del modelo económico y tecnológico dominante, cuya fuerza motriz es la reproducción de la sociedad consumista (López, 2004c,d). Como respuesta a la "crisis de la civilización" ganan fuerzas el movimiento social anti-globalización y la lucha contra el mercado y contra el consumismo irracional.

La "crisis de la civilización" es una consecuencia de la manipulación de la ciencia y la tecnología en una lucha desenfrenada supuestamente en aras del bienestar del hombre. Es por eso que en las condiciones actuales el desarrollo de la ciencia y la tecnología demanda una aplicación estricta de patrones éticos que aseguren una concepción humanista de la ciencia y una aplicación noble de sus resultados.

Consecuentemente, los científicos, además de poseer un código moral que acentúe el valor de la verdad y el respeto a la objetividad científica, deben mantener una posición activa hacia lo social y humanamente justo. Esos valores éticos del científico, vinculados al desarrollo de su capacidad investigativa y al dominio de los aspectos técnicos de su labor, le deben permitir el despliegue exitoso de su quehacer en aras del bienestar de la sociedad, y le confieren a la ciencia y a la tecnología una fuerza social extraordinaria. El compromiso de la intelectualidad científico-técnica trasciende los límites de las prácticas de investigación y desarrollo y se extiende a la aplicación de los conocimientos, la enseñanza y en general a la elevación de la cultura científico técnica del pueblo (López, 2004c).

Uno de los mayores desafíos de la sociedad moderna, y en especial de la intelectualidad científico-técnica, es la búsqueda de alternativas que permitan sino componer nuevamente los daños causado al medio ambiente, al menos evitar que este se siga degradando.

La explotación intensiva de los combustibles fósiles ha conducido a su agotamiento progresivo, lo que conjuntamente con la especulación bursátil, ha provocado una subida continuada de los precios del petróleo crudo y de sus derivados. El encarecimiento de los combustibles fósiles, que ha sido espectacular en los últimos años, ha despertado una conciencia social en aspectos tan relevantes como ahorro y mejora de la eficiencia de su uso, así como en la necesidad de desarrollar fuentes energéticas alternativas.

La búsqueda de alternativas sostenibles para la sustitución de los combustibles fósiles es un problema de la actualidad que implica el nivel económico, el medioambiental, el político, y sobre todo el social, pero que no puede escapar de una evaluación ética. Es necesario solucionar el problema de la escasez y del

encarecimiento de los combustibles fósiles, pero sólo dentro de los marcos de lo éticamente aceptable. Se debe procurar el progreso equitativo y democrático del hombre dentro de los límites del cuidado del medio ambiente y del respeto social, garantizando que las soluciones propuestas estén desprovistas de acciones dañinas a los seres humanos y a su entorno (Valdés, 1984).

La comunidad científica, consciente de su papel en la protección del medio ambiente y de la inminencia del agotamiento de los combustibles fósiles, se ha dado a la tarea de búsqueda de fuentes alternativas de energía, entre las que se encuentra la biomasa vegetal, a partir de la cual se pueden producir biocombustibles, también llamados agrocombustibles) como el bioetanol (o simplemente etanol), el biodiesel y el biogás. Se ha demostrado el potencial de los biocombustibles como alternativa a los combustibles fósiles, cuyo uso y abuso perjudica considerablemente el medio ambiente y amenaza el futuro de la civilización humana.

Entre las ventajas de los biocombustibles se encuentran: (a) pueden ser obtenidos a partir de fuentes de biomasa ampliamente disponibles; (b) se recicla el CO_2 generado en la combustión; (c) contienen oxígeno, por lo que se combustionan más completamente que los combustibles fósiles; (d) su perfil de emisión de sustancias tóxicas es inferior al de los carburantes tradicionales; (e) son biodegradables; (f) permiten la seguridad energética y un considerable ahorro de divisas a países no productores de petróleo; (g) gran atractivo socio-económico para el sector rural (Wyman, 2007; Demirbas, 2008).

Debido a los factores antes mencionados, los biocombustibles representan un sector relevante de la ciencia y la tecnología tanto para países desarrollados como para países subdesarrollados y su presencia en el mercado de los carburantes es cada vez mayor. La producción mundial de biocombustibles prácticamente se ha triplicado desde el año 2000 hasta la actualidad (Ganduglia, 2008).

Sin embargo, persisten algunas dudas acerca del futuro de los biocombustibles. Con el incremento de la producción de biocombustibles ha emergido un conflicto con la producción de alimentos. Ese conflicto está dado por el incremento de las áreas dedicadas al cultivo de caña de azúcar, maíz y oleaginosas en detrimento de otros cultivos básicos, así como por la conversión de alimentos, especialmente maíz, en combustibles. Esta situación es éticamente inaceptable, y ha sido bien aprovechada por algunos sectores que intentan incentivar en la opinión pública el hipercriticismo hacia los biocombustibles.

Para el científico éticamente responsable es inaceptable promover la producción de biocombustibles a partir de alimentos, así como es inaceptable también alinearse con la guerra por el control del petróleo. Sin embargo, un sentido elemental de la ética impide al científico responsable renunciar a la posibilidad de propiciar la explotación y disfrute de los beneficios potenciales de los biocombustibles. Para el científico con sentido de lo que es éticamente correcto es absolutamente inaceptable quedarse de brazos cruzados y no esforzarse por contribuir a solucionar el conflicto antes mencionado.

No es ético, y es condenable, producir biocombustibles utilizando alimentos como materias primas. En cambio es éticamente necesario buscar alternativas tecnológicas que permitan producir biocombustibles sin afectar la alimentación. Es éticamente inadmisible, y censurable, no hacerlo.

El científico con convicciones éticas sólidas no debe renunciar al uso de los biocombustibles, sino que debe procurar que la producción de estos no se base en materias primas que constituyen fuentes de alimentos, lo que resulta un contrasentido, ya que si bien la energía es una necesidad fundamental de la humanidad, la alimentación es un aspecto indispensable para la misma. El desarrollo de tecnologías que contemplen materias primas no competitivas con la alimentación es un reto para la generación actual de científicos. De aquí que se deban explorar las posibilidades de los residuales lignocelulósicos para la producción de etanol y de oleaginosas no comestibles para la producción de biodiesel (Martín y otros 2006; Martín y Thomsen, 2007).

En los últimos años en todo el mundo, fundamentalmente en Europa y Norteamérica, se llevan a cabo intensas investigaciones para producir etanol a partir de residuos lignocelulósicos. En EE.UU. se prevé la puesta en marcha de plantas de etanol celulósico para los próximos años y se pronostica que para el año 2030 más del 75% del etanol producido en ese país procederá de materiales lignocelulósicos. Por su parte, el gobierno chino recientemente estableció una moratoria acerca del uso de cereales para producción de etanol al mismo tiempo que está promoviendo utilización de materias primas no comprometidas directamente con la alimentación.

La selección, por parte del científico, de la tecnología a utilizar en la producción de biocombustibles es de una trascendencia fundamental para poder materializar las bondades del uso de estos. El científico éticamente responsable debe preocuparse por lograr un impacto ambiental y social favorable. Para ello debe asegurarse de que los biocombustibles sean producidos con una tecnología que prescinda del uso de combustibles fósiles, del vertimiento de residuales tóxicos y de cualquier otra acción dañina al medio ambiente y al hombre. Las opciones deben ser sostenibles desde los puntos de vista económico, social y ambiental.

En esta polémica sería ingenuo, y éticamente incorrecto, ignorar el riesgo de que la globalización neoliberal utilice a los biocombustibles, con una perspectiva mercantilista y oportunista, como un nuevo eje para explotar a los países subdesarrollados. El científico responsable debe contribuir al fortalecimiento de la ciencia y la tecnología nacionales en aras de lograr la autosuficiencia energética del país para evitar la dependencia, y la intromisión, de intereses foráneos (Martín, 2008).

Por otra parte, no debe ser pasado por alto que la masificación del uso de los biocombustibles puede tener un impacto positivo para el desarrollo de los países productores, la mayoría de los cuales son subdesarrollados. La producción de biocombustibles debe contribuir a la reducción de la pobreza, creando puestos de trabajo y mercados para los pequeños productores, y suministrando energía renovable barata para uso local y para la exportación, como se está logrando en Brasil. Debe tenerse en cuenta que la mayoría de las materias primas con las que se producen los biocombustibles se encuentran en los países tropicales, que coincidentemente son los más pobres del mundo. El científico éticamente responsable debe contribuir al buen uso de los biocombustibles con una perspectiva humanista y de fomento del desarrollo local en los países subdesarrollados, lo que podría tener como consecuencia un desarrollo económico estable y positivo para los mismos.

Según los analistas más críticos, las plantaciones que están surgiendo para la elaboración de biocombustibles suponen más amenazas que oportunidades para los países pobres. No obstante, con frecuencia se sobredimensiona el papel negativo de los biocombustibles y se subdimensionan las oportunidades que estos brindan. El científico debe valorar objetivamente las amenazas y oportunidades relacionados con la producción y uso de biocombustibles, y su accionar sería éticamente incorrecto si se sumase fríamente a corrientes negativas que pudieran poner freno a nuevas tecnologías encaminadas al bien de la humanidad.

Otro aspecto relevante en esta polémica está relacionado con el papel de los biocombustibles en el aumento de los precios de los alimentos, el cual es frecuentemente sobrestimado. El aumento dramático del precio de los alimentos básicos durante los últimos dos años es una realidad irrefutable que ha sido reconocida por el FMI, la FAO y otros organismos internacionales, y ha sido sufrida por los bolsillos de millones de consumidores.

Sin embargo, es éticamente incorrecto culpar de ello, y de los graves problemas alimentarios que afectan el mundo actual, exclusivamente a los biocombustibles, los cuales son sólo uno más en la lista de factores que han propiciado ese fenómeno. No deben ser subestimados factores como la especulación bursátil, el incremento desmesurado de los precios de los combustibles fósiles, los efectos negativos del ya evidente cambio climático, así como el incremento del consumo de alimentos debido a la mejoría del nivel de vida de cientos de millones de personas que han salido del umbral de la pobreza en países en desarrollo, fundamentalmente en potencias emergentes como China e India. Este último factor es una realidad que debe ser asumida con naturalidad y desprovista de cualquier enfoque paranoico.

La lucha que se ha establecido en la actualidad tiene en la mira un sujeto erróneo. Debemos unirnos no a la lucha contra los biocombustibles, sino contra las manipulaciones de la globalización neoliberal. Los criterios económicos y políticos de algunos sectores no pueden prevalecer sobre los criterios emitidos por científicos responsables con un sólido fundamento ético.

La discusión presente sobre alimentos y biocombustibles elude con su retórica lo principal: el problema no está en qué se produce, sino en cómo se distribuyen las ganancias. No es solamente si la tierra alcanza o no para todos los cultivos, el problema también es cómo se organiza y quién controla la distribución de la producción y sus ganancias (Honty, 2007). También es muy importante lograr rendimientos por hectárea de cultivo lo suficientemente altos como para no afectar la producción de alimentos.

Es responsabilidad de los científicos propiciar una correcta planificación agrícola que permita la producción integrada de alimentos y biocombustibles, convencer a los tomadores de decisiones de los beneficios y oportunidades que pueden aportar estos últimos, e incentivar la voluntad política de los gobiernos.
Sería éticamente inaceptable cruzarnos de brazos sin buscar soluciones. Debemos trabajar y luchar como indican los preceptos éticos establecidos para la ciencia y el científico, en pos de encontrar soluciones que nos guíen hacia un desarrollo sostenible con la finalidad del bien del hombre y de su entorno.

Conclusiones

Los biocombustibles presentan fortalezas relacionadas con seguridad energética, beneficios ambientales y atractivo socio-económico para el sector rural, por lo que se proyectan como alternativas a los combustibles fósiles.
El uso de alimentos como materias primas para la producción de biocombustibles es éticamente incorrecto y censurable.
Es éticamente incorrecto ignorar la oportunidad que los biocombustibles ofrecen para solucionar graves problemas energéticos y ambientales, y contribuir al desarrollo de países subdesarrollados.
Es éticamente inaceptable renunciar a los beneficios potenciales de los biocombustibles y no buscar soluciones que permitan la producción de estos y de alimentos sin afectaciones mutuas.

Referencias Bibliográficas

Demirbas, A. (2008) Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*. doi:10.1016/j.enconman.2008.02.020.
Ganduglia, F. (2008) Configuración del mercado mundial de biocombustibles y potencial latinoamericano. Disponible en Internet en http://www.opds.gba.gov.ar/uploaded/File/Cambio_Climatico/ Ganduglia.pdf. Consultado el día 21 de agosto de 2008.
Honty, G. (2007) Entre la seguridad alimentaria y el precio del petróleo. El debate sobre biocombustibles. Disponible en Internet en http://www.rlc.fao.org/iniciativa/pdf/almov.pdf. Consultado el día 1 de mayo de 2008.
López, L. (2004a) La ética como disciplina filosófica. En: López, L (Ed.) El saber ético de ayer a hoy. Tomo I. Editorial Félix Varela. La Habana.
López, L. (2004b) Moral, Ética ¿Sinónimos? En: López, L (Ed.) El saber ético de ayer a hoy. Tomo I. (2004) Editorial Félix Varela. La Habana.
López, L. (2004c) Moralidad, individualidad y valores. En: López, L (Ed.) El saber ético de ayer a hoy. Tomo I. Editorial Félix Varela. La Habana.
López, L. (2004d) Hacia una ética de la ciencia: problemas e interrogantes. En: López, L (Ed.) El saber ético de ayer a hoy. Tomo I. Editorial Félix Varela. La Habana.
Martín, C. (2008) Biocombustibles en el escenario cubano: Retos y oportunidades. Conferencia especializada. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Febrero del 2008.
Martín, C., López, Y., Plasencia, Y., Hernández, E. (2006) *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly* 20, 443-446.
Martín, C., Thomsen, A.B. (2007). *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 82, 174-181.
Núñez, J. (1999) La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar. Editorial Félix Varela. La Habana.
Valdés, C. (1984) La ética ambiental y nosotros. En: Núñez, J. (Ed.) Ciencia, Tecnología y Sociedad. Problemas Sociales de la ciencia y la tecnología. Ensayos. GESOCYT. Editorial Félix Varela. La Habana.
Wyman, C. (2007) *Trends Biotechnol 25*, 153-157.

EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE BAGAZO

MSc. Yailet Albernas Carvajal*
MSc. Leyanis Mesa Garriga*
Dra. Meilyn González Cortés*
Dr. Sc. Erenio González Suárez*
Dra. Irenia Gallardo Aguilar*

* Centro de Análisis de Procesos. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Villa Clara. Cuba.
yailetac@uclv.edu.cu
leyanimg@uclv.edu.cu
mgonzalez@uclv.edu.cu
erenio@uclv.edu.cu
irenia@uclv.edu.cu

RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo evaluar técnica y económicamente variantes de producción de etanol a partir de bagazo a partir de resultados obtenidos a escala de laboratorio.
Para el diseño fueron empleados los resultados obtenidos a escala de laboratorio, así como los criterios generales de diseño de equipamiento planteados en la literatura especializada. Se utilizaron, herramientas computacionales como el Microsoft Excel para el diseño de la planta a fin de lograr mejores resultados y mayor rapidez. Los principales resultados obtenidos son que la etapa de pretratamiento es decisiva para rendimiento del proceso y que las etapas de hidrólisis enzimática y la fermentación son las etapas críticas pues las mismas tienen una duración aproximada de 24 horas; además esta última presenta como característica peculiar los grandes volúmenes de agua que necesita y por ello la cantidad de equipos necesarios a instalar en serie. Las conclusiones se refieren a que la alternativa evaluada con una etapa de pretratamiento es la más sensible a la disminución de los costos de producción, aspecto que se debe seguir estudiando con vistas a lograr la rentabilidad del proceso pues el costo unitario promedio del alcohol en las variantes evaluadas es de 2,52 $/L, valor muy superior a lo reportado en la literatura para procesos que también emplean como materia prima material lignocelulósico. Por tanto, se hace necesario resolver los problemas vinculados a la logística de los procesos discontinuos para lograr la factibilidad de las instalaciones a nivel industrial.

Palabras Claves: Residuos Lignocelulósicos, Bagazo, Etanol, Rentabilidad, Costo.

ABSTRACT

The work has as objective to evaluate technical and economically variants of production of ethanol starting from trash based on results obtained to laboratory scale.

The methods used for the design were the results obtained to laboratory scale, as well as the general approaches of equipment design outlined in the specialized literature. They were used, computational tools as the Microsoft Excel for the design of the plant in order to achieve better results and bigger speed. The main obtained results are that the pretratamiento stage is decisive for yield of the process and that the stages of enzymatic hydrolysis and the fermentation are the critical stages because the same ones have an approximate duration of 24 hours; this last one also presents as peculiar characteristic the big volumes of water that needs and for it the quantity of necessary teams to install in series. The conclusions refer to that the alternative evaluated with a pretreatment stage is the most sensitive to the decrease of the production costs, aspect that should be continued studying with a view to achieving the profitability of the since process the average cost of the ethanol in the evaluated variants is 2,52 $/ L, very superior value to that reported in the literature for processes that also use as raw material lignocelullosic prevails. Therefore, it becomes necessary to solve the linked problems to the logistics of the discontinuous processes to achieve the feasibility from the facilities to industrial level.

Key words: Lignocelullosic waste, Bagasse, Ethanol, Feasibility, Cost.

INTRODUCCION

En la actualidad existe una tendencia al desarrollo de alternativas de combustibles más baratos, menos contaminantes y que involucren otros sectores de la industria como la agricultura, este es el caso de la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos y en particular del bagazo residual de proceso de fabricación de azúcar. En la literatura se ha reportado que las tecnologías que emplean residuos lignocelulósicos para la producción de etanol si bien son prometedoras tienen aspectos que limitan su puesta en marcha en un período corto de tiempo. En este sentido se han referido como principales limitaciones, los elevados costos de materias primas como las enzimas, los elevados consumos de agua en la etapa de hidrólisis enzimática, que implica elevados costos de equipamiento, la eficiencia en la etapa de pretratamiento, entre otros. No obstante, se están realizando numerosas investigaciones con el objetivo de desarrollar una tecnología propia que minimice los aspectos antes mencionados con el fin de lograr la rentabilidad de este proceso.
En este sentido en el presente trabajo se realiza en la evaluación técnico económica de alternativas de producción de bioetanol a partir de bagazo partiendo de resultados obtenidos a escala de laboratorio a partir de los cuales se han definidos las etapas fundamentales de este proceso.

Objetivo General.
Evaluar técnica y económicamente variantes de producción de etanol a partir de bagazo.

Objetivos Específicos.

1. Definir las etapas tecnológicas de obtención de alcohol a partir de bagazo.
2. Identificar las posibilidades de reutilización de corrientes dentro del proceso con vistas a disminuir el consumo de materias primas frescas
3. Seleccionar y diseñar los equipos para la obtención de alcohol a partir de bagazo en una escala de producción de 200 HL/d
4. Evaluar económicamente las variantes tecnológicas analizadas
5. Exponer las barreras que limitan la factibilidad del proceso así como las oportunidades para reducir los costos totales.

MATERIALES Y METODOS

Son numerosos los trabajos *Ley (2006), Iturria (2001), Torrecilla (2003),* que se han publicado sobre tecnologías de producción de etanol en los que se han tenido en cuenta aspectos como las disponibilidad de las materias primas, el costo de las operaciones, los aspectos ambientales que generan las mismas, pero no se cuenta con un estudio en el que de forma integral se hayan evaluado estos aspectos a la vez.

Para ello se identifican varias alternativas de producción de bioetanol, dadas específicamente por la materia prima que utilizan y las etapas de pretratamiento, considerando en cada una los factores técnicos, económicos y ambientales de las mismas de forma tal de poder identificar y analizar las variantes con mejores posibilidades. Las variantes analizadas fueron:

Variante 1: Etanol a partir de bagazo pretratado en una etapa
Variante 2: Etanol a partir de miel y bagazo pretratado en una etapa
Variante 3: Etanol a partir de bagazo pretratado en dos etapas
Variante 4: Etanol a partir de miel y bagazo pretratado en dos etapas

Como se puede apreciar, en las variantes se han incluido esquemas de pretratamiento en una y dos etapas. Esto se debe a que el pretratamiento de la materia prima es una de las etapas fundamentales para lograr la eficiencia de este proceso, ya que en ella se prepara al material para hacerlo más susceptible a la acción de las enzimas y lograr mayor conversión en azúcares.

En el caso del bagazo el tratamiento requerido es un proceso complejo, pues como se conoce la biomasa lignocelulósica (Bagazo) presenta una estructura compleja. Múltiples innovaciones en tecnologías permiten obtener empleando una gran variedad de métodos los azúcares simples que las componen, de forma tal que puedan ser usados para producir etanol.

Es importante destacar que las etapas más críticas del proceso de obtención de etanol a partir de biomasa desde el punto de vista operacional lo constituyen las etapas de Pretratamiento y la de Hidrólisis enzimática.

Realizando un estudio de vigilancia tecnológica sobre la obtención de etanol a partir de biomasa se tiene que de forma general, existen varias tecnologías de pretratamientos que están bajo investigación, *Sun (2002), Knauf (2004),* las cuales fueron evaluadas en la ***Tabla I***, donde el signo " + " y el signo " - " indican una característica positiva o negativa respectivamente. Para las diferentes características un signo " + " implica: "Alto rendimiento de azúcares fermentables", " ninguna o baja producción de inhibidores", " ningún requerimiento de reciclo de productos químicos", "ninguna o baja generación de residuales", " bajos costos de inversión"

Tabla I. Evaluación cualitativa de los procesos de pretratamiento.

Procesos de pretratamientos	***Rendimiento de azúcares fermentables***	***Producción de inhibidores***	***Reciclo de químicos***	***Generación de residuales***	***Costos de inversión***
Acido débil	++	--	--	-	+-
Acido fuerte	++	--	--	-	-
Explosión con vapor	+	--	++	+	-
Organosolv	++	++	--	+	--
Oxidación húmeda	+-	+	++	+	--
Métodos mecánicos	-	++	++	++	+
Extracción alcalina	++/+	++	--	-	++
Acido carbónico	++	++	++	++	+

La anterior evaluación cualitativa de los procesos de pretratamientos muestra que las tecnologías que han sido estudiadas para esta etapa en gran detalle en la última década son hidrólisis ácida fuerte y débil, y

pretratamiento con vapor, y que aún presenta serios inconvenientes; los más importantes son: la formación de inhibidores, la necesidad de regenerar ácidos, la generación de flujos residuales inorgánicos, las altas condiciones de temperatura y presión, y la corrosividad de las corrientes involucradas.
Referente a estos pretratamientos como se ha visto anteriormente, existen múltiples métodos, sin embargo de acuerdo a la literatura consultada, incluyendo un gran número de patentes los que mayores expectativas presentan son: explosión con vapor, extracción alcalina, ácido carbónico y organosolv.
Muchos investigadores *Torrecilla (2003), Ley (2006),* sugieren la aplicación de uno u otro de estos métodos, sin embargo otros proponen la utilización combinada de ellos.
Si bien los procesos Organosolv se encuentran hasta el momento en estado de tecnologías emergentes y en plantas experimentales de baja producción**,** en este caso se selecciona este método ya que se caracteriza por ser un proceso que produce un sustrato que es altamente degradable por enzimas y microorganismos, el solvente a emplear es etanol el cual puede ser recuperado y reciclado, Zhang (2004).
Al finalizar el pretratamiento se incluye una etapa de hidrólisis que puede efectuarse por vía ácida o enzimática para obtener los azúcares fermentables. *Enamorado (2006),* reporta que la hidrólisis enzimática a pesar del alto costo de las enzimas, por los adelantos que presenta la industria biogenética en la actualidad es la vía más prometedora para la conversión de azúcares.
Por todo lo anteriormente señalado para el pretratamiento del bagazo en este caso se propone emplear el método organosolv seguido de una hidrólisis enzimática.
- Descripción de las etapas que conforman el proceso de tratamiento del bagazo:
. Pretratamiento del Bagazo:
En la ***Tabla II*** se muestra la composición general del bagazo.

Tabla II. Composición del Bagazo.

Componente	***%***
Celulosa	42
Hemicelulosa	28
Lignina	30

Se aplica el método Organosolv empleando etanol como solvente, el bagazo se mezcla en una relación 5:1 (líquido/sólido) con una solución de agua y etanol que además contiene ácido sulfúrico, puesto que en pruebas experimentales se ha demostrado que el ácido sulfúrico es más selectivo a la hemicelulosa que el hidróxido de sodio, siendo la hemicelulosa la que influye más negativamente en el proceso de hidrólisis dado a que ejerce un efecto estérico de las enzimas hacia la celulosa. Los componentes anteriormente descritos se mezclan hasta alcanzar una buena impregnación (durante 10 minutos) en la misma y seguidamente, se le inyecta vapor a 175 ˚C, manteniendo una presión de 7 kgf/cm^2 durante 60 minutos, logrando deslignificar el bagazo bajo estas condiciones. Posteriormente es llevado al filtro a presión, como parte de garantizar las condiciones de humedad en la siguiente etapa.

Hidrólisis de la celulosa:
Se lleva a cabo una hidrólisis enzimática, donde se obtiene un hidrolizado que debe alcanzar una concentración de 70 g/l de ART.
Los principales requerimientos para un proceso en el cual se realizan 8 batch/día de trabajo para obtener 200 HL/d de etanol se muestran a continuación en la ***Tabla III***.

Tabla III. Requerimientos diarios para producir 200 HL de etanol a partir de bagazo.

Requerimiento	***Cantidad***	***UM***
Bagazo a tratar	140	t
Bagazo seco	120	t
Etanol para pretratamiento	2916	m^3
Etanol recuperado	2770	m^3
H_2SO_4 necesario pretratamiento	2.12	m^3
Enzima necesaria	12,8	t

- Determinación de la cantidad de enzimas requerida en el proceso.
Para determinar la cantidad necesaria de enzimas se consideró el siguiente índice:
15 FPU/ gramo de bagazo pretratado. Donde FPU es unidades de papel de filtro.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la ***Figura 1*** se muestran las etapas tecnológicas establecidas de acuerdo a los resultados de laboratorio, para la producción de alcohol a partir de bagazo. El proceso consta de dos etapas de pretratamiento, la primera se realiza en presencia de ácido sulfúrico y la segunda en presencia de hidróxido de sodio. Al culminar cada una de estas etapas se realiza una operación de filtración. De la primera etapa de pretratamiento se genera un licor que es recirculado a la etapa de hidrólisis enzimática minimizando de esta forma los consumos de agua fresca. A la etapa de hidrólisis también se conduce el bagazo pretratado que sale de la segunda etapa de pretratamiento. Una vez obtenido el hidrolizado de bagazo se ajustan en el mismo los azúcares reductores totales ya sea a través de evaporación o por complemento con miel a 120g/L, asimilables para la etapa de fermentación. Cuando se ha fermentado la batición se procede como es tradicional a la destilación del alcohol.

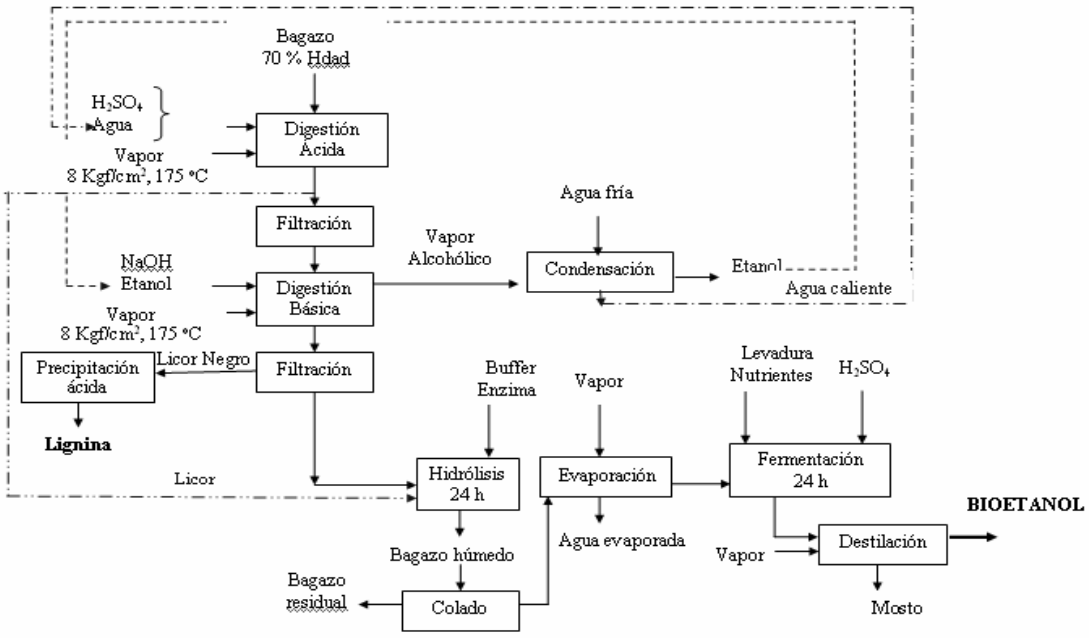


Figura 1. Etapas tecnológicas en la producción de etanol a partir de bagazo.

Como se puede apreciar en la figura anterior es posible la reutilización de corrientes en el proceso lo cual sin dudas beneficiará la economía del proceso. Las corrientes identificadas con posibilidades de recircularse son:

- Etanol (95 %) para pretratamiento básico
- Agua de condensado para el pretratamiento ácido
- Licor de la digestión ácida para la etapa de hidrólisis enzimática.

Es importante señalar que un análisis de integración material y energética a otros procesos como son fabricación de papel y azúcar permitirá identificar otras oportunidades de reuso de recursos como son:

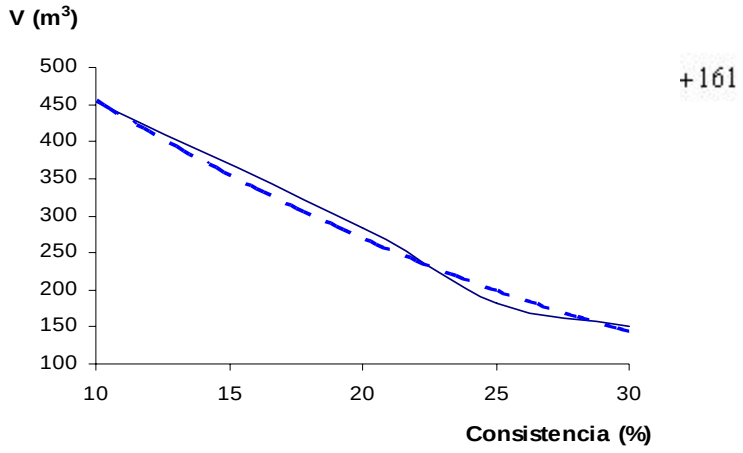
- Reuso de agua.
- Uso de corrientes de vapor.
- Reducción del consumo energético.
- Aprovechamiento de corrientes residuales para la obtención de coproductos.
- Aprovechamiento de las instalaciones instaladas.

Selección del equipamiento.

Una vez definidas las etapas se procedió a la selección de equipos. En este caso se selecciona para las etapas de pretratamiento un reactor discontinuo, presurizado, con agitación, similar a los empleados en los procesos de cocción para la fabricación de papel. En este equipo ocurre la hidrólisis de la hemicelulosa y se solubiliza la lignina.

Para la etapa de filtración se selecciona un filtro de presión al vacío del tipo rotatorio, el cual garantiza temperatura y presión de trabajo requerida para una separación efectiva, efectivo lavado de la torta requerido para optimizar la recuperación de los azúcares, ciclo de operación rápido, requerido para prevenir reacciones indeseables en el filtro y es resistente a la corrosión y a la temperatura de trabajo.

En la etapa de hidrólisis enzimática se seleccionó un reactor estándar enchaquetado para mantener la temperatura requerida en esta etapa, con agitación para lograr homogeneidad en la mezcla a tratar. En esta etapa dada el grado de dilución que es necesario lograr (20g/100mL), se requieren elevados volúmenes de agua representado por un modelo de tercer orden, tal como se muestra en la ***Figura 2***, por lo que es necesario establecer un compromiso entre el agotamiento del bagazo y volumen de trabajo.



+161

Figura 2. Dependencia entre el volumen de agua requerido en la hidrólisis y la consistencia de la pulpa de bagazo.

Se realizó la programación con la ayuda del Microsoft Excel de las ecuaciones para los balances de materiales y energía y el diseño del equipamiento.
En la ***Tabla IV*** se muestran los principales resultados de la evaluación económica realizada a las variantes estudiadas.

Tabla IV. Evaluación económica de variantes estudiadas.

Aspecto	***Bagazo 2 etapas***	***Bagazo + Miel 2 etapas***	***Bagazo 1 etapa***	***Bagazo + Miel 1 etapa***
Materias Primas, $/a	1 611 224	3 818 744	1611224	4 239 444
C. Prod, $/a	14 200 394	163 880 787	13 664 415	16 282 809
C. Inv,$	17 185 107	17 001 936	16 360 836	16 177 664
Valor de la Prod, $/a	3 600 000	3 600 000	3 600 000	3 600 000
VAN, $	- 132 819 577	- 142 807 739	-126 318 214	- 138 484 073
Ganancia, $/a	-10 600 394	- 12 780 788	- 10 064 416	-12 682 809

Ninguna de las variantes resultó factible para las condiciones evaluadas, lo cual demuestra que hay que seguir profundizando en el estudio de las etapas más críticas con el fin de lograr la rentabilidad del proceso.

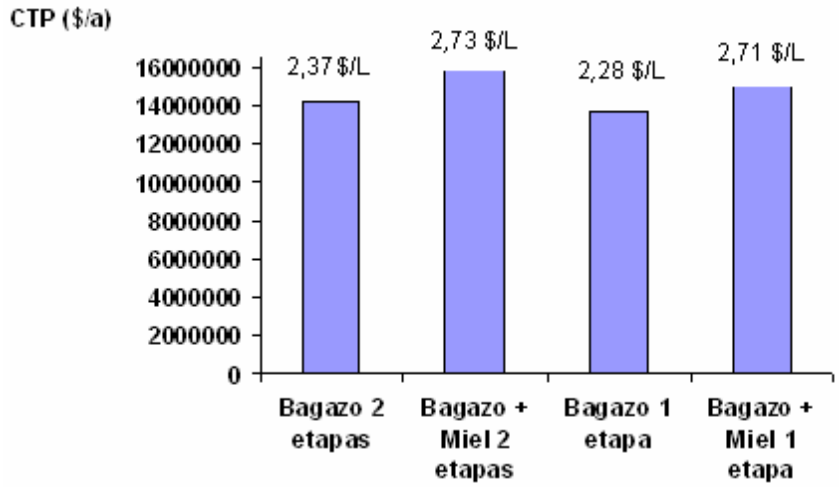


Figura 3. Costo de producción y costo unitario para las variantes analizadas.

En la ***Figura 3***, se puede apreciar que la variante que incluye miel y bagazo con pretratamiento en dos etapas es la de mayor costo de producción, esto se debe a que esta variante incluye varios elementos que incrementan el costo como son: se incluye la miel como materia prima, la cual tiene un costo elevado y además incluye dos etapas de cocción lo cual incrementa los costos de inversión pues se requiere un mayor número de equipos que en las variantes que sólo incluyen una etapa. Otro elemento importante que se detalla en la figura es el costo unitario del etanol obtenido en cada variante, obteniéndose un costo unitario promedio de 2,52$/L, puede apreciarse en la figura que en todos los casos este costo es elevado y bastante superior a lo que se reporta en la literatura para procesos que utilizan como materia prima residuos lignocelulósicos, como es el caso de un estudio realizado en Nueva Zelanda *Curtis (2008)*, donde se reporta

un costo unitario de 1,34$/L. En este mismo trabajo se reporta que en Brasil se ha logrado un costo de $0.80-$1.00/L.
Por otro lado, un análisis por etapas de los costos de adquisición de los equipos mostró que los equipos de la etapa de hidrólisis son los más costosos, ***Figura 4***, esto se debe a que dado los requerimientos operacionales requeridos en esta etapa como son control riguroso de temperatura y gran dilución del material a tratar, lo que implica elevados volúmenes de agua, se requiere un gran número de equipos para el flujo total a tratar y los equipos resultan muy costosos.

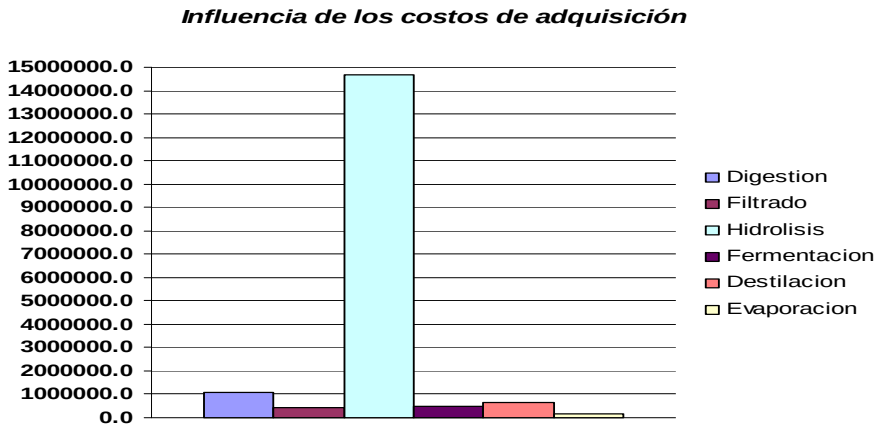


Figura 4. Costo de adquisición de equipos por etapas del proceso.

Otro de los análisis realizados muestra los costos de las materias primas y de este puede observarse que en la variante que solo incluye el bagazo como fuente de los azúcares el costo de las celulasas es el que mayor incidencia tiene, ***Figura 5***. En la variante que incluye también la miel como sustrato azucarado es esta materia la más costosa entre las materias primas, ***Figura 6***.

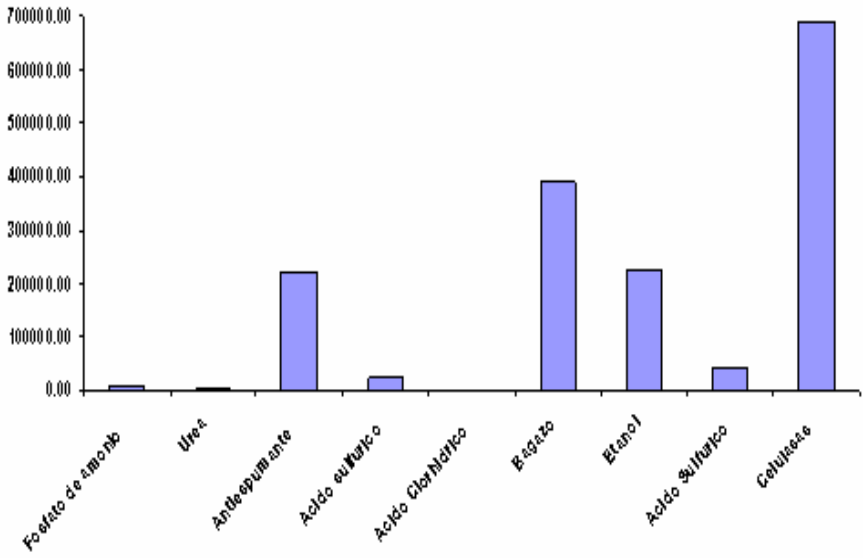


Figura 5. Costo de las materias primas en la variante que incluyen solo bagazo

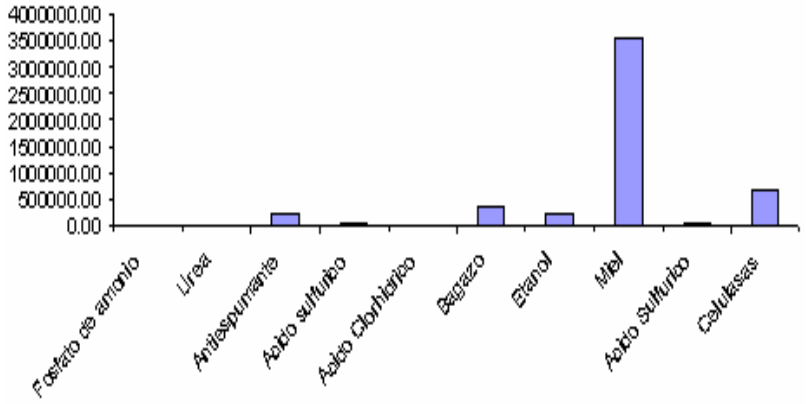


Figura 6. Costo de las materias primas en la variante que incluyen bagazo y miel

Un análisis de los resultados anteriores indica que para lograr la factibilidad de este proceso hay aspectos claves que son necesarios atender estos son:

1. Estrategia inversionista para la reducción de los costos y optimización de la etapa de pretratamiento
2. Desarrollo y optimización de enzimas para un mayor rendimiento y conversión del material lignocelulósico
3. Desarrollo de microrganismos para lograr mayor conversión de azúcares a etanol
4. Exploración de las oportunidades de los coproductos en especial la lignina (lograr mayores niveles de deslignificación)
5. Evaluar alternativas de integración material y energética a otros procesos (fábrica de papel y fábrica de azúcar)

CONCLUSIONES

1. La alternativa evaluada con una sola etapa de pretratamiento es la más sensible a la disminución de los costos de producción.
2. Dentro de las materias primas el costo de las enzimas es el que más influencia ejerce, con un 42,89 % en la variante de producción que emplea solo bagazo.
3. Cuando se incluye miel, ésta es la materia prima que más impacta en los costos, seguida de las enzimas.
4. La etapa de hidrólisis enzimática es la más costosa, dado por el elevado número de equipos y por la relación de consumo de materias primas en la misma.
5. El costo promedio unitario de alcohol en las variantes evaluadas es de 2,52 $/L, valor muy superior a lo reportado en la literatura para procesos que también emplean como materia prima material lignocelulósico.
6. Las tecnologías evaluadas en el trabajo incluyen etapas discontinuas con diferentes tiempos en la operación y la descarga de los equipos lo que provoca la complejidad del proceso y eleva los costos totales.
7. Se hace necesario resolver los problemas vinculados a la logística de los procesos discontinuos para lograr la factibilidad de las instalaciones que se escalen a nivel industrial.

REFERENCIAS

1. Curtis R. (2008), Feasibility Study Short Report. New Zealand Lignocellulosic Bioethanol Initiative. pp 1-15
2. Enamorado, Y. (2006), Determinación de las oportunidades del empleo de residuos sólidos en la producción de bioetanol vinculados con fábricas de azúcar y destilerías tradicionales de alcohol. Tesis de Maestría. Facultad de Química – Farmacia. UCLV.
3. Iturria, P., J. (2001) Estudio medioambiental de la etapa de fermentación alcohólica utilizando diferentes sustratos y sus combinaciones. Tesis de Maestría. Facultad de Química – Farmacia. UCLV.
4. Knauf, M., Moniruzzaman, M. (2004), *International Sugar Journal* 106, 12-18.
5. Ley , N., (2006), Contribución a los métodos de asimilar tecnologías aplicado a un caso de producción de biocombustibles. Tesis de Doctorado. Facultad de Química – Farmacia. UCLV.
6. Sun Y, Cheng J. (2002), *J Bioresource Techno*l. 83, 1-11.
7. Torrecilla, A. (2003), Análisis Técnico Económico para la Producción de Bioetanol a partir de Residuos Lignocelulósicos. Tesis de Maestría. Facultad de Química – Farmacia. UCLV.
8. Zhang Y., Lynd L. (2004) *J Biotechnol. Bioeng*. 8, 797-882.

SACARIFICACIÓN Y FERMENTACIÓN SIMULTÁNEAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL

Carlos Martín[1,2], Cessna Moss[2], Teresa Fernández[1], Alfredo Martínez[2]

[1]Departamento de Química e Ingeniería Química, Universidad de Matanzas, Matanzas 44 740, Cuba, E-mail: (E-mail: carlos.martin@umcc.cu).
[2]Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuernavaca, Morelos, México.

Resumen

Los procesos de sacarificación y fermentación simultáneas (SSF) en la producción de etanol a partir de materiales lignocelulósicos permiten realizar simultáneamente la hidrólisis enzimática y la fermentación alcohólica. Esto evita la inhibición por producto final de las celulasas, ya que la glucosa es convertida en etanol a medida de que es formada por la hidrólisis de la celulosa. En el presente trabajo se compararon dos variantes de procesos SSF para el bagazo de caña de azúcar pretratado por prehidrólisis ácida. Se comprobó que la SSF no isotérmica permite concentraciones de etanol superiores en 37.9-43.4% a las obtenidas por la SSF isotérmica. Se demostró que la etapa de presacarificación es decisiva para alcanzar altos rendimientos de etanol en SSF con concentración inicial de sólidos de 10%. En el trabajo se incluye también la evaluación de distintas preparaciones de celulasas. El complejo GC 220 de Genencor y una combinación de Novozymes resultaron las preparaciones enzimáticas más eficientes para la conversión de la celulosa de bagazo en etanol por un proceso SSF.

Palabras clave: etanol, bagazo de caña de azúcar, sacarificación y fermentación simultáneas.

Abstract

The utilization of simultaneous saccharification and fermentation (SSF) processes in ethanol production from lignocelulosic materials allows to perform the enzymatic hydrolysis and the alcoholic fermentación simultaneously. This approach prevents the end-product inhibition of cellulases since glucose is converted into ethanol as soon as it is formed from cellulose hydrolysis. In this work, two different ways of performing the SSF process of dilute acid-pretreated sugarcane bagasse were compared. It was shown that the non-isothermic SSF leads to ethanol concentrations 37.9-43.4% higher than those achieved by isothermic SSF. The feasibility of the presaccharification step for achieving high ethanol yields in SSF processes with loads of solids of 10% was demonstrated. An evaluation of different cellulase preparations is also included in the work. The Genencor GC 220 complex and a combination of Novozymes enzymes resulted the most efficient enzymatic preparations for bagasse cellulose conversion to ethanol by an SSF process.

Key words: ethanol, sugarcane bagasse, simultaneous saccharification and fermentation

Introducción

La biomasa lignocelulósica es un tipo de materia prima de gran potencial para la producción de etanol sin afectar la producción de alimentos (Wyman, 2007). La bioconversión de los materiales lignocelulósicos requiere de la hidrólisis, ácida o enzimática, de la celulosa y las hemicelulosas para obtener azúcares fermentables (Taherzadeh y Karimi, 2007a,b). Una opción de mucho interés es realizar simultáneamente la hidrólisis enzimática y la fermentación alcohólica. Ese tipo de proceso se conoce como sacarificación y fermentación simultáneas (SSF), y permite evitar la inhibición por producto final de las celulasas y reducir los costos capitales del proceso (Öhgren y otros, 2007a; Olofsson y otros, 2008).
El principal inconveniente de la SSF es que los valores óptimos de temperatura son diferentes para las levaduras y las enzimas celulolíticas, por lo que hay que recurrir a una temperatura intermedia (Grohmann, 1993). El uso de levaduras termotolerantes permite realizar la SSF a temperaturas más cercanas a la óptima de las enzimas, con lo que se logra mejorar la conversión (Araque y otros, 2008). Por otra parte, para lograr una conversión eficiente de la celulosa se requiere utilizar preparaciones enzimáticas con altas actividades de las distintas enzimas componentes del complejo celulolítico (Ikeda y otros, 2007).
En la SSF es deseable utilizar altas concentraciones de sólidos para lograr altas concentraciones de etanol, de modo que se abarate el proceso de destilación (Wingren y otros, 2008). Sin embargo, una seria limitación de la SSF cuando se aumenta la carga de sólidos es que la alta viscosidad del medio dificulta el mezclado. Como solución a este problema se ha propuesto realizar inicialmente una etapa de presacarificación a la temperatura óptima de las enzimas. Posteriormente, se enfría la mezcla, se adicionan los microorganismos etanologénicos y se realiza el proceso de SSF a una temperatura de compromiso entre la enzima y el microorganismo. A ese proceso se le llama SSF no-isotérmica (Varga y otros, 2004). Recientemente se reportó una comparación entre procesos de SSF isotérmica y no-isotérmica de tallos de maíz, en la que se observó que la etapa de presacarificación aumentaba la productividad del proceso pero no mejoraba el rendimiento de etanol (Öhgren y otros, 2007b) debido a la inactivación térmica de las enzimas. En este trabajo se investiga una dosificación de la preparación enzimática que minimiza la inactivación térmica de las enzimas de modo que la introducción de una etapa de presacarificación en la SSF propicia un aumento de la concentración de etanol. Además, se utiliza una cepa termotolerante de levadura y se comparan tres diferentes preparaciones de celulasas.

Materiales y métodos

Pretratamiento

El bagazo de caña de azúcar fue pretratado por prehidrólisis ácida en dos etapas utilizando H_2SO_4 al 4% en una relación líquido sólido igual a 20.7. La duración de cada una de las etapas fue de 1 h, y la temperatura fue 121^{o}C en ambas.

Enzimas

Las preparaciones enzimáticas utilizadas fueron Accellerase™ 1000, GC 220 y Spezyme, generosamente donadas por Genencor (EE.UU.), Cellubrix, NS50013 y NS50010, donadas por Novozymes (Dinamarca). Las actividades enzimáticas fueron determinadas por los métodos del papel de filtro (celulasas), carboximetilcelulosa (endoglucanasa) y *p*-nitrofenil-β-D-glucósido (β-glucosidasa) siguiendo métodos clásicos (Ghose, 1987) y protocolos modificados en nuestro laboratorio (Moss, 2008).

Microorganismo

La cepa Superstart (Alltech, EE.UU.) de levadura panadera (*Saccharomyces cerevisiae*) fue adaptada a 40^{o}C mediante cultivos sucesivos a temperaturas crecientes partiendo desde 30^{o}C. Para obtener un inóculo vigoroso para los experimentos de SSF se preparó un cultivo de levadura en medio YPD suplementado con prehidrolizado ácido de bagazo. Para ello, una asada de un cultivo sólido fresco de la cepa adaptada fue

inoculada en 100 mL del medio en un matraz erlenmeyer de 250 mL, y la mezcla fue incubada a 30°C y 300 rpm durante 16 h. Posteriormente, las células fueron separadas por centrifugación a 4500 rpm y 5°C durante 10 min y resuspendidas en agua estéril en la proporción adecuada para que al ser añadido 1 mL de la suspensión al medio de SSF resultara una concentración de células de 1 g/L.

SSF

El bagazo pretratado fue mezclado con una solución de tampón de citratos (pH 5.0) dando la concentración de sólidos requerida para cada experimento (8 ó 10%). Se adicionaron las preparaciones enzimáticas de acuerdo a la dosificación requerida en cada experimento. El medio fue enriquecido con extracto de levadura (2.5 g/L) y peptona (5 g/L). Se inoculó el cultivo de levaduras previamente preparado, y la mezcla de reacción se incubó a 32 ó a 38°C y 150 rpm durante 120 h. En algunos experimentos antes de comenzar la etapa de fermentación se añadió una porción de las enzimas y se realizó una presacarificación a 50°C. Se realizaron dos réplicas de todos los experimentos.

Análisis

La glucosa se determinó con una analizador YSI (Yellow Springs Instruments, Yellow Springs, EE.UU.) basado en la oxidación con glucosa oxidasa. El etanol fue determinado por cromatografía de gases (GC-6850, Agilent, EE.UU.) utilizando un detector de ionización de llama. Se utilizó helio como gas portador y butanol como estándar interno. Para determinar la biomasa celular se filtraron alícuotas de los cultivos de levaduras a través de papeles de filtro previamente pesados. Posteriormente, los filtros fueron secados en un horno de microondas y la biomasa se determinó gravimétricamente.

Resultados y discusión

Evaluación de los complejos enzimáticos

Como primera etapa de esta investigación se evaluó la efectividad de varias preparaciones enzimáticas suministradas por dos reconocidos productores de enzimas. Las preparaciones investigadas fueron Accellerase™ 1000 (designada como Accellerase en el resto del texto), GC 220, Spezyme, Cellubrix, NS50013 y NS50010. Se determinó la actividad enzimática de las preparaciones en sustratos como celulosa microcristalina, carboximetilcelulosa (CMC), papel de filtro, xilano y *p*-nitrofenil-β-D-glucósido (PNPG).

Tabla I. Actividad enzimática de las preparaciones utilizadas

Preparación	Endoglucanasa, CMC U/mL	FPA (UI/mL)	β-glucosidasa, UI/mL
Accellerase™ 1000	1931.6	52.40	320.9
GC 220	6021.7	94.19	385.6
NS50013	1820.8	ND	25.2
NS50010	-	ND	361.2

En la Tabla I se muestran las actividades de celulasa (como unidades internacionales de carboximetilcelulasa y de papel de filtro) y de β-glucosidasa de Accellerase, GC 220, NS50013 y NS50010, que resultaron ser las preparaciones de mayor interés. Se puede observar que la actividad de endoglucanasa de GC 220 es más de tres veces superior a la de Accellerase y NS50013. Teniendo en cuenta el elevado impacto de las enzimas en el costo de producción del etanol celulósico (Wyman, 2007), la alta actividad de la GC 220 es muy importante desde el punto de vista económico, ya que permite lograr altas conversiones en la hidrólisis utilizando cargas bajas de enzimas.

La actividad de β-glucosidasa en las celulasas de Genencor (GC 220 y Accellerase) es comparable a la de la preparación NS50010 de Novozymes, la cual es una celobiasa comercial. La actividad de β-glucosidasa en la

celulasa NS50013 es muy baja por lo que esta preparación debe usarse combinada con la NS50010. La evaluación completa de todos los complejos enzimáticos se describió en un trabajo previo (Moss, 2008).
Una vez determinadas las actividades enzimáticas se procedió a evaluar la efectividad de las enzimas en procesos SSF de materiales lignocelulósicos. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos con bagazo de caña de azúcar pretratado por prehidrólisis ácida. También se realizaron experimentos con bagazo de agave, lo cual es descrito en otro trabajo (Moss, 2008). Con ambos materiales se utilizó la variante no-isotérmica del proceso SSF.
En el estudio con bagazo de caña de azúcar se realizaron tres fermentaciones paralelas con distintas preparaciones de celulasas. Las preparaciones investigadas fueron Accellerase, GC 220 y una combinación de los complejos NS50013 y NS50010.

Tabla II. Dosificación de las preparaciones de enzimas

Preparación	Endoglucanasa, CMC U/g biomasa	β-glucosidasa, IU/mL
Accellerase™ 1000	386	64
GC 220	386	23
NS50013 + NS50010	386	23

Para preparar el medio, se suspendió bagazo pretratado en solución tampón de citratos dando una concentración de sólidos de 8%. Se añadieron enzimas y se realizó una etapa de presacarificación, para lo cual la mezcla se incubó a 50°C durante 16 h. A continuación, se enfrió la mezcla y se añadió una segunda porción de enzimas, así como nutrientes (extracto de levadura y peptona) y 1 mL de un cultivo de levadura previamente preparado. La carga de enzimas usada se muestra en la Tabla II. Dos quintas partes de las enzimas se añadieron en la presacarificación y tres quintas partes en la etapa de sacarificación y fermentación simultáneas. La mezcla se incubó a 32°C durante 120 h.

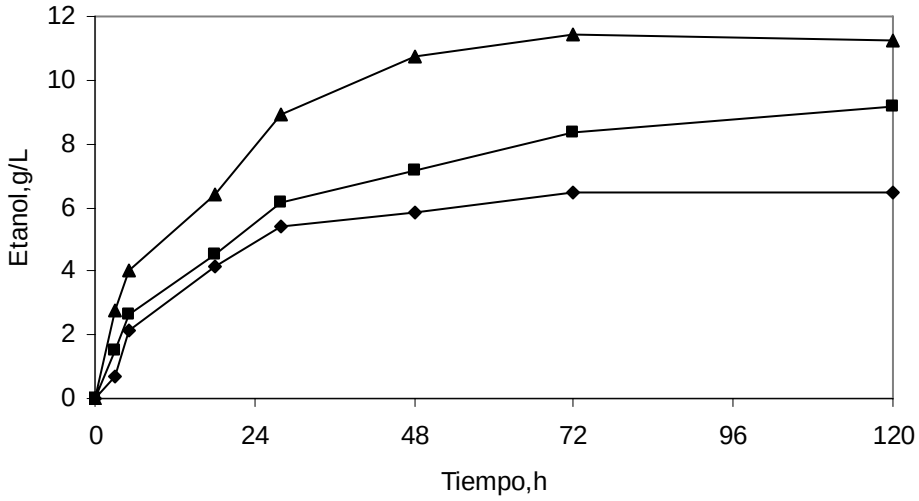


Figura 1. Formación de etanol durante SSF no isotérmica de bagazo pretratado

La conversión de celulosa en etanol fue mayor en la combinación de NS50013 y NS50010 seguida por la preparación GC 220 (Figura 1, Tabla III). Con las enzimas de Novozymes se logró la conversión máxima en 72 h. Las otras preparaciones requirieron de más tiempo para alcanzar el máximo de conversión. No obstante, debe señalarse que aunque la conversión alcanzada con GC 220 fue un 19.7% menor que la

alcanzada con la combinación de Novozymes la cantidad de enzimas en el primer caso fue 4.3 veces inferior, lo que tiene un extraordinario valor económico (Wyman, 2007).

Tabla III. Conversión de celulosa en etanol durante SSF no isotérmica de bagazo pretratado.

Preparación	Conversión, %
Accellerase™ 1000	22.7
GC 220	32.2
NS50013 + NS50010	40.1

La preparación Accellerase, cuyo principal atributo es la alta proporción de actividad de β-glucosidasa con relación a endoglucanasa, tuvo un efecto catalítico inferior a las otras preparaciones, y la conversión máxima alcanzada fue de sólo el 22.7 g por cada 100 g de celulosa, lo que equivale al 56.6% de la conversión alcanzada con la combinación de las preparaciones de Novozymes (Tabla 3). Este resultado no satisface las expectativas creadas por los suministradores en la ficha técnica de la preparación Accellerase.
En sentido general, las conversiones alcanzadas fueron relativamente bajas (Tabla 3) en comparación con lo reportado en la literatura para otros materiales (Olofsson y otros, 2007). Sin embargo, esto no es atribuible a las enzimas utilizadas, sino a particularidades del sustrato y del pretratamiento, lo que no es objeto de estudio en el presente trabajo.

Comparación de SSF isotérmica y SSF no-isotérmica
En este experimento se utilizaron la preparación GC 220 y la combinación de Novozymes, ya que fueron las que dieron las mejores conversiones en el experimento anterior. Sin embargo, las condiciones fueron modificadas hacia parámetros más apropiados desde el punto de vista técnico-económico. La concentración de sólidos utilizada (10%) y la temperatura (38^{o}C) fueron mayores que las utilizadas previamente. Para ambos complejos enzimáticos se utilizaron similares volúmenes, tomando como base que la carga total de enzimas fuese de 20 FPU/g de biomasa para GC 220. Esa actividad equivale a 300 CMC U/g biomasa, lo que es inferior a la carga de 386 U/g utilizada en el experimento anterior. La expresión de la actividad enzimática en FPU tiene como objetivo facilitar la comparación con resultados reportados en la literatura, los cuales generalmente se expresan en esa unidad. En la SSF no isotérmica se dosificó la carga añadiendo 8 FPU/g en la presacarificación y 12 FPU/g en la etapa de SSF propiamente dicha. En la SSF isotérmica, en la cual no hay etapa de presacarificación, toda la enzima se añadió de una vez.
La alta concentración de biomasa hizo que la mezcla de reacción fuese una suspensión muy viscosa y difícil de mezclar. Sin embargo, en los experimentos de SSF no isotérmica la presacarificación provocó una rápida hidrólisis de parte de la celulosa, lo que propició una liquefacción de la mezcla en unas pocas horas. Por eso, en el momento de añadir el cultivo de levadura la mezcla de reacción era una suspensión bastante fluida. La preparación GC 220 resultó en una mejor sacarificación y condujo a concentraciones de glucosa de 15.3 g/L, mientras que las enzimas de Novozymes conllevaron a concentraciones de 14.2 g/L. El efecto de la etapa de presacarificación fue claramente perceptible al compararse con la SSF isotérmica, en la cual en el momento de añadir las levaduras la mezcla de reacción era una suspensión con una alta viscosidad, casi sólida.
La cinética de la formación de etanol tuvo características muy específicas para cada uno de los dos procesos. En la SSF no isotérmica se observó una rápida formación de etanol como resultado de la fermentación de la glucosa liberada durante la presacarificación (Fig. 2). Por otra parte, en la SSF isotérmica la formación de etanol tuvo una cinética más lenta y las concentraciones máximas de etanol se alcanzaron al cabo de 68 h.
La alta productividad de etanol al inicio de la SSF no isotérmica coincide con resultados de un trabajo recientemente reportado sobre SSF de tallos de maíz (Öhgren y otros, 2007b). En ese reporte, a pesar de que la presacarificación propició una productividad de etanol muy elevada durante las primeras 24 h de SSF, no tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento de etanol, y consecuentemente sobre la conversión de la celulosa. Más bien, el rendimiento fue ligeramente inferior en la SSF no isotérmica que en la SSF isotérmica.

Un resultado interesante del presente trabajo es que a pesar de que la formación de etanol aumentó continuamente durante prácticamente toda la SSF isotérmica, en ningún momento se alcanzaron concentraciones similares a las alcanzadas en la SSF no isotérmica. Las concentraciones de etanol en la SSF no isotérmica resultaron superiores en 37.9-43.4% a las obtenidas por la SSF isotérmica. O sea, en nuestro trabajo, a diferencia del trabajo citado (Öhgren y otros, 2007b), la etapa de presacarificación sí fue decisiva en el rendimiento final de etanol, y por lo tanto en la hidrólisis de la celulosa. La diferencia puede deberse a que en el reporte de Öhgren y otros (2007b) toda la enzima fue adicionada al inicio de la presacarificación, por lo que pudo inactivarse durante el proceso, mientras que en nuestro trabajo la adición de enzimas se dosificó adecuadamente entre la etapa de sacarificación y la de SSF, lo que minimizó la inactivación térmica de las enzimas.
Con respecto a las preparaciones enzimáticas, se observó que en la SSF no isotérmica la GC 220 fue más efectiva que Novozymes, mientras que en la SSF isotérmica el orden se invirtió y la combinación de Novozymes propició conversiones ligeramente superiores.

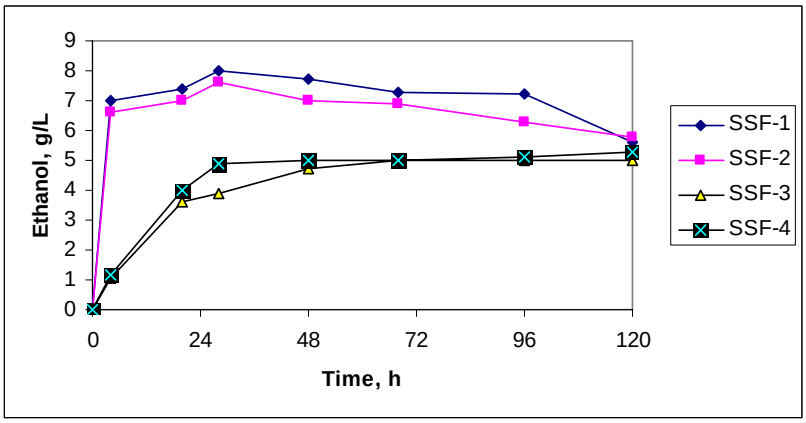


Figura 2. Comparación de SSF no isotérmica y SSF isotérmica de bagazo pretratado. SSF-1, SSF no isotérmica con GC 220; SSF-2, SSF no isotérmica con combinación de Novozymes; SSF-3, SSF isotérmica con GC 220; SSF-4, SSF isotérmica con combinación de Novozymes.

Debe señalarse que las concentraciones de etanol alcanzadas, y consecuentemente los porcentajes de conversión de celulosa, fueron inferiores a los alcanzados a 32°C. Este fue un resultado sorprendente, pues la cepa de levadura empleada había sido adaptada previamente a temperaturas de hasta 40°C. En experimentos adicionales con la misma cepa de levadura se comprobó que en fermentaciones de hidrolizados celulósicos y de soluciones de glucosa a 38°C se alcanzan rendimientos de etanol cercanos al teórico. Estos resultados indican que la fermentación no fue la etapa limitante de la conversión en la SSF a 38°C. Resultados no mostrados en el presente trabajo indican que la baja conversión de celulosa están relacionados con la poca reactividad del sustrato.

Conclusiones

Se demostró la factibilidad de introducir una etapa de presacarificación para aumentar la eficiencia de la conversión de la celulosa en procesos SSF.
Se confirmó el potencial del complejo celulolítico GC 220 y de la combinación de NS50013 y NS50010 para procesos de sacarificación y fermentación simultáneas.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al apoyo financiero del TWAS-UNESCO associateship Scheme at centres of Excellence in the South. También se agradece el apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México y de la Universidad de Matanzas.

Referencias Bibliográficas

Araque, E., Parra, C., Rodríguez, M., Freer, J., Baeza, J. (2008) *Enzyme Microb Technol* 43, 120-123.
Ghose, T.K. (1987) *Pure App! Chem* 59, 257-268.
Grohman K. (1993) Simultaneous saccharification and fermentation of cellulosic substrates to ethanol. Bioconversion of forest and agricultural residues (Saddler, J.N., ed.). CAB International, Wallingford, pp 183-210.
Ikeda, Y., Hayashi, H., Okuda, N., Park, E.Y. (2007) *Biotechnol Progr* 23, 333-338.
Moss, C. (2008) Evaluación de complejos enzimáticos para hidrolizar celulosa y su aplicación en la producción de etanol. Reporte. Instituto de Biotecnología. Universidad Nacional Autónoma de México.
Öhgren, K., Bura, R., Lesnicki, G., Saddler, J., Zacchi, G. (2007a) *Process Biochem* 42, 834-839.
Öhgren, K., Vehmaanperä, Siika-Aho, M., Galbe, M., Viikari, L., Zacchi, G. (2007b) *Enzyme Microb Technol* 40, 607-613.
Olofsson, K., Bertilsson, M., Zacchi, G., Hahn-Hägerdal, B., Lidén, G. (2007) *Biotechnol Bioeng* 99, 783-790.
Rudolf, A., Baudel, H., Lidén, G. (2008) *Biotechnol Biofuels* 1, 7.
Taherzadeh, M.J., Karimi, K. (2007a) *BioResources* 2, 472-499.
Taherzadeh, M.J., Karimi, K. (2007b) *BioResources* 2, 707-738.
Varga, E., Klinke, H., Réczey, K., Thomsen, A.B. (2004) *Biotechnol Bioeng* 99, 783-790.
Wingren, A., Galbe, M., Zacchi, G. (2008) *Bioresour Technol* 88, 567-574.
Wyman, C. (2007) *Trends Biotechnol 25*, 153-157.

APLICACIÓN DE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA EN EL ANÁLISIS DE DIFERENTES ESQUEMAS DE PRODUCCIÓN INTEGRADA DE ALCOHOL, AZÚCAR Y ELECTRICIDAD

Autores: Alfredo Torres Fernández, Gladys Blanco Carracedo, Maribel Herryman Murrilla, Oscar Almazán del Olmo y Agustín Cabello Balbín.

Institución: ICIDCA.
E-mail: alfredo.torres@icidca.edu.cu

RESUMEN

En el trabajo se aplica un modelo de programación lineal para el análisis de diferentes esquemas de producción integrada de alcohol, azúcar y electricidad con el fin de optimizar el proceso de toma de decisiones bajo diferentes condiciones del mercado mundial. Este modelo brinda una herramienta de análisis muy útil para enfrentar la realidad histórica de que el azúcar es uno de los productos básicos con mayor variabilidad en los precios.

Palabras claves: modelo, toma de decisión, programación lineal, precios de productos básicos, dirección.

ABSTRACT

The ways and means of a linear programming model for the analysis of different combined electricity-sugar-ethanol production schemes was designed in order to optimize the process of decision making under different world market conditions. This model provides a useful tool to face the historical fact that sugar belongs to the set of commodities with most variability of price.
Key words: model, decision making, linear programming, commodity prices, management.

INTRODUCCIÓN

Con los niveles sin precedentes que están alcanzando los precios del petróleo crudo, crecen las perspectivas mundiales para el etanol usado como combustible. La producción del etanol derivado de plantas feculentas y azucareras, tales como la caña de azúcar y algunos cereales, aumentó un 53 por ciento, desde 30 mil millones de litros en 2000 hasta alrededor de 46 mil millones de litros en 2005. Se prevé que para 2010 el consumo mundial de etanol alcance los 54 mil millones de litros, correspondientes a alrededor de un 1 por ciento del consumo mundial de petróleo. El interés creciente que suscita el combustible etanol obedece no sólo a las preocupaciones por los altos precios del petróleo sino también a otros motivos importantes. Entre los cuales cabe mencionar los siguientes: la necesidad de diversificar las fuentes de energía, el deseo de muchos países de reducir el gas de efecto invernadero de conformidad con el Protocolo de Kyoto, y la necesidad de estabilizar los precios de los productos básicos y ajustar las subvenciones agrícolas a las disposiciones de la OMC. Gracias a los avances tecnológicos y a los incentivos normativos, la industria del combustible etanol ya no se limita a unos pocos países (Brasil, Japón y los Estados Unidos) sino que está cobrando importancia también en otras partes del mundo, sobre todo China, la India y Tailandia. El incremento de la utilización de etanol tiene el potencial de crear una demanda apreciable de productos agrícolas relacionados con la energía y de influir ulteriormente en los mercados de productos básicos. Este hecho, hace posible que la tecnología

de producción flexible de azúcar y etanol se haga muy atractiva ya que permite en cada momento garantizar los niveles de producción adecuados, desde el punto de vista económico, dado los precios existentes de ambos productos básicos en el mercado mundial.
Precisamente, como un complemento importante de la aplicación de la tecnología de producción flexible, se presenta un método técnico-económico que permite orientar de forma óptima el proceso de toma de decisión sobre la producción combinada de azúcar, etanol y electricidad bajo condiciones de una gran volatilidad en los mercados de los productos básicos. Para alcanzar este objetivo, un modelo de programación lineal se desarrolla, en el que la ganancia agregada de un esquema de producción integrado de azúcar, etanol y electricidad representa la función objetivo. La solución de este modelo viene dado por los volúmenes de azúcar (en toneladas por año), etanol (en litros por año), y electricidad entregada a la red (kW.h por año) que maximizan la ganancia agregada. Desde el punto de vista económico, esta metodología se convierte en una valiosa herramienta analítica para cualquier productor que quiera alcanzar el esquema de producción apropiado, de acuerdo al impredecible comportamiento que tienen los precios mundiales de los productos básicos (azúcar y etanol).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establece como función objetivo del modelo, a la ganancia agregada, que no es más que la suma de todas las ganancias asociadas con cada variable de decisión. Las variables de decisión son:
X_s: Cantidad de azúcar producida (t/a)
X_a: Cantidad de etanol producida (Hl. /a)
X_e: Cantidad de electricidad entregada (kWh/a)
Luego, para cada variable de decisión, el impacto que tiene la volatilidad del precio sobre su ganancia específica, esta dado por lo siguientes términos:
MP_s: margen precio-costo del azúcar ($/t)
MP_a: margen precio-costo del etanol ($/Hl.)
MP_e: margen precio-costo de la electricidad ($/kWh)
De manera que la función objetivo se expresa:

$$\mathbf{G = MP_s{*}X_s + MP_a{*}X_a + MP_e{*}X_e} \qquad (1)$$

Para resolver el problema de optimización, algunas restricciones de capacidad y balance son tomadas en cuenta.

Restricciones de capacidad

$\mathbf{X_s \leq X_s\ (máx.)}$ para la producción de azúcar; donde X_s (máx.) se obtiene a partir de la siguiente expresión:

X_s (máx.) = (Capacidad de molienda)*(Rendimiento de azúcar)*(Días de zafra)

$\mathbf{X_a \geq X_a\ (mín.)}$ para la producción de etanol; donde X_a (mín.) se obtiene cuando toda la caña es procesada para producir solamente azúcar crudo.

$\mathbf{X_a \leq X_a\ (máx.)}$ para la producción de etanol; donde X_a (máx.) se obtiene cuando toda la caña se procesa para producir solamente etanol.

X_a (máx.) = (Capacidad de molienda)*(Rendimiento de etanol)*(Días de zafra)

$\mathbf{X_e \geq X_e\ (mín.)}$ para la electricidad entregada a la red; donde X_e (mín.) se obtiene cuando toda la caña es procesada para producir solamente azúcar crudo y la demanda de energía eléctrica para proceso es máxima.

$\mathbf{X_e \leq X_e\ (máx.)}$ para la electricidad entregada a la red; donde X_e (máx.) se obtiene cuando toda la caña se procesa para producir solamente etanol y la demanda de energía eléctrica para proceso es mínima.

Restricciones de balance

Para el balance de toda la caña molida se emplea:

$\mathbf{\alpha_s{*}X_s + \alpha_a{*}X_a \leq C;}$ donde **C** se obtiene de acuerdo a esta expresión:

C = (Capacidad de molienda)*(Días de zafra)
Y **α_s = (Rendimiento de azúcar)$^{-1}$**, **α_a = (Rendimiento de etanol)$^{-1}$**
Para el balance de azúcares totales se emplea:
β_s*X_s + β_a*X_a ≤ S; donde **S** se obtiene:
S = (Capacidad de molienda)*(Días de zafra)*(Contenido de AT[1])*(1-Pérdidas)
Además:
β_s = 1
β_a: Índice específico de consumo de azúcares para la producción de etanol (t / Hl.).
Para el balance de la energía eléctrica se emplea:
λ_s*X_s + λ_a*X_a + λ_e*X_e ≤ E; donde **E** se obtiene:
E = (Capacidad de molienda)*(Días de zafra)*(33,40 Kwh. /t)[2]
Además:
λ_s: Índice específico de consumo de energía eléctrica para la producción de azúcar (kWh. /t).
λ_a: Índice específico de consumo de energía eléctrica para la producción de etanol (kWh. /Hl.).
λ_e = 1

Desde el punto de vista de cálculo, la solución del modelo de programación lineal conformado por las ecuaciones que describen tanto las restricciones de capacidad como de balances y la ecuación de la función objetivo (1) se obtiene utilizando el programa SOLVER de EXCEL.
Luego, esta solución depende de ciertos parámetros asociados con la tecnología de producción flexible propuesta.
Los valores de los parámetros tecnológicos que se consideraron en el modelo son:

Tabla I Valores de parámetros tecnológicos en el modelo

Parámetros Tecnológicos	Valor
Capacidad de molida (t/d)	7 000
Días de zafra (d)	150
Molida Total (t/a)	1 050 000
Bagazo producido (50%H) (t/a)	315 000
Producción máxima de azúcar (t/a)	126 000
Producción máxima de etanol (Hl./a)	735 000
Producción mínima de etanol (Hl./a)	85 714
Capacidad de generación máxima (kwh/a)	35 070 000
Fracción de AT en caña	0,15
Fracción de pérdidas de azúcar en proceso	0,08
Índice específico de consumo de azúcares en la producción de etanol (t/Hl.)	0,22
Índice específico de consumo de energía eléctrica en la producción de azúcar (kwh/t)	187,31
Índice específico de consumo de energía eléctrica en la producción de etanol (kwh/Hl.)	31,56

[1] Azúcares Totales.
[2] Según Valdés (1997) si se considera generación-cogeneración en turbinas de extracción-condensación.

Para este modelo, se tomaron los siguientes valores de costo de producción: en el caso del azúcar crudo, 166 $USD/t (Mitchell, 2005) y para el etanol, 26 $USD/Hl. (Jolly, 2006). Con vistas a simplificar el análisis de generación de electricidad se asume un margen precio-costo de 0,08 $USD/Kwh., con el objetivo de estimular la cogeneración y de esa forma justificar la inversión en la planta de energía.
De acuerdo a OECD-FAO Agricultural Outlook 2005/2014, el precio del azúcar crudo en el mercado mundial oscilará en un estrecho rango entre 7 a 10 ctvos/lb., para los próximos años. Por tanto, en el análisis se considera un precio base de 8 ctvos/lb., que se incrementa hasta 13 ctvos/lb.
En el caso del etanol, se toma un precio base de 30 $USD/Hl., el cual se eleva hasta 45 $USD/Hl., teniendo en cuenta la actual tendencia del precio del petróleo.
De esta forma, la optimización del modelo con los parámetros técnicos y económicos considerados le brinda al usuario la posibilidad de seleccionar el esquema de producción óptimo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Es lógico que cambiando ambos precios en el modelo simultáneamente, es posible obtener las soluciones que serían diferentes en cada caso.
En el trabajo se analiza la respuesta del modelo optimizado a la variación en el precio del azúcar crudo a dos niveles diferentes del precio del etanol, de ahí que se diseñen dos escenarios. En ambos escenarios, se varía el precio del azúcar crudo de 8 a 13 ctvos/lb., la diferencia radica, en que en uno se toma un precio del etanol de 30 $USD/Hl., y en el otro de 45 $USD/Hl.
Para el caso del escenario con el nivel bajo del precio del etanol, los resultados de la optimización del modelo fueron:

Tabla II. Resultados de la optimización del modelo para el escenario con el nivel bajo del precio del etanol.

Precio del azúcar crudo $USD/lb.	Precio del etanol ($USD/Hl.)	Volumen de azúcar crudo (t/a)	Volumen de etanol (Hl./a)	Electricidad entregada (kWh/a)	Ganancia Total ($USD/a)
0,08	30	0	664.679	11.870.250	3.475.400
0,09	30	111.306	85.714	11.515.414	4.808.975
0,10	30	111.306	85.714	11.515.414	7.262.162
0,11	30	111.306	85.714	11.515.414	9.715.349
0,12	30	111.306	85.714	11.515.414	12.168.536
0,13	30	111.306	85.714	11.515.414	14.621.723

De la tabla II se aprecia la existencia de un punto de ruptura cuando el precio del azúcar crudo es 9 cents/lb. En otras palabras, el modelo optimizado demuestra que la producción de etanol debe ser la opción seleccionada cuando el precio del azúcar crudo es inferior a 9 cents/lb., si se considera un precio del etanol de 30 $USD/Hl. En cambio, si el precio del azúcar crudo es superior a 9 cents/lb., la mejor opción sería la producción de azúcar crudo.
Si se aplica el escenario con el nivel alto del precio del etanol, los resultados de la optimización del modelo fueron:

Tabla III. Resultados de la optimización del modelo para el escenario con el nivel alto del precio del etanol.

Precio del azúcar crudo $USD/lb.	Precio del etanol ($USD/Hl.)	Volumen de azúcar crudo (t/a)	Volumen de etanol (Hl./a)	Electricidad entregada (kWh/a)	Ganancia Total ($USD/a)
0,08	45	0	664.679	11.870.250	13.445.583
0,09	45	0	664.679	11.870.250	13.445.583
0,10	45	0	664.679	11.870.250	13.445.583
0,11	45	0	664.679	11.870.250	13.445.583
0,12	45	56.429	405.828	11.690.357	14.101.774
0,13	45	111.306	85.714	11.515.414	15.907.437

De la tabla III se aprecia la existencia de un punto de ruptura cuando el precio del azúcar crudo es 13 cents/lb. Eso significa que la producción de azúcar crudo debe ser la opción seleccionada cuando el precio del azúcar crudo es superior a 13 cents/lb., si se considera un precio del etanol de 50 $USD/Hl. También hay un intervalo entre 12 y 13 cents/lb., en el que el esquema óptimo es la producción combinada de azúcar y etanol. Por debajo de 11 cents/lb., la mejor opción sería la producción de etanol.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que esta metodología representa una excelente herramienta de análisis en las manos de cualquier productor (decision maker) en el proceso de selección del esquema óptimo de producción dado los precios variables de los productos básicos estudiados. A pesar de esto, este procedimiento tiene algunas limitaciones ya que se limita exclusivamente a la variación del precio de los productos básicos considerados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Mitchell, Donald (2005). Sugar Policies: Opportunity for change. International Sugar Journal, 107 (1273): 12.
2. Jolly, Lindsay (2006). Commercial Viability of Fuel Ethanol Production, presentado en el Taller Internacional en la Producción y Usos del Etanol, Ciudad de La Habana, Cuba.
3. OCDE-FAO (2005), Perspectivas agrícolas 2005-2014, Cáp. 3, pp. 67-77.
4. Valdés, Antonio y otros (1997), Combustibles y Energías renovables a partir de la biomasa azucarera, presentado en la Reunión Regional sobra la Biomasa para la producción de energía y alimentos, Ciudad de la Habana, Cuba.

ESTUDIO PRELIMINAR DEL CARBAMATO DE ETILO EN AGUARDIENTES Y BEBIDAS ALCOHÓLICAS DESTILADAS.

Idania Blanco Carvajal[1], Magdalena Lorenzo[1], Alexandre Ataide da Silva[2], Maria del Carmen Vasallo[1], Douglas Wagner Franco[2].

1. 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: **idania.blanco@icidca.edu.cu**
2. Instituto de Química de São Carlos, Universidad de São Paulo. Av. do Trabalhador Sancarlense, 400,13560-970. São Carlos- São Paulo, Brasil

Resumen.

La identificación y cuantificación del carbamato de etilo (C.E.), ha conducido a numerosos estudios para entender mejor su formación y buscar soluciones para eliminar o reducir su contenido, al ser un compuesto con actividad carcinogénica. En este trabajo se realizó un estudio preliminar del contenido de carbamato de etilo en aguardientes de tres destilerías y rones cubanos. La determinación se llevó a cabo a través de un cromatógrafo de gases equipado con un detector de masas (CG-SM), con monitoreo del ión selectivo m/z 62. Con los resultados de este estudio se demostró que los aguardientes de las destilerías Heriberto Duquezne y Urbano Noris no presentan C.E y la de Melanio Hernández al igual que en los rones analizados su contenido está por debajo del límite máximo permitido por la legislación Canadiense. Se debe seguir el estudio con muestras de las demás destilerías del país para poder establecer un análisis de las causas que originan la presencia de este indeseable compuesto.

Palabras claves: carbamato de etilo, bebidas alcohólicas, aguardientes, CG-SM.

Abstract

The identification and quantification of ethyl carbamate(EC) has led to numerous studies to better understand their development and find solutions to eliminate or reduce its content due to its carcinogenic activity. In this work a preliminary study was conducted of the content of ethyl carbamate in spirits of three Cuban rum distilleries and, as well as an experience to see if pre-treatment of the sample with a stream of ozone is a way to eliminate or reduce the content EC in drinks. The determination was carried out through a gas chromatograph equipped with a mass detector with selective ion monitoring m / z 62. The results obtained from this study showed that the spirits of Heriberto Duquezne and Urbano Noris distilleries do not contain EC and Melanio Hernandez distillery's content of EC is below the maximum level allowed by Canadian law, as well as in the rums analysed. It also showed that a study should be continued with samples from other distilleries along the country to establish an analysis of the causes of the presence of this undesirable compound.

Keywords: ethyl carbamate, alcoholic beverages, spirits, GC-MS.

Introducción.

El carbamato de etilo (C.E.), ($NH_2COOCH_2CH_3$), también conocido como uretano o ester etílico del ácido carbámico, es un compuesto al que se le ha demostrado su actividad carcinogénica (Mirvish 1968), (Nettleship y otros 1943), (Schalatter, J. 1990) y es extremadamente indeseable en alimentos, aunque el mismo no contribuye de forma negativa en sus propiedades sensoriales (Boscolo, M. 2000). En el 2007 la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer reclasificó al C.E. como un "posible o probable carcinogénico para los humanos" (JECFA, 2005) éste se encuentra a niveles cuantificables en alimentos fermentados, tales como el pan, la salsa de soya, yogurt, en bebidas alcohólicas como el whisky, cerveza, vinos, rones, etc. (IARC, 2007).

La composición de C.E en bebidas es muy variable, pues su formación puede ser intensificada o inhibida en función de las prácticas de producción de estos productos, depende de las materias primas, condiciones de fermentación, destilación y por último de su almacenamiento. El mecanismo de formación de ésta sustancia en bebidas no esta completamente definido. (Zimmerli, B. 1991). La complejidad de los materiales utilizados en su producción propicia diferentes vías para su formación y estas generalmente se desarrollan por la reacción entre el etanol y precursores nitrogenados, como la urea (Zimmerli, B. 1991), el fosfato de carbamilo (Lawrence, J., 1990) y los cianatos (Cook, R., 1990).

Canadá fue el primer país, que desde 1985, a través del Departamento de Bienestar y Salud (Lawrence, J., 1990), alerto sobre la presencia de C.E. en concentraciones elevadas en vinos y bebidas destiladas, comercializadas en su país. En este momento, fue cuando estableció límites máximos de este compuesto para las bebidas alcohólicas, como por ejemplo: vinos 0,030 mgL^{-1}; vinos fortificados 0,100 mgL^{-1}; bebidas destiladas 0,150 mgL^{-1} y para los destilados de frutas y licores 0,400 mgL^{-1}(Conacher y Page 1986), (Health Canada A, 2007). Esta legislación incentivó a los productores de whisky a reducir los contenidos de C.E., así como a otros países productores de bebidas que sirvió de referencia para los Estados Unidos y la Comunidad Europea. En marzo de 1990, la FDA (Food and Drug Administration), publicó una nota (Dyer, R,H.; 1994) donde los productores de whisky americanos se comprometían, a partir de esa fecha, a limitar los valores de C.E. a 0,125 mgL^{-1}.

En Cuba no existe ninguna orientación, ni legislación sobre los niveles máximos permitidos de C.E. en las bebidas alcohólicas destiladas, pero es una preocupación para los productores cumplir con las exigencias que existen en el mercado internacional.

Por lo expuesto anteriormente, diversos investigadores han desarrollado numerosos métodos cromatográficos para la determinación de carbamato de etilo y se han utilizado diferentes detectores para la detección y cuantificación del mismo. (Walker et al.1974), (Dennis et al.1986*),* (Canas et al.1988).

Actualmente la cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas (GC-MS) se torna mucho más conveniente para la determinación del C.E. en bebidas destiladas, por su elevada sensibilidad cuando se opera en los modos de impacto electrónico e ionización química, además de no tener la necesidad de realizar preparación previa de la muestra, lo que traería errores susceptibles. (Benjamín, P.Y. 1987).

En el presente trabajo se analizaron muestras de aguardiente de caña de diferentes destilerías, rones cubanos y extranjeros para realizar un estudio preliminar en la identificación y cuantificación del carbamato de etilo; para esto se aplicó la cromatografía gaseosa acoplada a un espectrómetro de masa, para la determinación del carbamato de etilo en bebidas destiladas.

Materiales y métodos.

Para el método desarrollado por cromatografía de gases, todos los reactivos utilizados son de grado analítico. El patrón del carbamato de etilo fue adquirido por la firma Sigma-Aldrich. Se utilizó etanol Mallinckrodt y agua destilada desionizada en el sistema Milli-Q.

Para preparar la solución patrón del C.E, se partió de una solución madre de 22,0 mg/L en etanol/agua 840:60 v/v (Andrade-Sobrinho, L.G. y otros, 2002) y se trabajó en un rango de concentración para la construcción de la curva analítica entre 0,050 – 12,0 mg/L.

Metodología para la determinación del carbamato de etilo

Para la determinación del Carbamato de etilo se utilizó un cromatógrafo de gases Shimadzu GC 17A acoplado a un detector selectivo de masas Shimadzu modelo QP-5050A operado por el modo de impacto electrónico 70 eV con monitoreo del ión selectivo m/z 62. Se utilizó una columna cromatográfica HP-FFAP (50m x 0,30mm x 0,2μm) de fase estacionaria polietilen glicol esterificado.

El programa de temperatura utilizado en el horno fue de 90°C (2 min.), elevar a 10°C/min. hasta 150°C (0 min.), posteriormente elevar 40°C/min. hasta 230°C (10min.). Las temperaturas del inyector y de la interfase del detector fueron de 250 a 230°C, respectivamente. El volumen de inyección fue de 2,0 μL en el modo splitless y el gas portador helio a razón de 1,5 mL/min.

Las muestras fueron analizadas sin tratamiento previo. Para la cuantificación se utilizó el método de adición de patrón y para el cualitativo monitoreo del ión m/z 62 y tiempo de retención. La confirmación fue realizada por adiciones sucesivas de solución patrón, observándose el área y simetría del pico. Los coeficientes de correlación de las curvas analíticas variaron entre 0,9996 y 0,9998.

Muestras analizadas

Fueron analizadas por duplicado tres muestras de aguardiente de caña de tres destilerías: Melanio Hernández (Sancti Spriritus), Heriberto Duquezne (Villa Clara) y Urbano Noris (Holguín). En el caso del aguardiente de Melanio también se analizó una muestra de aguardiente añejado en barriles de roble americano. Se analizaron 18 muestras de rones extranjeros: 6 de Brasil, 2 de Canadá, 2 de Jamaica, 2 de Venezuela, 2 de México, 2 de Francia y 2 de otros países y 15 muestras de rones cubanos.

Resultados y Discusión

Análisis cromatográfico.

En la figura 1(a) observamos el espectro de masas por impacto electrónico con monitoreo del ión selectivo m/z 62 de carbamato de etilo, además en la (b) una solución patrón de 0,8 mg/L de C.E. y en la (c) un cromatrograma de una de las muestras de aguardiente de caña analizada. Se confirma que por el monitoreo del ión selectivo m/z 62, es posible identificar y cuantificar el C.E. sin dificultad de que exista una co-elución con otros compuestos presentes en la muestra de aguardiente o ron.

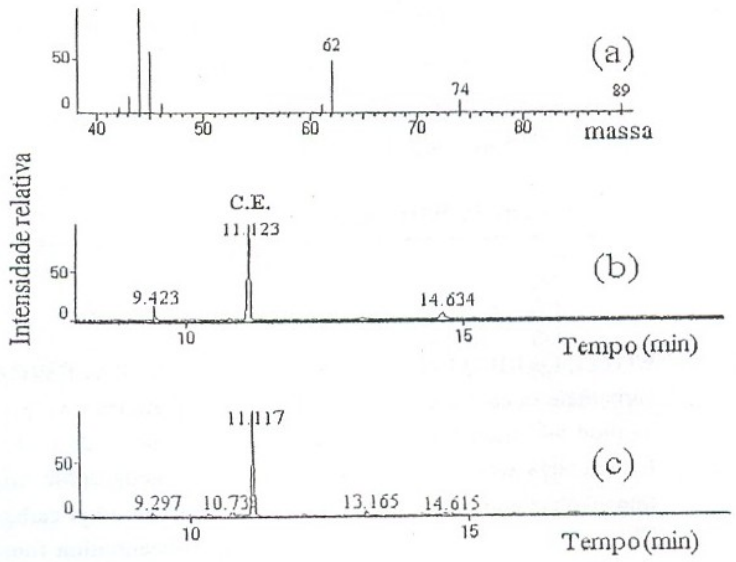


Figura 1. (a) Espectro de masa del carbamato de etilo.
Cromatogramas por GC-MS (SIM, m/z=62);
(b) Solución patrón de carbamato de etilo (C.E.)
(c) Muestra de aguardiente

Análisis de las muestras. Concentración de carbamato de etilo.

De las cuatro muestras de aguardientes que se analizaron el valor medio de carbamato de etilo fue de 0,086 mg/L, en dos de las muestras el compuesto analizado no fue posible cuantificarlo porque se encontraba por debajo del límite de cuantificación. También se pudo comprobar que las muestras presentan un contenido de C.E. por debajo de 0,150 mg/L, que es el valor considerado aceptable internacionalmente. (Conacher y Page 1986), (Health Canada).

En la tabla I se muestran los resultados de la concentración del carbamato de etilo de todas las muestras analizadas. En el caso de las 18 muestras de rones extranjeros los valores oscilan entre 0,0 y 0,186 mg/L, con un valor promedio de 0,052 mg/L. En este grupo de muestras solo hay dos que presentan un valor mayor al aceptado internacionalmente, lo que representa un 11.1 % de las muestras analizadas. En el caso de los rones cubanos (15 muestras) los valores de concentración del C.E oscilan entre 0,00 y 0,151 mg/L, con un valor promedio de 0,055 mg/L. Como se puede observar a pesar de que en este grupo solo hay una muestra con el valor por encima al aceptado, lo que representa solamente un 6,67% del total de muestras analizadas el valor promedio de las concentraciones calculadas es ligeramente más elevado.

Esta información sugiere la necesidad de iniciar un rastreo de todas nuestras bebidas, por las diferentes fábricas y marcas que existen en el país, para poder conocer mejor los factores responsables de la formación del carbamato de etilo.

En este estudio preliminar no fue posible, por las pocas muestras analizadas, establecer una correlación entre los valores de C.E. encontrados y el origen geográfico de las bebidas y aguardientes, las materias primas

utilizadas (nutrientes), el sistema de destilación (material de las columnas), así como el volumen de producción, entre otros factores.

Cuba carece de una legislación específica sobre las concentraciones permitidas del C.E. en cualquier alimento, tanto para la protección de la salud pública como para la manutención de la imagen de los productos nacionales, lo cual traerá un aumento del valor agregado de los productos y mayores oportunidades en el comercio.

Tabla I. Resultados de la concentración de carbamato de etilo en las muestras de aguardientes y rones (cubanos y extranjeros) analizados.

Muestras de Rones	**Carbamato de Etilo (mg/L)**	**Muestras de Rones y aguardientes Cubanos**	**Carbamato de Etilo (mg/L)**
Jamaica (Brasil)	0,015	Ron Gran Añejo Vigía	n.d.
Montilla Blanca(Brasil)	0,047	Havana.Club 7 años	0,069
Bacardi Blanca(Brasil)	0,000	Havana Club Reserva Especial	0,045
Bacardi Ouro(Brasil)	0,012	Havana Club Silver Dry	0,015
Bacardi Premium(Brasil)	0,029	Havana Club Añejo Blanco	0,077
Mont Ouro(Brasil)	0,055	Bucanero	0,016
Capitain Morgan Why(Canadá)	n.d.	Caribbeam Club	0,041
Capitain Morgan Dark(Canadá)	**0,170**	Conde de Cuba	0,035
Appleton Estate (Jamaica)	0,040	Edmundo Dantes	0,111
Myer's Dark(Jamaica)	0,010	Arecha Extra	0,032
Aniversário Pampero(Venezuela)	0,085	Legendario Carta Blanca	0,060
Selecto (Venezuela)	0,022	Mulata Añejo	0,035
Bacardi Solera(México)	0,061	Santiago de Cuba	0,046
XKSolera (México)	0,015	Siboney	0,034
El Dorado(Guiana)	0,079	Varadero	**0,151**
Soccaron (Francia)	0,025	Aguardiente crudo de M.H	0,096
Negrita Old Reserve (Francia)	0,041	Aguardiente añejado de M.H	0,076
Ron Puerto Rico	**0,186**	Aguardiente crudo de H.D.	< L.Q.
		Aguardiente crudo U. N.	< L.Q.

Leyenda: M.H.: Melanio Hernández
H.D.: Heriberto Duquezne
U.N.: Urbano Noris
L.Q.: Límite de Cuantificación
n.d.: no se detectó

Los productores de aguardientes (mas o menos informados) tanto nacional como internacionalmente están cada vez más preocupados por los valores de carbamato de etilo en sus productos. En diversas oportunidades, hemos observado un interés en mejorar la calidad de sus productos, principalmente cuando se destinan al mercado externo, formado por consumidores exigentes.

Actualmente por el potencial carcinogénico del C.E. se ha incentivado la introducción de métodos para reducir internacionalmente los límites del nivel de exposición humana a este compuesto. Estos métodos han tenido éxito y se ha demostrado en estudios realizados en los EE.UU. (en algunas bebidas alcohólicas), en el Reino Unido (solamente en whisky), en Canadá y Australia (en alimentos y bebidas) una marcada disminución de los niveles de C.E. en estos alimentos. (US Food and Drug Administration, 1993), (Food Standards Agency UK, 2000)

Además, en la salud pública de Canadá, como uno de los métodos para disminuir los niveles de consumo del C.E., se ha aprobado el uso de una levadura genéticamente modificada en la producción de bebidas alcohólicas fermentadas. Estas bebidas han desplegado una marcada disminución en el nivel del C.E. de hasta un 89%. (Health Canada B, 2007)

Por todo esto, es que se hace necesario prepararnos para conocer la calidad de nuestras bebidas y continuar los estudios para cada día salir al mercado con alimentos inocuos.

Conclusiones

1. Se identificó y cuantificó el carbamato de etilo en las muestras de aguardientes y rones analizadas.

2. Se comprobó que los niveles encontrados en los aguardientes y rones cubanos están por debajo del límite máximo permitido por la legislación de Canadá

3. Se debe seguir el estudio con todos las bebidas del país para que los productos salgan al mercado con calidad e inocuos.

Referencias Bibliográficas

1. Mirvish, S.S.(1968). The carcinogenic action and metabolism of urethan and N-hydroxy urethan. *Advan. Cancer Res*. **11**: 1-42.
2. Nettleship, A., et al.(1943). *J. Natl. Cancer Inst.* **4**: 309-319.
3. Schalatter, J; Lutz, W.K. 1990. Food Chem. Toxicology., 3, 205.
4. Boscolo, M.; Andrade-Sobrinho, L.G.; Franco, D. W. 2000. Carbamato de Etila em aguardentes de cana. Engarrafador Moderno, No. 86. p. 54-56
5. JECFA, 2005, Summary and Conclusions of the Sixty fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, pp 19-23 available at: http://www.who.int/ipcs/food/jecfa/summaries/en/summary_report_64_final.pdf.
6. (IARC), 2007, International Agency for Research Cancer, Consumption of Alcoholic Beverages and Ethyl Carbamate (Urethane), Vol 96, available at: http://monographs.iarc.fr/ENG/Meetings/96-ethylcarbamate.pdf
7. Zimmerli, B.; Schalatter, J. 1991. Ethyl Carbamate: analytical methodology, occurrence, formation, biological activity and risk assessment. Mutation Research, no. 259, p. 325-350.
8. Lawrence, J.F.; Page, B.D.; Conacher, H.B.S. 1990. The formation and determination of ethyl carbamato in alcohol beverages. Advances Enviromental Science and Technology, v.23, p. 457-471.
9. Cook, R.; Mc. Caig, N.Mc Millian, J.M.B.; 1990. Ethyl Carbamate formation in grain-based spirits. Part III. The primary source. Journal of the Institute of Brewing, v.95, p. 233-244.
10. Conacher, H.B.S., Page, B.D.(1986). Procedings of Euro Food Tox II, Zurich. 237.
11. Health Canada A, 2007. Canadian Standards ('Maximum Limits' for Various Chemical Contaminants in Foods, available at: http://hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/contaminants-guidelines-directives_e.html#guidelines .
12. Dyer, R,H., 1994. Determination of ethyl carbamato (urethane) in alcoholic beverages using capilar gas chromatography with thermal energy analyzer detection: collaborative study. Journal of AOAC International, v.77. no.I, p. 64-66.
13. Walker, G., et al.(1974). Gas chromatographic analysis of urethane (ethyl carbamate) in wines. *J. Agric. Food Chem.* **22**: 944-951.
14. Dennis, M. J.,et al.(1986*). J. Chromatogr*. **369**: 193-198.

15. Canas, B.J.,et al.(1988). Rapid gas chromatographic method for determining ethyl carbamate in alcoholic beverages with thermal energy analyzer detection. *J. Assoc. Off Anal. Chem*. **71**: 509-511.
16. Benjamin, P.Y.; Webwe, D.: Pages,B.D. 1987. Journal Chromatography A, 402, p. 233.
17. Andrade-Sobrinho, L.G.; Boscoso, M.; Lima-Neto, B. dos S.; Franco, D. W., 2002. Carbamato de etila em bebidas alcohólicas (Cachaça, Tiquira, Uísque e Grapa). Quimica Nova, Vol. 25, No. 6B, p. 1074-1077.
18. US Food and Drug Administration, 1993, Urethane in Alcoholic Beverages Under Investigation. US Consumer, available at: http://vm.cfsan.fda.gov/~frf/fc0293ur.html
19. Food Standards Agency UK, 2000. Survey of Ethyl Carbamate in Whisky, Food Surveillance Information Sheet Number 02/00, available at: http://www.food.gov.uk/science/surveillance/fsis2000/2whisky
20. Health Canada B, 2007. Novel Food Information: Saccharomyces cerevisiae Yeast Strain ECMo01, available at: http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/gmf-agm/appro/nf-an148decdoc_e.html

ESTUDIO DE LA CEPA MUTANTE SACCHAROMYCES CEREVISIARE XA3-1 PARA SER UTILIZADA EN LA PRODUCCION DE AGUARDIENTE

Xiomara Alvarez; Olga Porto; Magdalena Lorenzo.

Instituto Cubano de los Derivados de la Caña de Azúcar ICIDCA
xiomara.alvarez@icidca.edu.cu

Resumen

El mutante XA3-1 auxotrofo para los aminoácidos Leu- Val- Isol, obtenido por irradiación a partir de la cepa parental *Saccharomyces cerevisiae* A3 fue estudiado en medio de miel a diferentes temperaturas (30, 34 y 37 °C).
La fermentación de mieles fue caracterizada sobre la base de componentes volátiles (alcoholes superiores), ésteres, aldehidos y acidez total presentes en el mosto fermentado
En el estudio comparativo de su comportamiento fermentativo, con respecto a la cepa parental A3, este mutante mostró una velocidad de crecimiento y fermentación significativamente menor.
El análisis por cromatografía gaseosa del mosto fermentado por dicho mutante mostró una disminución en los alcoholes superiores; los niveles de Acetato de Etilo, Acetaldehido y acidez total, estuvieron en el rango permitido por las normas establecidas para la calidad del aguardiente. Estudios en fermentador de 25 litros de volumen corroboraron estos resultados.

Palabras Claves: Saccharomyces cerevisiae, alcoholes superiores, auxotrofo, fermentación

Summary

A mutant XA3-1 auxotrophic for Leu- Val- Isol-aminoacid was obtained by UV radiation from parental strain *Saccharomyces cerevisiae* A3. The mutant was studied in culture medium based on sugar molasses medium at difference temperature (30, 34 y 37°C).
The fermentation of molasses characterized in relation with the composition of volatiles components (higher alcohols) aldehydes, esteres and total acidity. present the fermented most.
In the comparative studied of their behavior fermentation with regard to the parental strain *A3*, this mutant showed a speed of growth and significanthy smaller fermentation.
The analysis by gas chromatography of this most showed decrease in the higher alcohols content; the levels of Etheyl Acetate, Acetaldehyde and total acidez were in the permissible rango according to the regulation stablished for the quality of fermented spirits. Studies in 25 liters fermenter corroborated these results.

***Keys words**:* Saccharomyces cerevisiae, higher alcohols. auxotrophic, fermentation

Introducción

En la actualidad además de la producción de alcohol, la producción de aguardiente, tiene especial importancia por tratarse de una de las fuentes principales en la elaboración de rones elemento básico en la

formulación de las bebidas destiladas, por lo que se hace necesario determinar la concentración de los alcoholes superiores, en el destilado. Los alcoholes superiores son producidos por las levaduras durante la fermentación alcohólica, ya sea catabólicamente (Vía Erlich) mediante una conversión de la cadena de aminoácidos relacionados estructuralmente presentes en el medio, o a partir de cetoácidos, en este caso las levaduras emplean en parte la misma vía biosintética utilizada en la fermentación de los aminoácidos correspondientes, Rous y Show, (1983); Ingledew, (1995); Alexander, (2000).

La influencia que tiene el aroma en la calidad de las bebidas ha devenido en un estudio relacionado con la composición de la fracción aromática volátil, para mejorar las características organolépticas de las mismas.

Las levaduras utilizadas para la fabricación de ron y aguardiente deben tener características especiales, debiendo producir además de alcohol etílico, ácidos orgánicos, aldehidos, ésteres y alcoholes superiores. Todos los congéneres que le dan aroma y sabor característicos al destilado, con este fin se realizó el mejoramiento de cepas alcoholeras.

La selección de cepas adecuadas, para se utilizadas en la fermentación alcohólica para la producción de bebidas destiladas, que produzcan disminución de los alcoholes superiores, es importante, ya que permite lograr una eficiencia desde las etapas preliminares del proceso fermentativo. La literatura reporta algunos trabajos que emplean cepas alcoholeras mutantes con una producción ya sea incrementada o disminuida de los alcoholes superiores en dependencia del producto final deseado, Rous y Show (1963); Watanabe y cols (1990); Fukuda y cols, (1991 a, b); Fukuda y cols, (1993); (1998); Benvenisty y Eden, 2000). Ingraham, J.L y cols, (1961), demostraron la posibilidad de reducir los alcoholes superiores, utilizando mutantes de una cepa haploide de *Saccharomyces cerevisiae* obtenida en el laboratorio. Reportaron que a un mutante de leucina, se le añadió suficiente leucina al medio de cultivo para su crecimiento , en este caso la formación de alcohol isoamílico fue reducido al 95%. Sin embargo esta cepa no fue adecuada para ser utilizada en la producción de vino porque fermentaba muy lentamente además de otros inconvenientes.

El presente trabajo se realizó con el fin de estudiar el comportamiento de la cepa mutante *Saccharomyces cerevisiae* XA3-1 (Leu- Val- Isol-), obtenida por Alvarez, X (2005) con capacidad disminuida en la producción de los alcoholes superiores. La fermentación se realizó, a las temperaturas de 30, 34 y 37°C, en medio de miel clarificada empleando dos relaciones de inoculación (1:10 y 1,5:10). Se analizó en cada caso el mosto fermentado, determinándose la concentración de los alcoholes superiores.
Se llevó a cabo un estudio en fermentadores de 25 litros de volumen utilizando el medio de miel clarificada y se determinó la concentración de los Alcoholes Superiores, Acetato de Etilo, Acetaldehído Acidez Total y Etanol. Estos resultados fueron comparados con las normas establecidas para la calidad del aguardiente.

Materiales y métodos

Cepas. *Saccharomyces cerevisiae* XA3-1 (Leu- Val- Isol), mutante obtenido por mutagenesis física con luz UV a partir de la cepa *Saccharomyces cerevisiae* A3, productora eficiente de alcohol, Alvarez (2005).

Medios de cultivo y soluciones empleadas. Medio YPG (g/L), peptona 20, extracto de levadura, 10, glucosa 20, agar 20, (para medio sólido), pH 4,6.

Medio de Producción (g/L). Miel diluída 1:1 defangada, Azúcares Reductores Totales (ART) 140 p/v, $(NH_4)_2 HPO_4$, 0,8, agua corriente c.s.p 1 litro, p H, 5.0.

Fermentación

A partir de crecimientos de 24 horas en cuñas de YPG, la cepa patrón A3 y la cepa mutante XA3-1 se inocularon en matraces de 500 m L de medio YPG e incubaron en zaranda orbital a 30°C durante 24 horas con el objetivo de propagar el cultivo. Posteriormente se inocularon frascos conteniendo 200 mL del medio de producción a una concentración de 10^6 cel/mL y se incubaron a 30^0C durante 72 horas.

Determinación del curso de la fermentación por pérdida de peso.

Siguiendo las condiciones de propagación descritas anteriormente se inoculó la cepa patrón A3 y la cepa mutante XA3-1 en 100 mL del medio de producción. Estos matraces fueron incubados a 30°C determinándose su peso durante 144 horas, con el objetivo de determinar el curso de la fermentación por pérdida de peso.

Estudio de Fermentación a diferentes temperaturas 30, 34 y 37°C

Siguiendo las condiciones de propagación descritas anteriormente se estudiaron las cepas patrón A3 y la cepa mutante XA3-1, modificando el medio de propagación al que se le añadió Extracto de Levadura al 2%. Se utilizó el 15% de inóculo en el medio de propagación y en el medio de fermentación. Con esta nuevas modificaciones se determinó el curso de la fermentación por pérdida de peso a la temperatura de 30°C. Se realizaron estudios del comportamiento de la fermentación alcohólica a diferentes temperaturas y se determinó el comportamiento de los congéneres.

Análisis químicos y cromatográficos:

Azúcares Reductores Totales (ART): Método de Eynon Lane modificado para mieles oscuras, Biart (1975).
Alcohol: Por oxidación del dicromato de potasio en presencia de H_2SO_4, Dietrich (1933).
Determinación de congéneres Se cuantificó la presencia de compuestos minoritarios (Acetato de Etilo, Acetaldehido alcohol Propílico Isobutanol y alcohol Isoamílico) en la batición mediante cromatografía gaseosa, empleando una columna SP 1000, como gas portador argón a un flujo de 30 mL/min, con detector FID siguiendo la técnica desarrollada por González y cols (1997)..
Acidez. Se cuantificó la acidez como ácido acético en las baticiones, empleando el método potenciométrico desarrollado por González y cols,(1997).
Procesamiento estadístico. Todas las muestras se evaluaron por triplicado y procesados mediante un ANOVA unifactorial aplicando el estadígrafo t de Student para la comparación de medias con un criterio de confianza del 95% de probabilidad empleando para ello el paquete de programa STATGRAPHICS.

Resultados y Discusión.

En la Fig.2, se muestra el crecimiento de las cepas patrón A3 y la cepa mutante XA3-1 en el medio de miel a la hora 72 de fermentación del cultivo, observándose que la cepa patrón A3 alcanzó un crecimiento significativamente superior a la cepa mutante.
Lo cual conduce a pensar que en la cepa mutante las células fueron afectadas en su actividad replicativa al ser sometidas a la acción del agente mutágeno, hecho esto que afectó la velocidad de formación de alcohol como metabolito asociado al crecimiento Fig.1. Esta mutación que afectó la velocidad de crecimiento, en la cepa XA3-1, no parecen haberse ocasionado lesiones en los genes que codifican para las enzimas involucradas en la alcoholgénesis, pues llega a alcanzar valores de alcohol que no difieren significativamente de lo reportado para la cepa patrón, a la hora final de la fermentación (Fig. 2).

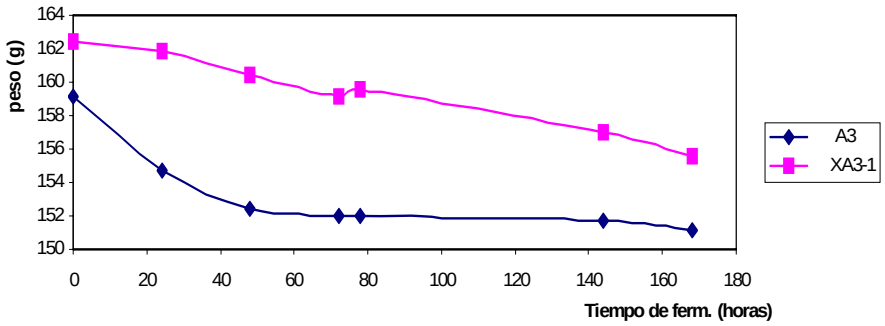


Fig.1 Cepas XA3-1 y A3 Comportamiento de la fermentación por pérdida de peso
Temperatura de fermentación 30°C

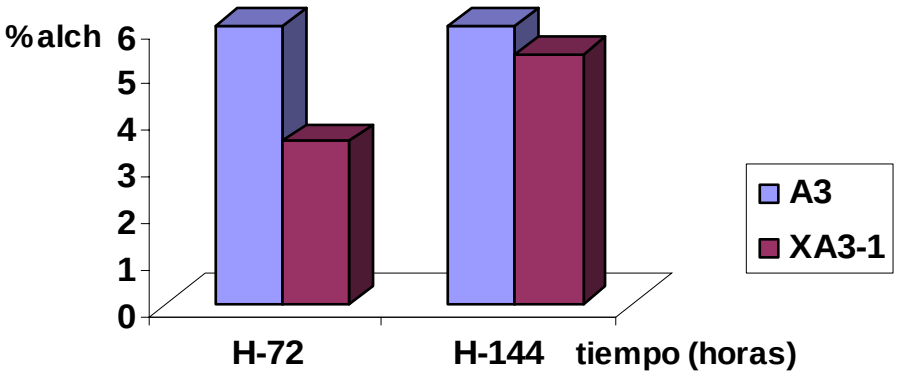


Fig.2 Comportamiento de la producción de alcohol Temperatura de fermentación 30°C.

Estudio comparativo de la fermentación alcohólica por pérdida de peso, en el medio de miel adicionando el Extracto de Levadura al 2%.

El estudio comparativo de la fermentación alcohólica a 30°C, por pérdida de peso las cepas XA3-1 y la cepa A3, cual se le adicionó Extracto de Levadura al 2% al medio de Propagación, y se varió la concentración de inóculo de 1:10 a 1,5:10 (Fig3), mostró que se acortó el tiempo de fermentación del mutante XA3-1 por lo que presentó un comportamiento similar al de la cepa de patrón A3 a partir de la hora 96 de fermentación, hasta la hora final. Bajo estas condiciones de fermentación se realizaron experimentos analizando el comportamiento de los congéneres a la hora 72 y 144 en la mutante XA3-1. (Fig 4)y (Fig 5).

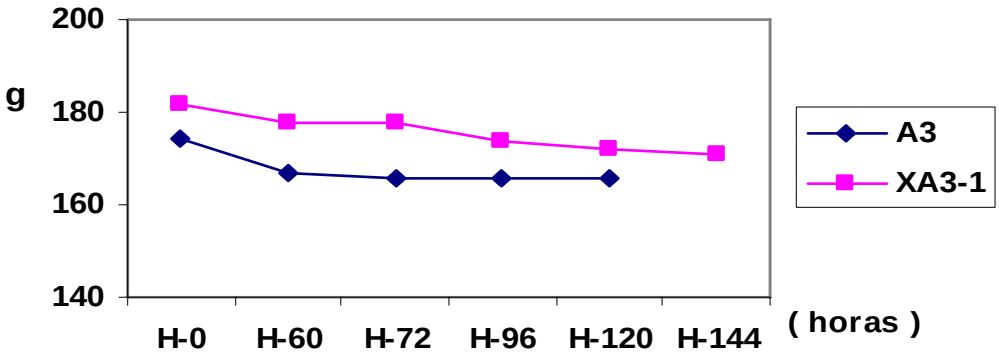


Fig.3 Comportamiento de la fermentación por pérdida de peso. Cepas A3 y XA3-1
Temperatura de fermentación 30°C.

En la Fig.4, se muestra el perfil aromático a la hora 72 de fermentación del cultivo de la cepa patrón A3 y la cepa mutante XA3-1 , donde se muestra que este mutante que presentó una baja velocidad de crecimiento mostró una disminución de los alcoholes superiores Propílico e Isoamílico, un aumento considerable del Acetato de Etilo y de Acetaldehido. Este resultado es importante ya que la literatura reporta que los componentes volátiles no etanol son de gran importancia pues le suministran el aroma y el bouquet a rones y aguardientes, Suomalainen (1971) , Suomalainen (1980) ; Fukuda, (1992); Berry, DR. y Watson, D.C.(1991).

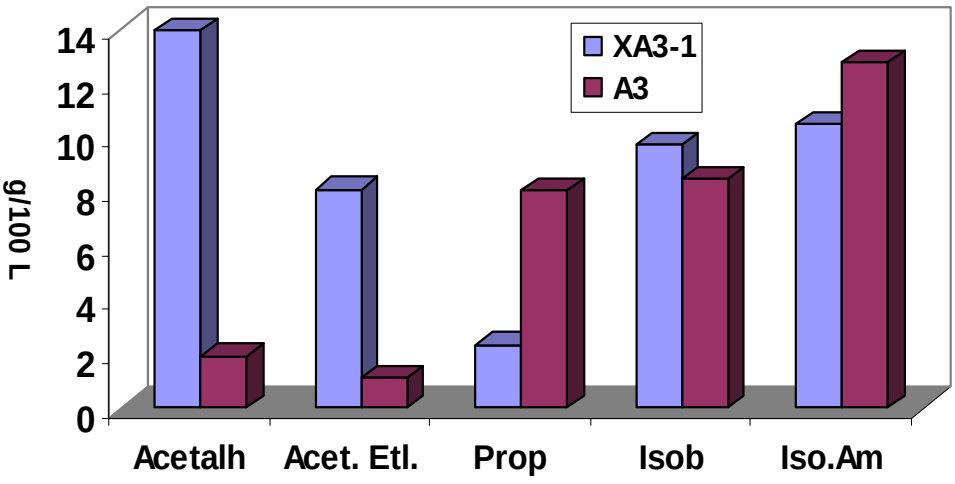


Fig4. Estudio comparativo del comportamiento de los congéneres de las cepas A3, y la cepa XA3-1 tiempo de fermentación 72 horas. Temperatura de fermentación 30°C.

En la Fig.5 Se muestra el perfil aromático de la cepa XA3-1 hasta la hora 144 de fermentación del cultivo, se observó que los niveles de alcohol Isoamílico y Propílico se mantuvieron constante, lo que sugiere que la síntesis de estos alcoholes ocurre antes de culminar la fermentación alcohólica. Sin embargo el alcohol Isobutanol aumentó significativamente su concentración. La literatura reporta, Pinal, y cols (1997) que este alcohol puede seguir produciéndose incluso, horas después de finalizar la fermentación alcohólica, lo cual se ha explicado por cambios ocurridos en el metabolito de la levadura Berry y Watson (1991. En el caso del etanol aumentó a la hora final de la fermentación (Fig. 2)

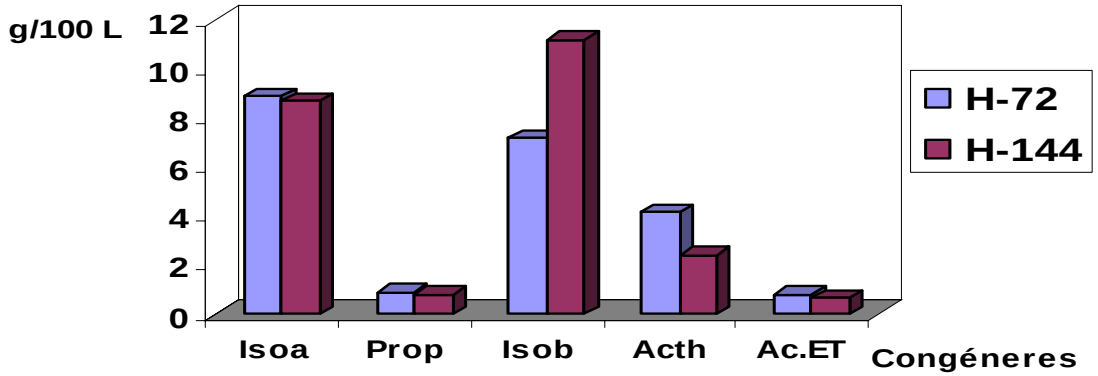


Fig. 5. Cepa XA3-1. Comportamiento de los Congéneres en la fermentación alcohólica.Temperatura de fermentación 30°C. Tiempo de fermentación 144 horas.

Estudio del comportamiento del mutante XA3-1 a las temperaturas de 30, 34 y 37°C.

Se estudió el comportamiento de los congéneres en la fermentación alcohólica en la cepa mutante XA3-1, a las temperaturas de 30, 34 y 37°C se observó que la concentración de los alcoholes Isobutanol, e Isoamílico se mantuvo constante a las temperatura de 30 y 34°C el Propílico está en concentraciones muy bajas a las temperaturas antes mencionadas, y no aparece a la temperatura de 37C. El Acetato de Etilo disminuye considerablemente a las temperatura de 30 34 y 37°C Con relación al etanol disminuye a la temperatura de 37°C. (Fig. 7).

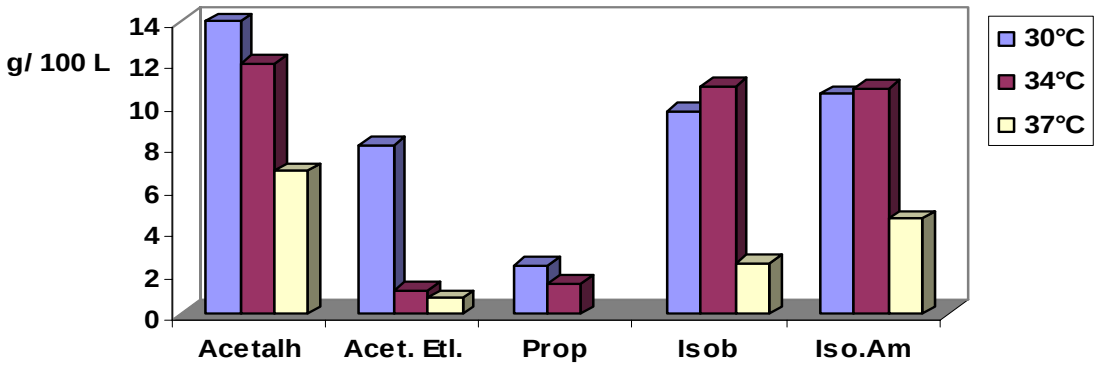


Fig.6 Cepa XA3-1 Comportamiento de los congéneres en la fermentación alcohólica a las temperaturas de 30, 34 y 37°C. Tiempo de fermentación 72 horas.

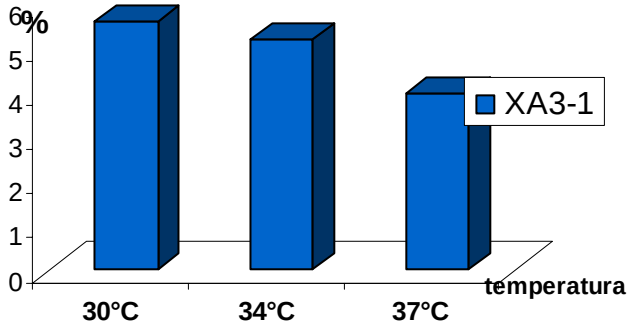


Fig.7 Comportamiento de la concentración de alcohol en la fermentación alcohólica a las temperaturas de 30 34 y 37°C.

Estudio en fermentadores de 25 litros.

En la Tabla 1 se muestran los resultados del estudio comparativo de la batición fermentada de las cepas A3 y XA3-1, donde se observó una disminución de los alcoholes Propílico e Isoamílico y un aumento del Acetaldehído y del Acetato de Etilo.

Experimentos con la cepa mutante XA3-1, después de transcurrida la etapa de Propagación del cultivo, se procedió a la inoculación de los fermentadores de 25 litros de volumen en la relación de 1:10 , se incubaron durante 120 horas a 30°C.

En el análisis del aguardiente crudo esta cepa mostró una disminución de los alcoholes superiores Isoamílico, Isobutanol y Propanol y Acidez Total.-(Tabla.3) En la Tabla 2 se muestran los índices fermentativos
En la Tabla 4, se presenta las normas establecidas para el aguardiente, crudo, Jover, J. (1995), donde se observa que la concentración de alcoholes superiores es mayor que la obtenida en la cepa mutanteXA3-1.-.

Tabla I Estudio del comportamiento de los Congéneres en la batición fermentada

g/100 L .... .cepa A3	cepa XA3-1	
acetaldehído	1,93	13,97
Acetato de Etilo	1,11	8,11
Propílico	8,05	2,34
Isobutanol	8,5	9,73
Iso.Amílico	12,79	10,13
Etanol %	6,0	5,5

Tabla. II Resultados de los congéneres en el aguardiente crudo (cepa mutante XA3-1)
g/100 L AA (74.84^0GL)

Acidez Total	20,5
Acetal.Etilo	24,42
Acetaldehid	22,11
Isobutanol	58,63
Isoamílico	108,71
Propanol	83,11
Total. Alch Iso	167.44
Total Alch. Sup	250,5

Tabla III Índice Fermentativo

%Alcohólico	6,5
% Rend Azc Consumidos	52
% Efic.	80.49
% Rend Azuc. Iniciales	47.70

Tabla IV. Resultados del Aguardiente Crudo en función de los componentes volátiles. **(**Expresado: g/100 L A.A.)

^{0}GL	Esteres	Aldeh	Alch Sup	Acidez T
75,5	20,4	1,6	300	22
74,5	26,2	1,0	300	35
75	18,5	1,4	320	25
74,5	17,8	1,1	350	27
75,5	27,5	1,1	290	32
75,1	21,4	1,7	330	28
75	28	1,0	300	30

Conclusiones

En los estudios realizados, con relación a la influencia de la temperatura sobre algunos parámetros fermentativos y organolépticos, se comprobó que la temperatura óptima de trabajo de la cepa es de 30°C al igual que la cepa patrón A3. Se observaron ligeras afectaciones en los por cientos alcohólicos y variaciones en el perfil aromático.

Estudios sobre la relación de inóculo en la fermentación, se observó que al aumentar a un 15%, pudo lograrse un acortamiento en el ciclo fermentativo de esta cepa, lográndose a partir de la hora 72 los máximos por cientos alcohólicos alcanzados por la cepa patrón A3.

No se detectaron afectaciones apreciables en los congéneres a las temperaturas de fermentación de 30 y 34°C.. La concentración de Acetato de Etilo disminuyó marcadamente cuando la fermentación fue de 34 y 37°C.

En el análisis del mosto fermentado, se comprobó que la cepa mutante XA3-1, presentó disminución de los alcoholes superiores Isobutílico e Isoamílico, y aumento de la concentración de Acetato de Etilo, cuando se compara con la cepa patrón A3.

El resultado del estudio del aguardiente crudo, en fermentadores de 25 litros de volumen , la concentración de los alcoholes superiores y acidez total fue comparable con las normas establecidas para el aguardiente crudo.

Referencias bibliográficas

- Alvarez, X.; Valdés, I; Garcia, R; Porto, O; Hernández, L.M; (2005). Reducción de los alcoholes superiores mediante fermentación con un mutante de *Saccharomyces cerevisiae* auxotrofo para aminoácidos. Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. Vol. XXI No 1. 15-21.
- Alexander, S. 2000 a. Tread search of 2000 Homebrew Digest for Yeast and metabolism Posting 6: http://hbd.org/mbas
- Benvenisty, N y Eden, A. 2000. The use of yeast strain to reduce the production of fusel oils (high alcohols) in alcoholic beverages.http://www.vissum.co.II
- Berry, DR .y Watson, D. C. 1991. Production of organoleptic compounds. En Yeast Biotechnology. Berry, D. R. ; Russell, I. Y Stewart, G. G. Eds. Allen & Unwin. London.

- Biart, J. R. 1975. Determinación de Azúcares. Método Eynon-Lane modificado. Manual de Técnicas Analíticas de la Subdirección de Fermentaciones. ICIDCA.
- Dietrich, R. R. 1933. Técnicas Analíticas seleccionadas. Levaduras y Alcoholes. Z Spiritus industrie. 220-222.
- Fukuda, K. ; Watanabe, M, Asano, K. Ouchi, K, y Takasawa, S. 1991 a Isolation and genetic satudy of p-fluro-Dl-phenyalanine-resistant mutants overproducing ß phenethyl-alcohol in *Saccharomyces cerevisiae*. Current Genetics 20, 449-452.
- Fukuda, K. ; Watanabe, M, Asano, K. Ouchi, K, y Takasawa, S. 1991 b A mutated ARO4 gene for feedback-resistant DAHP synthase which cause both o-fluro-DL-phenylalanine resístanse and ß-phenethyl-alcohol overproduction in *Saccharomyces cerevisiae*. Current Genetics 20, 453-456
- Fukuda, K.; Muromachi, A,; Watanabe, M, Asano, K. y Takasawa, S. 1993. Mutants producing high concentation of the flavor components active amyalcohol and normal propanol in *Saccharomyces cerevisiae*. Journal of fermentation and Bioengineering 75, 288-292.
- González, M. D. y Porto, O. 1997. Manual De Técnicas Analíticas para la industria ronera..
- Ingledew, W. M. 1995. The biochemistry of alcohol production. En: *he Alcohol Textbook. Ethanol Production by Fermentation and Distillation.* Ed. Por: Lyons, T.; Kelsall, D. R. y Murtagh, J. E. Nottingham University Press, Nottinham
- Rous, C.V. y Snow, R. 1983. Reduction of higher by fermentation with a leucine auxotrophic mutant of wine yeqst. J, Inst. Breww., July-August, 89, 227-278.
- Pinal, L.; Cedeño, M, Gutiérrez, H. y Alvarez-Jacobs, 1997. Fermentation parameters influencing higher production in the tequila process. Biotechnology Letters. 19(1), 45-47.
- Watanabe, M.; Fukuda, K.; Asano, K. y Ohta, S. 1990. Mutants of baker"s yeast producing a large amount alcohol or isoamyl alcohol, flavour components of bread. *Applied Microbiology and Biotechnology 34, 154-159,*

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTOS DE RESIDUALES ALCOHÓLICOS.

Francisco Diez Torres, Norge garrido Carralero e Indira Pérez Bermúdez.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca #804 esq. Carretera Central. San Miguel del Padrón.
Cuidad Habana. Cuba
E-mail: francisco.diez@icidca.edu.cu

RESUMEN

En el trabajo, se brinda una breve explicación de las cinco tecnologías posibles a utilizar como sistema de tratamiento de las vinazas de las destilerías de alcohol con el objetivo de evitar la contaminación que produce el vertimiento indiscriminado y no colegiado de éstas en fuentes hídricas y en suelos.
Las tecnologías planteadas, se utilizarían como tratamiento primario a las vinazas y cada una de ellas tiene como objetivo aprovechar las potencialidades de las mismas en la producción de alimento, energía eléctrica y térmica, o su uso en el fertirriego o la producción de abonos orgánicos para enmienda de suelos. Es necesario tener en cuenta que en casos específicos, se pueden utilizar más de una tecnología, siendo empleada una como complemento de otra.
Asimismo, se, muestran algunos aspectos técnicos y económicos a tener en cuenta en el proceso de toma de decisiones acerca de cual de las tecnologías se debe utilizar.

Palabras Clave: vinazas, compostaje, fertirriego, levadura torula, tratamiento anaeróbico, concentración e incineración.

ABSTRACT

In the paper, is offers a brief description of the five possible technologies to use as treatment system of the alcohol distillery vinasses with the objective of avoiding the contamination that produces the indiscriminate dumping of these in hydric sources and in soils.
The outlined technologies would be used as vinasse primary treatment and each one of them has as objective to take advantage of it's potentialities for food production, electric and thermal power generation or their use in the fertile irrigation or the production of organic fertilizers for amendment of soils. It is necessary to keep in mind that in some cases can be used more than one technology, being an employee one like complement of another.
Likewise, it shows some technical and economic aspects to keep in mind in the process of taking of decisions to near which it should be used of the technologies.

Key words: vinasses, compost, fertile irrigation, torula yeast, anaerobic treatment concentration and incineration.

INTRODUCCIÓN

El cuidado del medio ambiente ha sido en los últimos años de gran importancia para la humanidad y a partir de 1980 es que se dan los primeros pasos en la elaboración de una estrategia mundial para su conservación. No obstante, solo hasta la década del 90 es que se comienza a hablar de Desarrollo Sostenible o Sustentable, debido a la necesidad de controlar y/o disminuir, la emisión de gases de efecto invernadero, el vertido de residuales de alta carga dañinos al ecosistema, la disminución o eliminación de los residuales no biodegradables y el cuidado de los recursos almacenados, fundamentalmente los hidrocarburos, como principal fuente energética del planeta.

En éste sentido, se toman medidas como el Tratado de Kyoto, que regula las emisiones de gases de efecto invernadero, se promulgan en la mayoría de los países múltiples leyes y medidas medioambientales dirigidas a disminuir o eliminar los residuales industriales con sistemas de "producciones más limpias" o producciones con "cero" residual, se buscan métodos para disminuir los vertimientos sin tratamiento de aquellos residuales que no puedan ser eliminados totalmente disminuyendo su carga orgánica.

Además se trata de reutilizar los efluentes de los tratamientos en los mismos procesos industriales y/o agrícolas, propiciando un ahorro de agua como recurso deficiente actualmente producto de las sequías provocadas por el cambio climático además de eliminar los vertimientos de éstos efluentes, aunque de baja carga orgánica, a fuentes hídricas y por último se ha incrementado notablemente la búsqueda de fuentes alternativas de energía, entre las que se pueden mencionar las fuentes de energía obtenidas de los tratamientos de residuales industriales y agropecuarios, que ayuden a disminuir el consumo desenfrenado de los hidrocarburos, disminuyendo las emisiones gaseosas perjudiciales y constituyendo además una fuente energética renovable, otro de los objetivos del desarrollo energético sostenible.

La medida más difundida en la actualidad para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, es la investigación, desarrollo y producción de biocombustibles que o bien puedan ser utilizados directamente o que utilizándose en mezclas con hidrocarburos, disminuyan notablemente el nivel de dichas emisiones. Estas producciones deben de estar acompañadas de un uso racional de los mismos y de los combustibles en general, ya que su producción compite o atenta contra la alimentación de los seres vivos, ya sea por el uso directo de las fuentes de alimento para ser convertidas en biocombustibles o por el uso de la tierra que antes se sembraba con alimentos.

El biocombustible más difundido en estos momentos es el bioetanol, que puede ser producido a partir de diferentes fuentes y se estudian y desarrollan diferentes esquemas ó procesos de producción que aumenten la productividad. Su producción, genera un residual de alta carga orgánica llamado "vinaza", que debe de ser tratado y/o reutilizado convenientemente antes de ser vertido indiscriminadamente debido al daño que produciría en suelos, fuentes hídricas, manto freático, etc.

El objetivo de este trabajo es el análisis de los diferentes sistemas de tratamiento que pueden aplicarse y que dan solución a esta problemática analizando sus características principales así como los factores técnico económicos fundamentales a tener en cuenta para su implementación.

DESARROLLO

Las vinazas debido a su alta carga contaminante han constituido un problema ambiental para los países productores de etanol, por lo que su tratamiento se ha convertido en una necesidad imperiosa. Baste decir que una destilería que produzca etanol a partir de melazas de caña de azúcar y que produzca 60 000 l/día de etanol crea la misma carga contaminante que el alcantarillado doméstico de una ciudad de un millón de habitantes. El volumen de este residual líquido es típicamente diez a catorce veces la producción de alcohol (etanol): alrededor de 600 000 a 840 000 l/día para una destilería de 600 Hl.

Este efluente es considerado de alta carga orgánica debido que posee una DQO mayor de 10 Kg./m^3, por lo que su alto nivel contaminante al medio ambiente limita su vertimiento sin un tratamiento o uso adecuadamente estudiado. Su composición es la siguiente: (Cortez)

- Sólidos Totales……...……..6-7 %.
- pH…….....4-4,5.
- DQO …….50-70 Kg./m3
- Sólidos Insolubles……1,7-2 % (de estos el 48 % son sales de potasio).
- Color……..Carmelita oscuro.
- Temperatura……...95-105ºC (a la salida de la columna).

Por ser un ácido orgánico débil, las vinazas son corrosivas y su corrosividad se incrementa con el aumento de concentración y se sinergiza con el aumento de la temperatura, por lo que es necesario un proceso de enfriamiento antes de cualquier manipulación o tratamiento, pudiéndose aprovechar su calor en calentar el vino a destilar en un primer paso así como para el precalentamiento del agua que iría a las calderas para producir vapor lográndose por esto un ahorro de energía en el proceso. Otra aspecto a tener en consideración es que para la mayoría de los tratamientos o usos, deben de neutralizarse.
El diseño de un sistema de tratamiento se relaciona estrechamente con el lugar. Las principales consideraciones generales son las características del sitio y las características de los residuales a ser tratados.
Las características del residual a tratar determinan los pretratamientos o tratamientos preliminares y tratamientos primarios adecuados.
La necesidad y/o posibilidad de obtener una fuente de energía renovable a partir de un tratamiento anaeróbico, ya sea aprovechando el biogás como combustible para la cocción de alimentos, la producción de vapor de agua con fines energéticos industriales u otros como calefacción o la producción de energía eléctrica es un factor que puede ser determinante.
Las normas medioambientales o estándares para el rehúso de efluentes provenientes de los tratamientos también son importantes en el diseño y selección de los tratamientos secundario y terciario (o post tratamiento), entre los que se consideran los sistemas de rehúso de los efluentes en el fertirriego agrícola o su uso en la producción de compost, así como su utilización como ciclo cerrado como agua de proceso o servicio si se considera un pos tratamiento aeróbico.
Dentro del contexto de las características del sitio y de aguas residuales así como de los estándares de tratamiento, la selección del proceso de tratamiento adecuado debe considerar diversos factores, tales como la efectividad del tratamiento, confiabilidad y costos de inversión, operación y mantenimientos, tiempo de recuperación y otros.
Los factores que más influyen en la selección o diseño de un sistema (o planta) de tratamiento de residuales, son los siguientes:

- Económicos: Una planta ideal debe tener los más bajos costos de producción posibles, medidos en términos de costos de producción por volumen de residual tratado.
- Diseño simple: El diseño debe de ser lo más simple posible no solo en cuanto a construcción, sino en cuanto a operación y mantenimiento, factor muy importante en países en vías de desarrollo, en los que la mano de obra especializada y de alto nivel técnico es en la mayoría de las ocasiones escasa.
- Utilización de materiales locales: En su construcción y operación (insumos), deben de utilizarse materiales disponibles localmente, disminuyendo en el mayor grado posible la importación de grandes recursos o de materiales o insumos que no se importen normalmente.
- Durabilidad: La construcción de una planta o sistema completo de tratamiento requiere de mano de obra especializada y por tanto la contratación de empresas capaces de realizar esta tarea con calidad. Por esta razón, aún cuando una planta con menor vida útil sería en la mayoría de los casos más eficaz en cuanto a relación costo/beneficio se refiere, una vida útil mayor puede ser más ventajosa si se evita con esto la contratación nuevamente de empresas especializadas para los mantenimientos consecutivos y reparaciones capitales en cortos plazos, alargando los mismos, pero cuidando de no excederse en los costos iniciales de inversión. Este aspecto requiere de un estudio mesurado.

- Los tratamientos propuestos deben de ser los apropiados para el residual a tratar, así como para cumplir con las normas medioambientales y con los objetivos trazados para la planta.
- Los diseños y dimensiones de los componentes de la planta deberán de estar en correcta correspondencia con los volúmenes de residual a tratar.

Existen cinco principales alternativas para el tratamiento o utilización de estos residuales entre las cuales se debe seleccionar la más factible técnica y económicamente, ya que no existe una solución universal y completa a ésta problemática, el análisis debe de ser casuístico debiendo de tomarse en cuenta la situación específica de cada lugar atendiendo a factores técnicos, económicos y sociales. Las cinco alternativas son:

- Fertirriego.
- Utilización en Producción de Compost.
- Producción de Levadura Forrajera.
- Producción de Biogás.
- Concentración e Incineración.

En los países productores de azúcar dónde se destilan las melazas, los efluentes pueden ser una valiosa fuente de energía, abono o alimento para el productor de alcohol, por lo que se reitera la necesidad de un estudio detallado para decidir por la mejor alternativa en cada caso.
En la Figura 1 se muestra el ciclo cerrado de la agroindustria azucarera donde se muestra en que punto se logran insertar estos tratamientos.

Figura1. Ciclo cerrado de al agroindustria azucarera.

FERTIRRIEGO

Consiste en diluir los fertilizantes en el agua de riego para optimizar el aprovechamiento de los mismos, asegurando que estos lleguen a las raíces de las plantas. En el caso de las vinazas, se utilizan como agua de riego fertilizada teniendo en cuenta sus contenidos de sales y nitrógeno y su utilización depende entre otros aspectos del tipo de suelo (características físicas-químico), cercanía del manto freático, régimen de lluvias, cantidad de vinazas a utilizar, carga orgánica, etc.
Las vinazas crudas contienen sustancias húmicas, Potasio en grandes cantidades y Calcio y Magnesio que benefician al suelo, pero sin embargo presentan peligros de salinización y destrucción de arcillas debido al pH que presentan. Aplicadas en las cantidades adecuadas previo estudio del suelo sirve como enmienda de los mismos, máxime si estos son suelos degradados.
Por lo general, si las vinazas son tratadas biológicamente podrán producir mayores enmiendas al suelo, tanto por las formas químicas del carbono, como por el pH y conductividad eléctrica que presentan. No obstante,

tanto las vinazas crudas como las tratadas biológicamente constituyen un riesgo de sodicidad y contaminación por Zinc, por lo que lo más aconsejable es un estudio apropiado del suelo para determinar la viabilidad del fertirriego con cada tipo de vinaza y las cantidades máximas en que se pueden utilizar.(Bautista-Zúñiga 1998)

En el caso de las vinazas crudas, es aconsejable, a parte del obligatorio enfriamiento de las mismas, su estabilización en lagunas antes de ser utilizadas. No obstante, éste sistema de tratamiento es el que menores costos de inversión presenta.

En primer término el uso más difundido de las vinazas como fertirriego, es en las mismas plantaciones cañeras, ya que es en los países productores de etanol a partir de jugo o melazas de caña de azúcar, como Brasil, Cuba, México y otros, donde fundamentalmente se ha llevado a la práctica éste tratamiento.

Para obtener los máximos beneficios económicos y lograr eliminar la contaminación ambiental es necesario que el fertirriego se establezca tomando en cuenta normas y principios que son imprescindibles cumplir. Si esas normas y principios se desconocen y no se aplican los resultados pueden ser perjudiciales al suelo y a las plantaciones y se afectaría aún más el ambiente. (Bautista-Zúñiga 1998)

Este sistema de tratamiento es el que menores costos de inversión presenta.

PRODUCCIÓN DE COMPOST

Se denominan fertilizantes orgánicos a aquellos productos destinados a la nutrición vegetal o a la enmienda de suelos, que se caracterizan por un alto contenido de humus y materia orgánica poco degradable y se elaboran, en lo fundamental, a partir de la transformación de materiales orgánicos que fundamentalmente son parte de los residuos de la producción. Bajo este concepto se agrupan el compost y otros productos similares. Asimismo, son fertilizantes órgano minerales los fertilizantes orgánicos modificados mediante la adición de sustancias inorgánicas para acentuar determinadas propiedades físico químicas.

La producción de compost es una de las formas para transformar mezclas de residuos y otros materiales en fertilizantes orgánicos. En este caso los agentes para la conversión de los residuos en fertilizantes orgánicos son organismos vivos, que pueden estar en el medio ambiente o ser introducidos por el hombre y son procesos completos que permiten obtener un producto con alto contenido de humus. (INICA)

El compost se define, en sentido estricto, como un polímero equivalente al humus natural, resultante de la descomposición controlada de la materia orgánica. Una ampliación de este término incluye al conjunto de materiales orgánicos e inorgánicos que se obtiene en instalaciones específicas para la descomposición y humificado de residuos agrícolas y agroindustriales mediante la acción de microorganismos aerobios.

El compostaje o composteo constituye la técnica de producir compost y consiste en controlar la transformación de los compuestos degradables de carbono en otros más estables, dentro de un medio en que coexisten compuestos orgánicos con inorgánicos, que también sufren transformaciones. El compostaje es actualmente una de las principales tecnologías asequibles para viabilizar el reciclaje de residuos.

El compost, es un fertilizante orgánico de alta calidad, con las siguientes ventajas principales: (INICA)

- Es rico en macro y micronutrientes, que posibilitan una reducción importante en el uso de fertilizantes químicos.
- Su contenido de coloides y partículas cuasicoloidales facilita el intercambio catiónico planta-suelo, resultando en una mejor absorción de nutrientes por la planta, que sumada a la facultad de los materiales orgánicos de liberarlos lentamente permite una mayor eficiencia en la entrega de los mismos.
- Fija los fertilizantes de origen químico en la superficie de sus partículas impidiendo su lixiviación, lo que permite de conjunto con la propiedad anterior reducir la entrega de nutrientes al cultivo al menos en un 25%.
- Ayuda a la formación de partículas de suelo, mejorando así la capilaridad, el drenaje y sirviendo de freno a la erosión.

- Contiene microorganismos fijadores de nitrógeno y otros, que facilitan la absorción por las plantas del fósforo y el potasio contenidos en el suelo.
- Contiene antibióticos y microorganismos que permiten la protección de las plantas contra enfermedades.
- Su acción biológica ayuda a la germinación y hace posible mediante la acción de vitaminas y fitohormonas, el aumento del rendimiento de los cultivos.
- Es un producto que puede ser almacenado.
- Su volumen es muy inferior al de los residuos que lo originaron, lo que facilita su transportación.

Una tecnología factible de utilizar para la producción de compost podría ser el compostaje en canteros en platos descubiertos de mezclas de cachaza, bagazo, cenizas (de las calderas) y vinazas, en canteros de 4,5 m de ancho y 10-15 m de largo, con calles intermedias de 3 m de ancho.
La composición del compost sería la siguiente:

CONTENIDO	COMPOSICIÓN %
N	2,7
P2O5	2,3
K2O	0,7

La dosis de aplicación del compost en la caña estará generalmente en el orden de las 10 t/ha para el ciclo total de cuatro cosechas y se podrá realizar en dos momentos de su ciclo productivo: en plantación, colocando el compost en el fondo del surco mediante conductos apropiados y en retoños, desaporcando y aplicando el compost en la grieta abierta por los discos. El aporte de 10 t/ha.año de compost sería de 67,5 Kg./ha de Nitrógeno, 57,5 Kg./ha de Fósforo (P2O5) y de 17,5 Kg./ha de Potasio (K2O). El aporte de la aplicación del compost determina que no sea necesaria la aplicación de Nitrógeno y Fósforo mediante fertilizantes minerales y solo sería necesaria la aplicación de Potasio en las dosis recomendadas ya que es el que se encuentra en menor cantidad en él.
Teniendo en cuenta los precios actuales de los fertilizantes, la aplicación del compost representaría un ahorro de alrededor de los 150 USD/ha, además de que se obtendría un incremento en el rendimiento cañero del 15% en comparación con el uso de fertilizantes minerales. No obstante el efecto económico planteado, los principales beneficios que se obtienen por la aplicación del compost, estarán relacionados con el medio ambiente, ya que:

- Se evita el efecto contaminante de los residuos.
- Se reduce el efecto contaminante de los fertilizantes minerales.
- Mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

PRODUCCIÓN DE LEVADURA FORRAJERA

La revalorización de las vinazas a través de la producción de proteína microbiana, convierte este residual en un subproducto valioso, pues incide favorablemente en la economía del proceso integral, genera una valiosa fuente de proteínas de alta calidad y contribuye al manejo sostenible de los ecosistemas. Los estudios sobre la bioconversión de las vinazas de destilación en proteína microbiana comenzaron y culminaron con una tecnología probada durante la década de 1970 en Cuba. La obtención de un producto valioso y escaso y al mismo tiempo, la reducción de la carga orgánica de las vinazas, es la gran ventaja de este proceso, obteniéndose un residual mucho más factible de ser utilizado en la tecnología de fertirriego, independientemente de que pudiera ser tratado biológicamente en reactores anaeróbicos para producir biogás y con éste, energía eléctrica. (ICIDCA 2004)

La mayoría de las especies de levadura son capaces de propagarse en medios compuestos por vinazas como componente mayoritario, sin embargo, la especie Candida utilis está particularmente dotada para estos fines debido a su alto contenido de proteínas, un excelente perfil de aminoácidos esenciales y su gran poder de adaptación a los cambios de las condiciones de crecimiento y multiplicación.
A pesar de estas potencialidades, la producción de levadura a partir de vinazas requiere la suplementación nutricional del medio de propagación, lo que se logra con la adición de siropes concentrados del propio proceso azucarero, e.g., melazas, mieles B, jugos, etc.; o en su lugar, promotores de crecimiento microbiano de amplia disponibilidad en el mercado actual.
La levadura torula o forrajera, es el microorganismo más utilizado industrialmente en la producción de proteína unicelular. Su ventaja fundamental con respecto a otros tipos de proteínas, es que se trata de un producto establecido con buena aceptabilidad por los consumidores como suplemento proteico.
Dos de los usos más atractivos de esta levadura es la producción de piensos enriquecidos con proteína verdadera para diferentes propósitos de producción animal y la elaboración de sustituto lácteo con la consecuente liberación de leche para el consumo humano. (ICIDCA 2004)
Los costos de inversión y de la producción de Levadura como tratamiento a las vinazas son altos, debido al equipamiento utilizado, fundamentalmente, Fermentadores, Centrífugas separadoras, Sistema de Evaporación y Secador, siendo éste último el que más incidencia tiene. Los altos costos de inversión representan una de las mayores desventajas.
Por otra parte, la producción de levadura forrajera se justifica en lugares donde la alimentación animal sea deficiente y existan posibilidades reales de introducirse en el mercado.
Para una destilería de 1200 Hl/día de alcohol, considerando 13 l de vinaza/l de alcohol producido, tendríamos una planta de producción de levadura de aproximadamente 22 t/día de levadura seca, si se recupera levadura Sacharomyces de la fábrica de alcohol y se envía al proceso de concentración de la planta de torula. Si no se recupera la levadura alcoholera, la planta estaría en el orden de las 20 t/día de Levadura Torula.
Los costos de la producción de Levadura como tratamiento a las vinazas son altos, debido al equipamiento utilizado, fundamentalmente, Fermentadores, Centrífugas separadoras, Sistema de Evaporación y Secador, siendo éste último el que más incidencia tiene en el costo de inversión.
Para la planta en cuestión el costo de inversión estaría alrededor de los 25-32 MM USD.

TRATAMIENTO ANAERÓBICO Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

El tratamiento anaeróbico o digestión anaeróbica de residuales, es en primer término una fermentación microbiana que se produce en ausencia de oxígeno y que consiste en una serie de reacciones biológicas independientes, complejas, secuenciales y paralelas, mediante las cuales los productos resultantes de las reacciones producidas por un grupo de microorganismos, sirven de sustratos a los próximos, resultando en una transformación de la materia orgánica capaz de convertir casi todos los materiales poliméricos en una mezcla de gases mayormente compuesto de metano (CH_4) y Dióxido de Carbono (CO_2), conocida como biogás.(1)
Aunque la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información muy limitada sobre su química y su microbiología. Sin embargo, se puede afirmar en líneas generales que la digestión anaerobia se desarrolla en tres etapas durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para dar biogás como producto final, por la acción de diferentes tipos de bacterias. Las tres etapas referidas son:(FAO 1996)
Etapa 1: Hidrólisis y fermentación ó acidogénesis.
Etapa 2: Acetogénesis.
Etapa 3: Metanogénesis.

Las variables ambientales más importantes en el proceso son las siguientes: (Journey 1996)

- Temperatura: Se encuentra un óptimo de funcionamiento alrededor de los 35°C. Existen tres rangos de temperatura para la digestión de residuales, el primero es el mesofílico (de 20 a 45ºC), el segundo es el termofílico (por encima de 45ºC). El óptimo puede ser de 35ºC a 55ºC. La ventaja de la digestión termofilica es que la producción de biogás es aproximadamente el doble que la mesofílica, así que los biodigestores termofílicos pueden ser la mitad en volumen que los mesofílicos, manteniendo su eficiencia general. Se han realizado numerosos trabajos sobre la digestión termofílica en países templados, sin embargo, se requieren considerables cantidades de energía para calentar los residuales hasta 55ºC. El tercer rango (psicrofílico) ocurre entre los 10 y 25ºC.
- Acidez (pH) y alcalinidad: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6.
- Ácidos grasos volátiles: Es uno de los más importantes parámetros en el monitoreo del proceso de digestión anaeróbica. La comunidad científica concuerda en que los incrementos en la concentración de ácidos grasos volátiles es el resultado de un desequilibrio de las condiciones en la digestión. El decremento del pH acompañado de la acumulación de ácidos grasos volátiles es la principal causa de toxicidad y fallo en el proceso de digestión anaeróbica de un reactor. Esto se debe a que la toxicidad de los ácidos grasos volátiles AGV es ph dependiente ya que solo las formas no ionizadas son tóxicas para los microorganismos y estos son tóxicos a valores de pH donde existen en forma protonizada que es como pueden penetrar la membrana celular. Cuando ellos están dentro de las células, donde el pH está en valores alrededor de 7, son ionizados y el ión hidrógeno liberado causa el decremento en el pH intracelular.

  Las concentraciones de ácido acético, propiónico y butírico son los mejores indicadores del estado metabólico de los más sensibles grupos microbianos en los sistemas anaeróbicos. Los estudios realizados al respecto han confirmado la conveniencia de monitorear los AGV para detectar desequilibrios en el proceso de digestión anaeróbica que se realice.
- Nutrientes: Para el crecimiento y la actividad de las bacterias y una eficiente degradación anaeróbica, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, algunas sales minerales y trazas de elementos como el azufre, potasio, calcio, manganeso, hierro, níkel, cobalto, zinc, magnesio y cobre, sin embargo, los metales pesados causan efectos inhibitorios y tóxicos en el estado acidogénico de la digestión anaeróbica.

  El cobre y el zinc son los metales más tóxicos para el proceso acidogénico, mientras que el plomo es el de menor toxicidad entre todos los metales pesados. El cobre es más tóxico que el zinc (1-10 mg. /dm3 para el cobre y 5-40 mg. /dm3 para el zinc). Estos metales también pueden causar la inhibición de la degradación de los ácidos grasos volátiles a metano en la digestión anaeróbica.

  Los nutrientes más importantes son el nitrógeno y el fósforo y la relación C:N:P óptima para la mayor producción de metano se reporta como 100:3:1. Si la relación C/N es mayor, se corre el riesgo de una deficiencia en nutrientes y una menor capacidad búfer puede resultar en un proceso más sensible, mientras que con un aumento de la cantidad de nitrógeno puede presentarse inhibición por amoníaco debido a que la degradación de los compuestos nitrogenados libera amoníaco.

  La digestibilidad de residuales ricos en carbohidratos puede ser mejorado mezclándolos con otros que contengan altas cantidades de nitrógeno, para mejorar le relación C:N.
- Carga Orgánica Volumétrica y Tiempo de Retención Hidráulica (TRH): La carga orgánica volumétrica es la cantidad de materia orgánica alimentada a un sistema por unidad de volumen en la unidad de tiempo. Juega un papel muy importante en sistemas continuos de tratamientos anaeróbicos y es un criterio muy útil en la valoración del rendimiento de un reactor. Una alta carga orgánica volumétrica y una baja producción de lodo, son dos de las ventajas del proceso digestión anaeróbica.

  El tiempo de retención hidráulico es uno de los parámetros de diseños más importantes en cuanto a su relación con los aspectos económicos, dado que un TRH corto, se traduce en un volumen de digestor menor y por tanto, un diseño más económico.

Los reactores USAB, de película fina y los de lecho fluidizado, pueden resistir grandes cargas volumétricas. Aún existiendo choques de carga, que resulte en una falla, el sistema puede recuperarse rápidamente. Por otra parte se consigue alta remoción de DQO aún con cortos tiempos de retención hidráulica.

Los residuales simples pueden pasar a través de un reactor de alto rendimiento como el UASB con tiempos de retención simplemente de horas. Se necesitan tiempos de hasta 10 días o mas para casos de estiércol de animales, debido a la alta fracción de materia orgánica recalcitrante que se encuentra presente en el estiércol de reses.

- Tóxicos: aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de ácidos grasos volátiles, amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas.
- Contenido en sólidos: se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad o con menor contenido de sólidos.

El componente principal o fundamental de una planta de tratamiento anaeróbico es la unidad donde se realiza el tratamiento secundario luego de los tratamientos preliminar y primario y donde se remueve alrededor del 85% de los sólidos suspendidos y la DBO_5/DQO, se estabiliza parcialmente el segundo y destruye algunas sustancias patógenas, es decir, el reactor anaeróbico.

Los reactores anaeróbicos se pueden clasificar en dos grandes grupos, de acuerdo a la manera en que se mantiene o retiene la biomasa dentro del reactor: reactores de Crecimiento Suspendido o crecimiento del lodo bacteriano en suspensión (Suspended Growth Reactors) y de película adherida (Attached Film Reactors), cuando las bacterias o lodo bacteriano se adhieren formando una película densa a un medio sólido dispuesto dentro del reactor. Estos dos tipos generales de reactores anaeróbicos pueden clasificarse a su vez, de acuerdo a la eficiencia de digestión, en reactores de baja tasa o rendimiento (Low Rate) y de alta tasa o rendimiento (High Rate). (Journey 1996)

La aplicación exitosa de la digestión anaeróbica en el tratamiento de residuales industriales, fue solo posible con el desarrollo de los reactores anaeróbicos de alta tasa de digestión o de remoción de carga orgánica, debido a que los altos volúmenes de residual a ser tratado necesitaban de un diseño óptimo de reactor que permitiera disminuir el tiempo de tratamiento mediante el incremento de la eficiencia, conduciendo ambos factores a la reducción de los costos de tratamiento. La aplicación de los reactores de alta tasa incrementó el reconocimiento de la digestión anaeróbica como una tecnología eficiente para la protección del medio ambiente y efectiva de acuerdo a su relación costo/beneficio. Los reactores de alta tasa reúnen dos condiciones muy importantes:

- Alta retención de lodo viable en condiciones de alta carga.
- Buen contacto entre la biomasa y el residual que entra al reactor para ser degradado.

Ambas condiciones resultan en una aceptable reducción del tamaño de los reactores anaeróbicos y la realización del proceso con muy bajo o ningún requerimiento energético.

Entre los reactores de alta tasa se encuentran el UASB o Reactor Anaeróbico de Manto de Lodo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), tecnología que se ha extendido y ya incluye tratamiento de residuales en de las industrias química y petroquímica, textil, lixiviados, así como en aplicaciones directas en las conversiones del ciclo del azufre y la remoción de metales. Además, en climas templados estos reactores pueden ser aplicados al tratamiento de residuales domésticos.

En los últimos años, debido a las relaciones costo/beneficio y a la posibilidad de contar con una fuente de energía renovable, se ha incrementado rápidamente el número de reactores anaeróbicos a nivel mundial y alrededor del 70-75% de estos son del tipo UASB.

El reactor UASB es un reactor de alta capacidad de producción de metano en el cual el sustrato o residual pasa primero a través de una cama expandida de lodo que contiene una alta concentración de biomasa (cama

de lodo) y donde tiene lugar la mayor parte de la remoción de carga orgánica o degradación de materia orgánica. La porción remanente pasa a través de otra menos densa capa de lodo encima de la primera denominada manto o lecho de lodo. El lodo en el reactor puede existir en forma de forma granular o de flóculos, pero el lodo granular es superior al lodo flocular. La existencia de lodo granular altamente sedimentable en estos reactores es una de sus principales ventajas.
Otra de las grandes ventajas de los reactores UASB es que no necesitan de material de soporte para retener el lodo anaeróbico de alta densidad, pero en ausencia de material portador se necesita precisamente de la retención de biomasa altamente sedimentable, preferiblemente en forma de gránulos con diámetro aproximado de 0,5-2,5 mm. (Journey 1996)
Las industrias alimenticia y de bebidas han sido las más activas usuarias de este reactor en su desarrollo, destacándose la industria azucarera y destilerías de alcohol.

Ventajas y beneficios del tratamiento anaeróbico: (Diez 2008)

- Reducción de la producción excesiva de lodo en un 90%.
- Reducción de emisiones de efecto invernadero.
  -Cero utilización de combustibles fósiles. Se deja de utilizar 1Kw/Kg de materia orgánica en comparación con el sistema aeróbico.
  -Producción de energía 2,3-3,5 Kwh/Kg de materia orgánica removida.
- Baja o ninguna utilización de nutrientes.
- Tecnologías nobles con altas eficiencias de tratamiento.
- Los lodos anaeróbicos pueden ser almacenados durante la campaña industrial.
- Facilidad de trabajar en lazo cerrado.

Desventajas del tratamiento anaeróbico: (Diez 2008)

- Los organismos anaeróbicos son susceptibles a un gran número de compuestos.
- El tratamiento anaeróbico es en si un pre-tratamiento.
- En ocasiones puede existir presencia de malos olores.
- En ocasiones se encuentran pocas experiencias para el diseño y operación

Para una destilería de 1200 Hl/día de producción de alcohol, considerando un índice de 13l de vinaza/l de alcohol producido, tendremos una producción de 1560 m3/día de vinaza, que aportarán con el tratamiento una cantidad de 26620 m3 de CH4. Con este volumen de metano, se pueden producir 290160 Kwh/día de electricidad y considerando un motor a ciclo combinado con solo un 35% de eficiencia, se obtendrían unos 4,2 Mw/h de energía eléctrica.

CONCENTRACIÓN E INCINERACIÓN DE VINAZAS

La instalación para la incineración de las vinazas consta de 4 etapas fundamentales, *destilación, concentración, incineración* y *generación de electricidad,* las que trabajan de forma dependiente. (Garrido 1982)
Considerando una destilería de 3000 HL/d de capacidad, la cual genera aproximadamente 3772 m^3/d de vinazas:
Las vinazas se alimentan a un sistema de evaporación de 4 efectos trabajando el último vaso a presión, lográndose de esta forma concentrar las vinazas desde 5,6 ºBx hasta aproximadamente 65 ºBx. Del primer

vaso se realiza una extracción para el calentamiento de las vinazas a alimentar al múltiple hasta 110 ºC, aproximadamente 73 t/d de vapor. (Garrido 1985)
El producto concentrado 1270 t/d, es bombeado a una caldera de incineración de productos líquidos, generando 3340 t/d de vapor a 18 atm (man.) a una temperatura de 300 ºC, se alimentarán a un turbo generador de 8000 KW, generando 7400 KW-h. La electricidad obtenida será utilizada para satisfacer la demanda de la instalación, aproximadamente 300 KW-h y el resto se venderá a la red nacional.
De esta etapa se obtienen 3350 t/d de vapor de baja a 2 atm (man) y una temperatura de 135 ºC, empleándose este en el sistema de evaporación (530 t/d) y en la alimentación de la columna de destilación (241,39 t/d).
El vapor del último efecto, 540 t/d a una temperatura de 118 ºC se alimentará al fondo de la columna de destilación, la que consume 780,5 t/d. El resto del vapor se empleará en la destilería para la esterilización, la limpieza del área de fermentación u otros usos. (Cortez)
Las sales obtenidas en el proceso de incineración de las vinazas, ricas en potasio, aproximadamente 34 t/d, se almacenarán para ser utilizadas como fertilizante en la agricultura cañera.
En el esquema objeto de estudio se considera una destilería existente agregándosele un sistema de evaporación de tubos largos y película descendente, un turbo-generador y una caldera de incineración. Los equipos que se agregan son de nueva adquisición. (Garrido 1985)

VENTAJAS: (2)

- No se necesitan segundos tratamientos, ya que no queda residual a tratar
- Se obtiene como resultado de la incineración una sal rica en Fosfato de Potasio susceptible de ser utilizada como abono o embasada y comercializada (aproximadamente 33 t/día, con un índice de 0,025 t de sales/t de vinazas concentradas).

DESVENTAJAS: (Diez 2008)

- Alto costo de inversión.
- Pocas instalaciones en el mundo a tomar como referencia.

En cuanto a costos de inversión, para la concentración e incineración solamente, se puede decir que para una destilería de 1200 Hl/día de producción de alcohol, considerando un índice de 13l de vinazas/l de alcohol, tendrá un costo de inversión de entre 7,0-7,2 MM USD, determinado fundamentalmente por el alto costo de la caldera y del sistema de evaporación que estarán en valores de entre 4,0-4,2 y 2,0-2,2 MM USD respectivamente.
Todas estas alternativas pueden ser integradas bajo diferentes esquemas, potenciando el tipo de producción final que se requiera, es decir, alimento animal, energía mas agua de fertirriego y abono orgánico o energía mas sales ricas en Fosfato de Potasio.(Diez 2008)

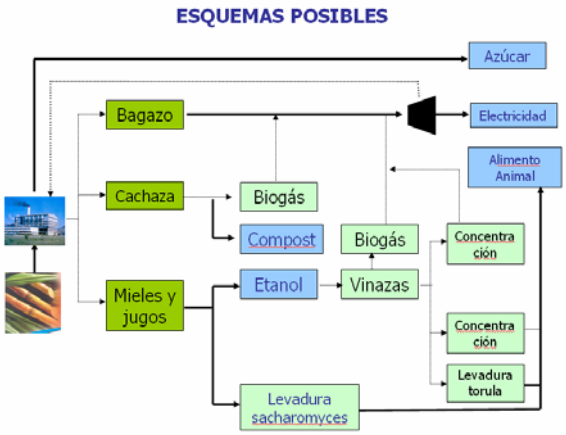


Figura 2. Esquemas de Diversificación posibles a ser utilizados

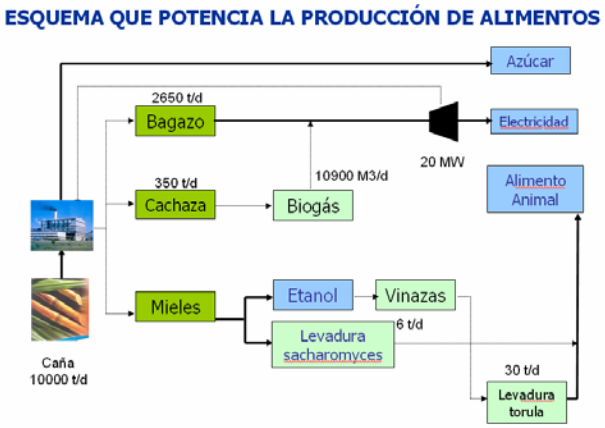


Figura 3. Esquema para producción de alimentos

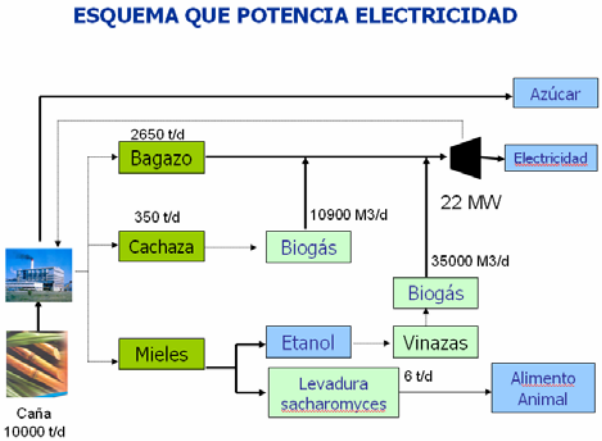


Figura 4. Esquema para producción de electricidad con biogás a partir de vinazas.

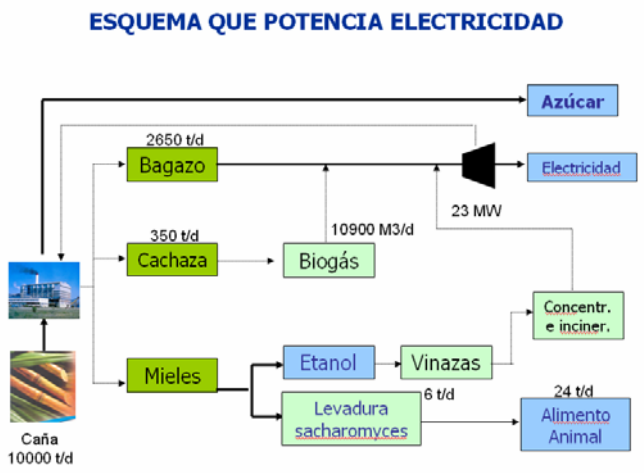


Figura 5. Esquema para producción de electricidad concentrando e incinerando las vinazas.

CONCLUSIONES

1. Como se aprecia, no existe solución única, sino que dependerá de las necesidades u objetivos de cada caso particular.
2. La inversión dependerá en gran medida del resultado de un estudio técnico económico de cada microlocalización.
3. En general los costos de inversión, de las diferentes tecnologías posibles a aplicar se podrán ordenar de menor a mayor en cuanto a equipamiento e infraestructura de acuerdo a lo planteado en el trabajo, de la siguiente manera:
    - Fertirriego.
    - Compostaje.
    - Tratamiento anaeróbico y producción de Biogás.
    - Concentración e incineración con recuperación de sales.
    - Producción de Levadura Torula.

BIBLIOGRAFÍA

Bautista-Zúñiga, Francisco. Durán-de-Bazúa, María, del Carmen. Analisis del Beneficio y Riesgo Potenciales de la Aplicación al Suelo de Vnazas Crudas y Tratadas Biológicamente. Rev. Int. Contanl. Ambient. 14 (1) 13-19, 1998.

Cortez, y. Brossard Pérez, L. Experiencias en la disposición de las vinazas. Combustión de las emulsiones de fuel-oil y de vinazas.

Diez Torres, Francisco. Alternativas de tratamiento de residuales de la producción alcoholera. Presentación para la empresa ALUR de Uruguay. Mayo 2008.

FAO/CMS. A System Approach to Biogas Technology. Biogas Technology: a Training Manual for Extension. 1996.

Garrido, N. (1982). Anteproyecto tecnológico para la concentración de vinazas para la destilería José Antonio Echeverría.

Garrido, N. (1985). Análisis de alternativas en la concentración de vinazas en la destilería Habana. Informe interno.
ICIDCA. Tecnología Combinada para la Producción de Levadura para Raciones y el Tratamiento de Vinazas de Destilerías de Alcohol. Noviembre, 15/2004, Habana, Cuba.
INICA. Producción y aplicación de compost, Información básica.
Journey, W. K. (Tim). McNiven, Scott. Anaerobic Enhanced Treatment of Wastewater and Options for Further Treatment. ACDI/VOCA Washington, November. 1996
Luna, N., Bedolla, E, Brown, A. Propiedades físico química de las vinazas de destilerías. Componentes inorgánicos. Segundo Seminario Internacional de azúcar y derivados. (1990).
Luna, N., Bedolla, E, Valdés Z. Constituyentes y propiedades químico físicas de las vinazas de destilerías cubanas. Informe interno. (1991).
MINAZ. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana. Metodología. Utilización de los Residuales de la Industria Azucarera en el Fertirriego de la Caña de Azúcar. Enero de 1998.
Moletta, R. Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion. Water Science and Technology. Vol 51, Nº 1, (137-144), 2005
West Stewart, S. Co-Generation Opportunities Utilizing Sugar Industry Wastewater Through the Use of Biological Treatment Systems. Electricity Supply Industry in Transition: Issues and Prospect for Asia 14-16 January 2004.

INFORME DE LA COMPOSICIÓN MINERAL DE LA LEVADURA TORULA DE VINAZA DE DESTILERÍA POR LA TÉCNICA ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA.

L. M. Mora(1), Bárbara Rodríguez(1), P. Lezcano (1), W. Motta(2) y A. Canella(2)

(1)Instituto de Ciencia Animal
(2)Universidad Federal de Minas Gerais

lmora@ica.co.cu

Resumen

Se informan los resultados de la composición mineral de la levadura torula de vinaza de destilería mediante la aplicación de una técnica nuclear de análisis químico, que permite la determinación cuantitativa de un gran número de elementos. Se comparan los resultados con los valores reportados para la levadura torula desarrollada sobre mieles y la harina de soya. Se evidencian valores superiores en la mayoría de los elementos químicos debido a la mayor eficiencia de la técnica empleada y a las diferencias en los sustratos utilizados. El nivel de arsénico encontrado 0. 59 miligramos por kilogramo no debe tener efecto en las dietas por su bajo nivel. Se recomienda realizar análisis en diferentes partidas del producto para una mejor caracterización.

Palabras clave: levadura torula, composición mineral, vinaza de destilería, activación neutrónica.

Abstract

The results of the mineral composition of the yeast toruls from distiller waste are reported by means of the application of a nuclear technique of chemical analysis that allows the quantitative determination of a great number of elements. The results are compared with the values reported for the yeast torula developed on honeys and the soybean meal. Superior values are evidenced in most of the chemical elements due to the biggest efficiency in the technique employed and to the differences in the substrate used. The level of arsenic founded (0. 59 milligrams per kilogram) should not have effect in the diets for their low level. It is recommended to carry out analysis in different departures of the product for a better characterization.

Key words: torula yeast, mineral composition, distiller waste, neutron activation

Introducción.

Las levadura torula obtenida sobre vinaza de destilería es una tecnología del Instituto Cubano de Derivados de la Caña de Azúcar, en el cual se sustituye la miel final de caña por la vinaza de destilería, Estévez (2003) con el consiguiente ahorro de la miel que puede ser utilizada para la alimentación animal o la producción de alcohol y la disminución de la contaminación ambiental al utilizar la vinaza. Es bien conocido el efecto de la inclusión de la levadura torula desarrolladla sobre miel final en la alimentación animal y de igual forma las

levaduras desarrolladas sobre vinaza de destilería (Mora y otros 2008). Sin embargo la composición nutricional de esta nueva fuente proteica ha sido poco estudiada, menos aun el caso de los minerales.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la composición mineral de esta levadura torula de vinaza mediante la activación neutrónica con el apoyo de la Universidad Federal de Minas Gerais de Brasil.

Materiales y métodos.

Se determinó la composición mineral de la levadura torula desarrollada sobre vinaza de destilería mediante muestras enviadas al laboratorio de análisis especiales de la Universidad Federal de Minas Gerais de Brasil.

La técnica de análisis por activación neutrónica se realiza en tres etapas, la primera consiste en irradiar con neutrones la muestra en el núcleo del reactor, la segunda etapa consiste en la obtención de los espectros gamma de la muestra reactiva y la ultima etapa los espectros gamma son procesados utilizando programas computacionales (Solcoy), los que transforman la información digital almacenada en el computador en valores de concentración.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en tres repeticiones de análisis por activación neutrónica de la levadura torula desarrollada sobre vinaza de destilería aportaron resultados de 19 elementos de la tabla periódica (Tabla I). Dentro de los mismos el arsénico presenta gran interés por su característica de ser un elemento de alta peligrosidad para la vida animal y del hombre, pero debido al bajo nivel encontrado, y que la levadura se utiliza como máximo al 35 % en las dietas de cerdos es de esperar que no sea nocivo a este nivel.

Tabla I Composición mineral de la levadura torula de vinaza

Elementos		Conc. mg/kg	Error mg/kg
Potasio	K	21220	156
Calcio	Ca	19800	71
Cloro	Cl	2975	56
Magnesio	Mg	1250	43
Hierro	Fe	768	14
Sodio	Na	273	12
Arsenico	As	0.59	0.06
Zinc	Zn	143	2
Rubidio	Rb	41	1
Bromo	Br	27	1
Manganeso	Mn	24	2
Cobre	Cu	23	2
Vanadio	V	16	0.8
Cerio	Ce	6.0	0.3
Cromo	Cr	2.7	0.3
Lantano	La	2.7	0.1
Cobalto	Co	1.81	0.01
Arsénico	As	0.59	0.06
Cesio	Cs	0.52	0.02
Samario	Sm	0.46	0.02
Antimonio	Sb	0.20	0.002

Fuente: Laboratorio de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG).

Los resultados de estos análisis poseen un alto nivel de confiabilidad debido a que por ser un proceso que tiene lugar en el núcleo atómico, el estado físico y químico de los elementos no influye en el resultado final y la ausencia de tratamiento de la muestra hace del análisis una técnica adecuada para elementos trazas (Canella y otros 2002).

Tabla II . Composición mineral de diferentes fuentes proteicas

	Alimentos		
	H . de Soya (1)	**Levadura torula mieles (1)**	**Levadura torula de vinaza (2)**
Calcio %	0.32	0.38	1.98
Fósforo %	0.65	1.52	_
Sodio %	0.01	0.07	0.27
Cloro %	0.05	0.12	0.29
Potasio %	1.96	1.94	2.12
Magnesio %	0.27	0.20	0.12
Cobre mg/kg	20	17	23
Hierro mg/kg	202	222	768
Manganeso mg/kg	29	13	24
Selenio mg/kg	0.32	0.02	0.3
Zinc mg/kg	50	99	143

Fuentes: (1) NRC 1998.
(2) UFMG 2008

La comparación de los resultados obtenidos por la NRC (1998) para la levadura de miel final de caña muestran que los valores de los elementos calcio, sodio , cloro, potasio y hierro para el caso de la levadura torula de vinaza son superiores a los que se reportan (Tabla II) y esto puede deberse a dos causas, primero la composición química de la levadura puede sufrir variaciones en función del sustrato en el cual se desarrollan estos microorganismos(Hsu 1961; Vananuvat y Kinsella 1975) otro aspecto puede ser las menores perdidas y mayor precisión que el método por activación neutrónica puede ofrecer . Muy destacado es el nivel de hierro el cual es 3.45 veces superior al de la levadura torula de mieles.

Conclusiones

Se confirmó la riqueza en minerales de las levaduras.

Continuar los estudios con levadura de diferentes fábricas para una mejor caracterización de este alimento en su composición de minerales ante diferentes sustratos.

Estudiar otros minerales como el Pb y el As, que pudieran ser nocivos para la salud animal

Referencias Bibliográficas

Canella, A, A. Veado, J. C y Menezes , M. A. (2002) . Food and Nutrition Bulletin , V 23 p 237_ 240

Estévez , R.(2003). Informe técnico ICIDCA

Hsu, W. (1961). Sugar y azucar , 56 (7) : 33_ 36

Mora , L.M., Lezcano, P .(2008) . Sustitución de la soya por levadura torula desarrollada sobre vinaza de destilería. Datos sin publicar.

NRC. (1998). Nutrient requirements of swine. Nat. Res. Counc. Washington, D.C: Nat. Acad. Press, p 93.

Vananuvat,P; Kinsella, J, E. (1975) . J. Food Sci : 336_ 341.

CARACTERIZACIÓN DE LA CACHAÇA

Roni Vicente Reche e Douglas Wagner Franco

Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. Avenida Trab. São-carlense, 400
CP 780 São Carlos, SP CEP 13560-970. E-mail: douglas@iqsc.usp.br

Abstract

One hundred fifteen cachaça´s (115 samples, 73 samples derived from distillation in copper pot stills, 42 samples derived from distillation in stainless steel columns) were analyzed for thirty five itens by chromatography and inductively coupled plasma optical emission spectrometry. The analytical data were treated through, Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) and Quadratic Discriminant Analysis (QDA). The PLS-DA showed that it is possible to distinguish between the two groups of cachaças with 52,8% of the database variance. QDA was used to build up a classification model using acetaldehyde, ethyl carbamate, isobutyl alcohol, benzaldehyde, acetic acid and formaldehyde as a chemical descriptors. The model presented 91,7% of accuracy on predicting the apparatus in which unknown samples were distilled.

Keywords: spirit (aguardente); distinction (caracterización); columns (columnas)

INTRODUÇÃO

Até 2010, a indústria de cachaça do Brasil – que emprega 400 mil pessoas e produz mais de cinco mil marcas – estima que as exportações atingirão 30 milhões de litros. O impacto deste volume de produção e a ampliação do mercado vêm incentivando melhorias, implementação de controles mais rígidos e estudos mais detalhados, quer no processo de produção, quer sobre as qualidades químicas e sensoriais da cachaça (Reche, 2007; Galinaro, 2007).

Os dois processos de destilação do vinho (mosto fermentado) mais utilizados para a produção de cachaça são: destilação em alambique de cobre (destilação em batelada) e destilação em coluna de aço inoxidável (destilação contínua).

Com o intuito de verificar quimicamente a viabilidade de diferenciar estes dois tipos de cachaças e contribuir para a tipificação do destilado nacional, foi realizado estudo com amostras coletadas diretamente no momento da destilação e os resultados analíticos avaliados utilizando-se técnicas quimiométricas (Nocairi, 2007; Hopke, 2003).

MATERIAIS E MÉTODOS

Procedimentos Analíticos*:* A análise quantitativa dos íons metálicos, álcoois, acetato de etila e ácido acético, dimetilsulfeto, aldeídos e cetonas e carbamato de etila, foi realizada utilizando os métodos descritos em trabalhos anteriores (Cardoso, 2004; Cardoso, 2004a; Nascimento, 1998; Nascimento, 1997a).

Análise Multivariada*:* Para a realização da análise multivariada, as amostras foram divididas da seguinte maneira: 82 amostras foram utilizadas para a realização da análise exploratória e para a criação do modelo de

predição; outras 33 amostras foram utilizadas como teste do modelo de predição elaborado (amostras desconhecidas).
Os resultados analíticos obtidos foram autoescalonados (média zero e variância um) antes de aplicar as técnicas quimiométricas, para assegurar uma distribuição de "pesos" equivalente em todas as variáveis do modelo.
Utilizou-se validação cruzada (*"leave-one-out"*) na elaboração do modelo de predição.

As técnicas quimiométricas utilizadas foram:

· Análise Discriminante com Calibração Multivariada por Quadrados Mínimos
Parciais (PLS-DA – Partial Least Square – Discriminant Analysis)[12-15]:
· Análise Discriminante Quadrática (QDA – Quadratic Discriminant Analysis) [12-15]:
A realização da análise multivariada foi dividida em duas etapas. Na primeira foi realizada a análise exploratória dos resultados analíticos, utilizando-se a técnica de PLS-DA. Em seguida utilizou-se a técnica de QDA para elaboração de um modelo de predição e teste de amostras desconhecidas.
As análises quimiométricas foram realizadas utilizando-se o Software Minitab R14 (MINITAB® e MINITAB logo® são marcas registradas da Minitab Inc.) e segundo o descrito por Nocari, 2005 e Hopke, 2003.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre todos os compostos analisados nas amostras de cachaça, as destiladas em colunas apresentaram notadamente maiores valores de mediana de carbamato de etila (CE) e benzaldeído (BE), enquanto que as amostras destiladas em alambique apresentaram principalmente maiores valores de mediana de cobre (CO) e ácido acético (AA). Segundo a literatura (Bruno, 2007) quando o alambique é operado com altas taxas de refluxo, baixos rendimentos e baixas temperaturas de destilação (< 80 oC) existe uma tendência a redução nos teores de carbamato de etila . A geometria do alambique, o controle da temperatura e a taxa de refluxo são fatores que podem influenciar diretamente a presença deste composto (Bruno, 2007; Novaes, 2000).

Os teores de benzaldeído são mais elevados nas amostras destiladas em coluna em virtude da não separação do destilado nas frações cabeça, coração e cauda. Um estudo em andamento em nosso Laboratório mostra que o benzaldeído é encontrado em maiores concentrações na fração cauda, sugerindo que este deva ser transportado por arraste a vapor na destilação em colunas. Os teores de íons de cobre apresentam o maior valor de mediana nas amostras destiladas em alambique, consistente com o fato do material que compõe o alambique ser basicamente cobre metálico. Os resultados obtidos para os teores de cobre estão coerentes com outros reportados na literatura (Nascimento, 1999). As amostras que apresentaram teores elevados de cobre estão provavelmente relacionadas com a presença de "azinhavre" ($CuCO_3.Cu(OH)_2$) no destilador (Nascimento,1998; Andrade-Sobrinho, 2002).

O ácido acético é encontrado nas amostras de cachaça como um co-produto da fermentação utilizando como levedura a Saccharomyces cerevisiae. Encontra-se em maiores concentrações nas amostras destiladas em alambique devido à destilação do ácido acético iniciar-se durante a destilação da fração coração (em função da solubilidade em água e do seu ponto de ebulição (118,1ºC) ser maior do que o da água). Aeração do mosto durante a fermentação ou o corte das frações no momento errado pode proporcionar um aumento na concentração de ácido acético na fração coração. O numero de pratos teóricos envolvidos na destilação (um para alambique simples e 15 – 20 para coluna de baixo grau) também é um fator que pode influenciar diretamente esta característica observada, pois a separação dos compostos e a conseqüente tendência à padronização da bebida será mais efetiva à medida que aumente o número de pratos teóricos do equipamento utilizado na destilação.

Esta padronização também pode ser observada para os teores de alguns compostos analisados. Como exemplo pode-se citar o álcool isoamílico. As amostras destiladas em coluna apresentam teores de álcool

isoamílico na faixa de 110 e 350 mg L A.A, enquanto que para as amostras destiladas em alambique estes teores estão distribuídos em uma faixa maior de concentração, apresentando amostras com valores inferiores a 110 mg 100mL A.A.-1 e amostras com valores superiores a 350 mg 100mL
A.A.

Análise Discriminante com Calibração Multivariada por Quadrados Mínimos Parciais (*PLS-DA – Partial Least Square Discriminant Analysis*)

Na Figura 3 apresenta-se o gráfico de escores considerando as componentes 1 e 2. O valor de variância obtido para cada componente está apresentado na Tabela I.

Tabela I – Valores de variância acumulada obtidos na PLS – DA

Componentes	Variância acumulada (%)
1	24,79
2	43,1
3	54,2
4	67,4

No gráfico de escores da PLS-DA (Figura 1) observa-se a presença de dois grupos bem definidos caracterizando uma diferença entre os dois processos de destilação. Na região positiva da componente 1 (C1) estão as 27 amostras destiladas em coluna, enquanto que as 55 amostras destiladas em alambiques estão dispersas na região negativa da C1.

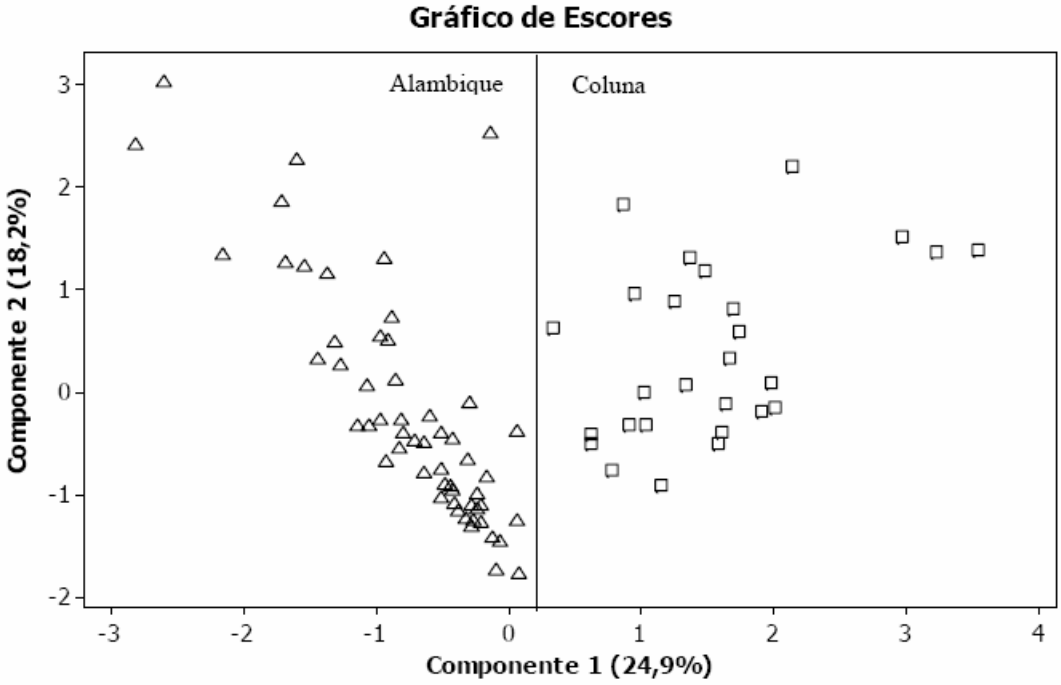


Figura 1 – Gráfico de escores entre as componentes 1 e 2 da PLS - DA

Os compostos mais importantes para cada grupo estão apresentados no gráfico de pesos (Figura 2). Novamente o carbamato de etila e o benzaldeído são os compostos mais importantes para a formação do grupo das amostras destiladas em coluna, enquanto o formaldeído, o 5-hidroxi-metil-furfuraldeído, o DMS, o cobre e o butanol são os compostos mais importantes para a formação do grupo das amostras destiladas em alambiques de cobre. O benzaldeído é o composto com maior valor de peso na região positiva da C1, enquanto o cobre possui o maior valor de peso na região negativa da C1. Na componente 2 (C2), o formaldeído apresenta o maior valor de peso na região positiva e o butanol o maior valor na região negativa (Figura 2).

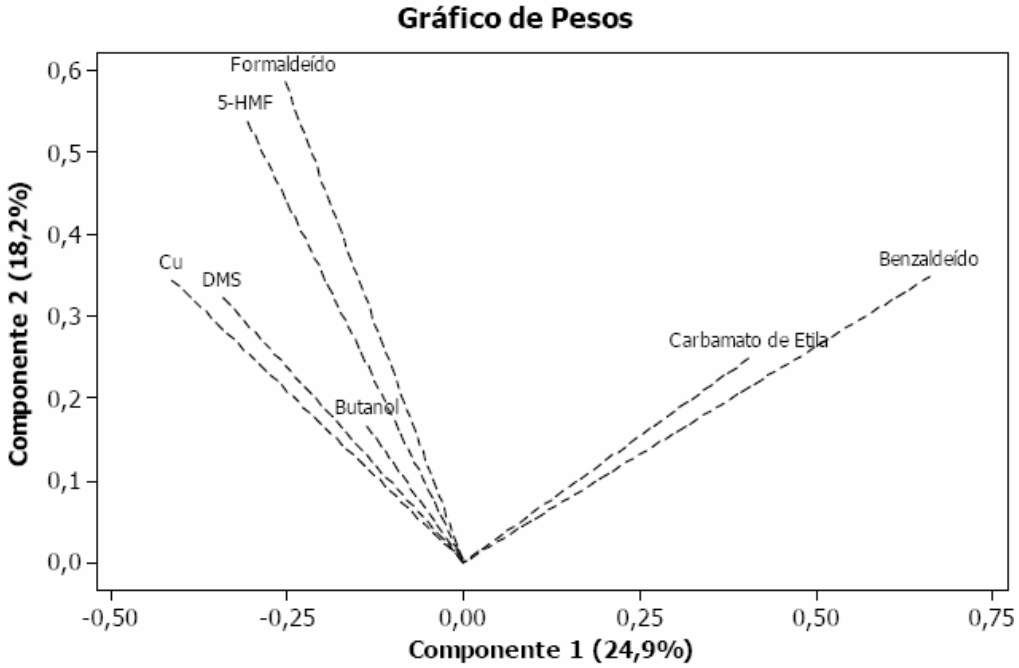


Figura 2 – Gráfico de pesos das componentes 1 e 2 da PLS - DA

Análise Discriminante Quadrática (*QDA – Quadratic Discriminant Analysis*)

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos aplicando-se aos resultados experimentais o método da QDA. Estes compreendem o desenvolvimento do modelo, a avaliação da robustez do modelo por validação cruzada e a aplicação do modelo em amostras desconhecidas. Os seis descritores químicos considerados (ver materiais e métodos – análise multivariada) foram: acetaldeído, carbamato de etila, isobutanol, benzaldeído, ácido acético e formaldeído.

Tabela II – Resultados do modelo, da validação cruzada e do teste de amostras desconhecidas obtido na análise de QDA.

	Grupo verdadeiro					
	Modelo		Validação Cruzada		Grupo Teste	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2
Alambique	53	0	51	1	15	0
Coluna	2	27	4	26	3	15
Total	55	27	55	27	18	15
Total Correto	53	27	51	26	15	15
Porcentagem (%)	96,4	100	92,7	96,3	83,3	100
Total de amostras	82		82		33	
Total corretas	80		77		30	
% Correta	97,6		93,9		91,7	

G1 = Amostras destiladas em alambique; G2 = Amostras destiladas em coluna

Observa-se na Tabela II que as porcentagens obtidas para cada grupo separadamente superou o valor de 96,4%, enquanto que a porcentagem total de acerto do modelo foi de 97,6%. A validação cruzada do modelo apresentou uma porcentagem superior a 93,9% de confiabilidade na predição de amostras desconhecidas.

Observa-se ainda na Tabela II que quatro amostras de alambique e uma amostra de coluna foram classificadas de modo errôneo, apresentando uma porcentagem de 92,7% para a classificação de amostras destiladas em alambiques e 96,3% para amostras destiladas em colunas. Após a validação cruzada este modelo foi testado em 33 amostras "desconhecidas". Destas, apenas três amostras de alambique foram classificadas incorretamente e todas as amostras de coluna foram classificadas corretamente (Tabela II). Este comportamento atesta que o modelo é eficiente na predição de qualquer uma das duas classes, tanto alambique (83,3%) quanto coluna (100%), com uma porcentagem total de acerto de 91,7%.

CONCLUSÃO

Observou-se que entre os 35 compostos analisados alguns apresentam faixas de concentração diferentes para as amostras destiladas em alambiques e colunas. Os que apresentaram diferenças mais acentuadas foram: carbamato de etila, benzaldeído, ácido acético e cobre.

A análise de fatores conduziu a melhores resultados de explicação da variância do banco de dados original (66,0%) em relação à PLS-DA (54,2%) considerando os três primeiros fatores/componentes. Aplicação da técnica de QDA permitiu a elaboração de um modelo com porcentagem de confiança na predição de amostras desconhecidas de 93,9% após a validação cruzada (82 amostras). A aplicação deste modelo em amostras desconhecidas (33 amostras) conduziu a uma classificação correta de 91,7% destas amostras. Os compostos que se repetiram como descritores químicos foram: carbamato de etila, 5-hidroxi-metil-furfuraldeído, benzaldeído, ácido acético e formaldeído.

REFERÊNCIAS

Reche, R.V., Ferreira-Neto, A.L., Silva, A.A., Galinaro, C.L., Osti, R.Z., Franco, D.W. (2007), J. Agricult Food Chem, 55, 6603 – 6608.

Galinaro, C.A., Cardoso, D.R., Franco, D.W. (2007), J Agricult Food Chem, 55, 3141 – 3147.

Nocairi, H., Qannari, E. M., Bertrand, E. V. D. (2005), Computational Satatistics & Data Analysis, *48*, 139-147.

Hopke, P. K. (2003), Anal. Chim. Acta, *500*, 365-377.

Bruno, S. N. F., Vaitsman, D. S., Kunigami, C. N., Brasil, M. G. (2007), *Food Chem.*, *104*, 1345-1352.

Novaes, F. V. (2000), Engarrafador Moderno, *72*, 46-49.

Nascimento, R. F., Bezerra, C. W. B., Furuya, S. M. B., Schultz, M. S., Polastro, L. R., Lima-Neto, B. S., Franco, D. W. (1999), J. Food Comps. Anal., *12*, 17-25.

Nascimento, R. F., Cardoso, D. R., Faria, J. B., Lima-Neto, B. S., Franco, D. W. (1998), Quim. Nova, *21*, 735-739.

Andrade-Sobrinho, L. G., Boscolo, M., Lima-Neto, B. S., Franco, D. W. (2002), Quim. Nova, *25*, 1074-1077.

Cardoso, D. R., Andrade-Sobrinho, L. G., Lima-Neto, B. S., Franco, D. W. (2004), J. Braz. Chem. Soc., *15*, 277-281.

Cardoso, D. R., Andrade-Sobrinho, L. G., Leite-Neto, A. F., Reche, R. V., Isique, W. D., Ferreira, M. M. C., Lima-Neto, B. S., Franco, D. W. (2004), J. Agric. Food Chem. , *52*, 3429-3433.

Nascimento, R. F., Cardoso, D. R., Lima-Neto, B. S., Franco, D. W. (1998), Chromatographia, *48*, 751-757.

Nascimento, R. F., Marques, J. C., Lima-Neto, B. S., De Keukeleire, D., Franco, D. W. (1997), J. Chromatogr. A, *782*, 13-23.

NUEVAS TENDENCIAS EN LA PRODUCCIÓN DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS

[1]João Batista de Almeida e Silva, [2]Urgel de Almeida Lima

1. **Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo-Lorena-SP-Brasil**
2. **Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz da Universidade de São Paulo-Piracicaba-SP-Brasil**

joaobatista@debiq.eel.usp.br
ualima@esalq.usp.br

RESUMEN

Las bebidas destiladas se caracterizan por la presencia de altos teores de alcohol etílico. Ellas son producto de la purificación de bebidas fermentadas mediante la separación del alcohol en una o dos operaciones de donde viene la clasificación en bebidas destiladas y destilo-rectificadas.

La concentración máxima de etanol es alcanzada por mas de una operación de destilación y el uso de artifícios para eliminar las últimas porciones de agua de la mezcla agua - alcohool producida por la aplicación de calor a los líquidos azucarados sujetos a fermentación por levaduras. Es claro imaginar que la producción de bebidas destiladas sea anterior a la obtención do alcohol etílico puro en su máxima concentración, porque eso solo ocurre despues de mas de una destilación y artifícios para eliminar toda el agua presente. La separación de etanol de los líquidos fermentados por la aplicación de calor e inmediata condensación de los vapores formados inicialmente dio origen a los líquidos límpidos de mayor concentración de alcohol etílico que en el líquido original y potables aunque su consumo sea emborrachador.

Normalmente las bebidas destiladas tienen de 38 a 54% de etanol en volumen y son clasificadas en apenas destiladas o destilo rectificadas. También pueden venir de un destilado alcohólico simples, de elevado teor alcohólico (35 y 80% de álcool en volumen) por manipulación propia. La cachaça, bebida genuinamente brasileña, tiene una concentración alcohólica fijada entre 38 y 48% de etanol en volumen

El presente trabajo analiza las consecuencias del lanzamiento en el mercado nacional del producto cachaça de calidad en función del paradigma innovación-competitividad, que tiene como estratégia ampliar las fuentes de recursos y criar en conjunto con la reestructuración del sistema nacional de ciencia y tecnologia, condiciones para la consolidación de un ambiente innovador, y también de mecanismos de incentivo a las nuevas áreas para investigación y de desenvolvimiento del emprendedorismo científico y tecnológico.

HISTÓRICO

De acuerdo con Abrantes (2005), el aguardiente tuvo su origen allá por los años 23 y 79 D.C., cuando los griegos percebieron que al embeber paños humedecidos con producto denominado *acqua ardens* eso facilitaba el desprendimiento de fuego, lo que hoy conocemos por aguardiente, significaba entonces, agua que coge fogo. A partir de entonces, se llamaba aguardiente a diversos productos con esta característica y oriundos de diferentes matérias primas.

En 1472, la caña de azúcar procedente de Ásia, es introducida por los portugueses en las Ilhas da Madeira, dos Açores, Cabo Verde y en la Ilha de São Tomé. En 1534 Martin Afonso de Souza construye en

Santos-SP el primer Ingenio Azucarero, denominado de São Jorge dos Erasmos, para la producción de azúcar y en seguida se originó el aguardiente de caña (VALSECHI, 1960).

En 1549 la producción de aguardiente de caña fue prohibida por el gobierno portugués porque la venta de vino y de brandies de uva estaban disminuindo sensiblemente por la preferencia a la bebida brasileña ya conocida como cachaça (RODAS, 2005).

De acuerdo con Miranda (2006), la cachaça, bebida nacional producida prácticamente en todo el País, llegó a ser la bebida destilada mas consumida mundialmente, y hoy es la tercera bebida destilada mas consumida en el mundo, mas continua siendo la primera de esta categoria en Brasil.

La producción de aguardiente de caña es una atividad en plena expansión en Brasil, con creciente apoyo gubernamental, siendo la segunda bebida alcohólica mas consumida, estando atrás apenas de la cerveza, y que viene presentando grandes perspectivas de expansión en el mercado externo, principalmente con el aumento de la popularidad de su "drink" mas conocido, "la caipirinha". Solamente en el Estado de Minas Gerais, existen mas de 8.000 alambiques artesanales y profesionales, muchos haciendo parte de la cultura local, habiendo iniciado sus actividades en la búsca del comercio en una comunidad restricta (CARDOSO, 2006).

El Estado de São Paulo es el mayor productor de cachaça del país, responsable por 46% de la producción, seguido de Pernambuco con 12%, Ceará también con 12% y de Minas Gerais con 8%, pero cuando se trata de cachaça artesanal el Estado minero asume la lideranza debido a los mas de ocho mil alambiques que posee. La Figura 1 muestra la distribución de producción de cachaça en Brasil.

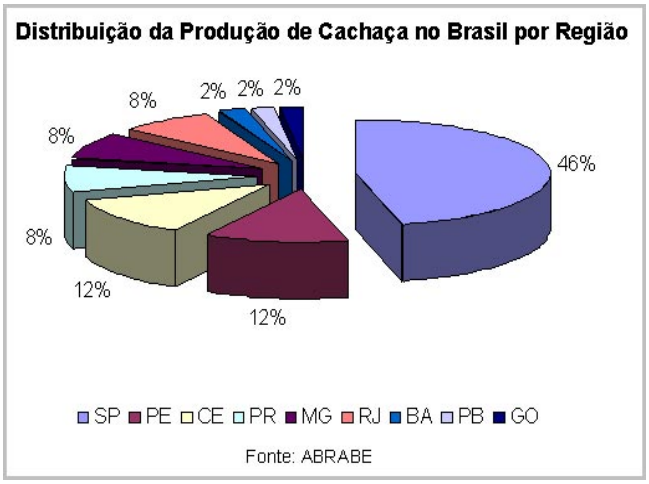
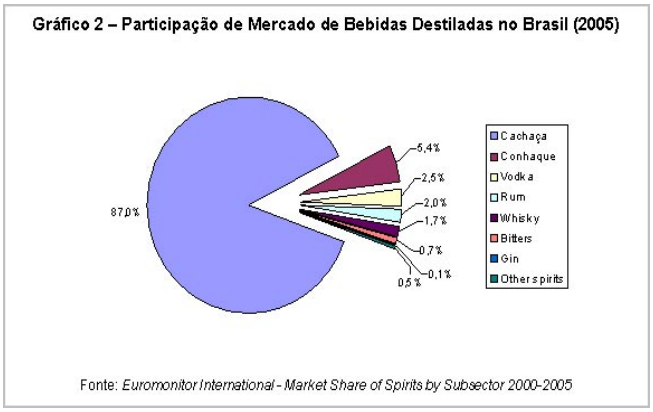


Figura 1. Estados productores de cachaça en Brasil

La bebida siempre encontró espacio importante en la história nacional, acompañando todas los cambios ocurridos desde el descubrimiento del país, como en la Revolución Pernambucana o en la Inconfidencia Minera, cuando era utilizada para brindar en los momentos de conmemoración (SEBRAE, 2008).

Creciente a cada ano, el mercado de la bebida incorpora cerca de 30 mil destilarias de columnas y alambiques, comercializa 1,5 billones de litros, genera 400 mil empleos directos, movimienta 600 millones de dólares por año y atiende a los consumidores de todas las clases sociales (CARDOSO, 2006).

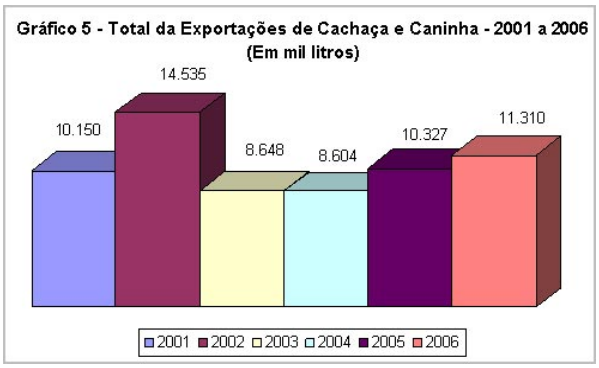
Investigaciones realizadas en 2005 estiman que dentro de las bebidas destiladas en Brasil la cachaça tiene la preferencia de 87% de los consumidores, conforme puede ser visto en el Gráfico 2. Considerando que 72% de la población está en el rango de consumo potencial de la bebida, se puede estimar que el consumo pér cápita de la bebida en el País llega a 11 Litros/habitante/ano. Esto coloca a Brasil como uno de los mayores mercados de bebidas destiladas del mundo, donde aunque su producción anual sea estimada en 1,5 billón apenas 0,6 % de la misma es exportada, de acordo con la ABRABE.



PROGRAMAS DE INCENTIVO A LA PRODUCCIÓN, CALIDADE E INNOVACIÓN

Con el ejemplo de lo que hicieron otros países con sus bebidas locales, Brasil a partir de 1997 inició un proceso de creación de incentivos para la promoción de la cachaça brasileña en el mercado externo a través de la implementación del Programa Brasileño de Desenvolvimiento del Aguardiente de Caña, Caninha o Cachaça-PBDAC, coordenado por la Associação Brasileira de Bebidas-ABRABE, que tiene como meta mejorar la calidad de la bebida y expandir sus ventas en el mercado externo, a través de la divulgación de la cachaça en férias, congresos, etc. (OLIVEIRA, *et. al*. 2001). Los tres objetivos básicos del Programa son: valorizar la imagem de la cachaça como producto genuinamente nacional con características históricas, culturales y económicas significativas para el pueblo brasileño; organizar el sector de cachaça con el fin de capacitarlo para la disputa del mercado internacional de bebidas, objetivando la competitividad, eficiencia y calidad y el aumento de las exportaciones brasileñas, creando divisas y empleos al país; y dar soporte técnico comercial a los produtores para proporcionar su inserción tanto en el mercado nacional como internacional (RODAS, 2005). De acuerdo con OLIVEIRA *et. al.* (2001), el primer paso fue la inclusión de la cachaça en los sesenta y un sectores del Programa Especial de Exportação-PEE del Gobierno Federal, cuyo objetivo es ampliar el volumen de exportación de 8 millones de dólares para 100 millones de dólares en 2010.

Los mayores exportadores de cachaça industrial son las Indústrias Pitu (Aguardente de Cana Pitu), Companhia Muller de Bebidas (Cachaça 51, Caninha 29, Aguardente de Cana Terra Brazilis), Indústrias Reunidas de Bebidas (Caninha Tatuzinho, Cachaça Velho Barreiro, Cachaça 3 Fazendas), y el Grupo Ypioca (Cachaça Ypioca, Cachaça Rio) LAURIN0, 2000.



Estas indústrias son clasificadas como fabricantes de cachaça industrial, que utilizan en el sistema de destiladores de colunas o contínuos, colecta mecanizada y uso de agrotóxicos y esporádicamente el uso de quemadas en el manuseo de la caña. Las cachaças conocidas como artesanales son confeccionadas por

pequeños productores que utilizan plantaciones propias sin usar agrotóxicos, con colectas manuales y sin quemas y un proceso de fermentación natural cuya destilación es realizada en alambiques. Conforme levantamiento de la ABRABE existen en el País cerca de 30 mil productores de cachaça con mas de cinco mil marcas, siendo que 70% son representados por productores de cachaça industrial y los otros 30% por cachaça artesanal.

Para estos últimos, considerados como pequeños productores de cachaça artesanal, fueron creados por el Governo Federal Programas como los Arranjos Produtivos Locais-APLs que tienen como principal característica actuar y competir en el mercado nacional y mundial siempre teniendo en cuenta el factor competitividad asociado con innovación, utilización de mejores prácticas e identidad territorial, preocupandose con la cultura (*seria a matéria-prima (?)*, instituciones, marcas o sello de calidad local. Estas huellas asociadas a la preocupación cada vez mayor de los consumidores en *adquirir (?)* productos con calidad controlada y certificación de origen fueron determinantes para el productor de cachaça artesanal conquistar su espaço en el exterior, tanto en la Unión Europea responsable por 47,92%, cuanto en el Mercosul que contribuye con 32,98% del volumen de exportación. Es importante notar que solo Alemania y Paraguai importan, juntos, 46,51% de la exportaciones de cachaça brasileña (SEBRAE, 2008). Actualmente la cachaça es exportada para mas de 60 países. Los principales importadores están mostrados en la Tabla1.

De acuerdo con el Instituto Brasileiro da Cachaça-IBRAC, hubo un aumento de 46% en volume de las exportaciones en los cinco primeros meses de este año, en relación al mismo período del año pasado lo que totaliza 4,6 millones de litros y US$ 6,9 millones arrecaudados hasta mayo, llegando muy próximo de los resultados obtenidos durante todo el año 2001.

En 2001, 2002 y 2004 fueron exportados 11,1; 14,8 e 16 milhões de litros, respectivamente (NEVES, 2006).

Tabla 1. Arrecaudaciones con exportación de la cachaça brasileña en 2001.

País de Destino	US$	Participação (%)
Alemania	1.729.531	23,38
Paraguai	1.711.028	23,13
Itália	693.939	9,38
Uruguai	677.291	9,15
Portugal	427.965	5,78
Bolívia	346.569	4,68
Chile	344.810	4,66
Equador	244.944	3,31
España	219.498	2,97
Estados Unidos	204.153	2,76
Bélgica	160.812	2,17
Japón	140.846	1,90
Francia	110.340	1,49
Holanda	82.586	1,12
Áustria	79.783	1,08
Suíza	58.222	0,79
Argentina	47.819	0,65
Reino Unido	40.976	0,55
Panamá	16.632	0,22
Perú	13.604	0,18
Puerto Rico	13.194	0,18
Venezuela	11.440	0,15
Canadá	8.109	0,11
Outros	14.095	0,19
Total	7.398.186	100,00

Fuente: LAURINDO, 2000

La primera conquista resultó en el reconocimiento internacional del término cachaça como producto brasileño con características propias (Decretos de números 4062 de 21/12/2001, 4072 de 03/01/2002 e 4851 de 02/10/2003).

Esta distinción, además de fortalecer el producto en términos de imagem, permitió su asociación con las características artesanales, merecedora de mayor valor agregado. La creación del Padrão de Identidade da Cachaça-PIC y del Regulamento de Avaliação da Conformidade da Cachaça, permitió a los productores que adheriran mayor penetración en el mercado internacional y obtuviesen el sello INMETRO reconocido en mas de 80 países.

De esta forma por definición cachaça es la denominación típica y exclusiva del Aguardiente de Caña produzido en Brasil con graduación alcohólica entre 38 y 48% en volume a 20^{o}C, obtenida por la destilación simples del mosto fermentado de caña de azúcar con características sensoriales peculiares, pudiendo ser adicionada de hasta 6g/L de azúcares, expresado en sacarosa.

Además, permitió la reclasificación de otros productos existentes en el mercado con el fin de atender al productor.

Cachaça Endulzada: bebida que contiene azúcares en cantidades superiores a 6g/L e inferiores a 30 g/L, expresados en sacarosa;

Cachaça Añeja (Envelhecida): bebida que contiene como mínimo 50% de cachaça o de destilado alcohólico simples de caña de azúcar añejada en barril de madera apropiada, con capacidad mínima de 100 y máxima de 700 Litros, por un período no inferior a un año;

Cachaça Premium o Extra: bebida que contiene 100% de cachaça o destilado alcohólico simples de caña de azúcar añejados en barril de madera apropiada, con capacidad mínima de 100 y máxima de 700 Litros, por un período noo inferior a un año;

Cachaça Extra-Velha: bebida añejada por un período no inferior a tres años.

Los produtores industrialess y los artesanales continúan innovando, ofreciendo al mercado interno y externo productos diferenciados en sabor y en la concentración alcohólica como, por ejemplo, la 51 ICE (5%), Ypioca Tropical Drink (15%) y Sapupara Limão (30%), Ice Velho Barreiro (7%) y Caipirinha Velho Barreiro (18%). Productores artesanales que se dedicaron exclusivamente a la producción de aguardiente de frutas como la Musa Agroindustrial Ltda., que posee en su línea de producción aguardientes de plátano, ameixa, pera y de tangerina.

Esta diversidad en la obtención de bebidas hizo que investigadores de la Planta Piloto de Bebidas de la Escola de Engenharia de Lorena, iniciaran investigaciones con otras instituciones buscando nuevos productos y innovaciones tecnológicas, como aguardiente de suero de queso en parceria con la Universidade do Minho-Portugal, aguardiente de castañas y frutas silvestres con la Universidad de Burgos-España, licores de limón con el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar-Cuba y licores utilizando xilitol como endulzante con la Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz-ESALQ/USP. Proyectos buscando financiamiento de Órganos de Fomento Internacional fueron presentados para el desarrollo de las investigaciones.

CONCLUSIÓN

El procedimiento para difundir el producto brasileño, proporcionó el conocimiento de la cachaça y de sus derivados mundialmente.

Sin embrago, aun falta mucho por hacer, como la adopción de técnicas adecuadas de destilación (LIMA, 1964, 1999), de nuevas técnicas de extracción del caldo de caña, de preparación del mosto, de fermentación y de añejamiento. El uso de levaduras inmobilizadas y hasta mismo de cepas modificadas serán bienvenidas para aumentar la produtividad. En el proceso de maturación pueden ser estudiadas técnicas de airación y el añejamiento de la bebida en maderas típicamente brasileñas, como la amburama, bálsamo, jequitibá, ipê, jatobá y maní, en até mismo maderas de eucalipto que sin embargo no los és una madera

brasileña, mas hay en grande cantidad en país, además el añejamiento por mezclas con bebidas previamente añejadas, incluyendo las de mayor concentración alcohólica.

Estos estudios deberan proporcionar recomendaciones sobre la presencia de algunas sustancias que pueden componer las propiedades organolépticas de la bebida, así como sobre análisis de cachaça para la propuesta de seu patrón de identidad.

Agradecimientos: FAPESP, CAPES, CNPq de Brasil

Bibliografia

ABRANTES, A. Cachaça. http.inventabrasilnet.t5.com.br/cachaça.htm.

VALSECHI, O. Aguardente de Cana-de-Açúcar. Piracicaba. Editora Agronômica, 1960. 116p.

RODAS, F.G. Inovação na produção de cachaça de qualidade: Estudo de caso Armazém Vieira-Florianópolis-SC. Monografia em Ciências Econômicas. Universidade Federal de Santa Catarina. 2005. 79p.

CARDOSO, M.G. Produção de Aguardente de Cana. Editora Ufla. 2006. 445p.

OLIVEIRA, A.F., ANEFALOS, L.C., GARCIA, L.A.F., ISTAKE, M., BURNQUIST, F.L. Sistema agroindustrial da cachaça e potencialidades de expansão das exportações

LAURINO, J. Exportações da indústria de bebidas, performance no período 1995-1999 e perspectivas. http://www.laurino-lopes.com.br.

LIMA, U.A. Estudos dos principais fatores que afetam os componentes do coeficiente não-álcool das aguardentes de cana. Piracicaba: ESALQ/USP [Tese de Concurso para Provimento de Cátedra]. 1964- 141 p.

LIMA, U.A. Aguardente – Fabricação em Pequenas Destilarias. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. 1999. 187 p.

MIRANDA, M.B., HORII, J., ALCARDE, A.R. Estudo do efeito de irradiação gama ^{60}C na qualidade da cachaça e no tonel de envelhecimento. Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas. 26(4): 772-778, 2006

NEVES, R. O novo status da cachaça brasileira. http://www.segri.ba.gov.br/noticias.asp. http:/www.sebrae.com.br/setor/derivados-de-cana

TECNOLOGÍAS DE 2.GENERACIÓN DE BIOCARBURANTES: GASIFICACIÓN, PYROLYSIS, SÍNTESIS FISCHER-TROPSCH

Ing. Julius Forsthoffer, PhD,

Asociación de los Productores de Etanol en Eslovaquia,
Zahradnicka 21, 81107 Bratislava 1, Eslovaquia, (zdruzenie-liehu@nextra.sk)

Resumen

Bio-combustibles, ya están de nuevo aceptados como suplementos producidos de la material prima renovable, cuál tiene su gran perspectiva en futuro. Existen varias rutas como obtener estos bio-combustibles: por conversiones biológicas, por procedimientos térmicos o por síntesis. Todos dichos necesitan cumplir las condiciones particulares, aunque los procesos conocemos ya más años. Siempre hay nuevas modificaciones en su diseño, construcción, materiales y otros, en proporción óptima a la materia prima disponible y el uso final de los productos.
Este artículo está dedicado a los procedimientos térmicos los cuales permitan convertir la materia prima a hidrocarburos, gases sin cenizas, utilizables como fuentes en la síntesis Fisher-Tropsch que facilita transformar la materia gaseosa a los productos finales según la necesidad.
Quisiera dar acento a las relaciones entre materia prima usada y el proceso adecuadamente seleccionado, evaluando las tecnologías y las ventajas / desventajas de cada una, respetando lo clave: obtener productos finales - los combustibles generosos con ciertas propiedades, que no contienes las cenizas - los usables en motores, turbinas y calderas.

Palabras claves: Bio-combustibles; Procedimientos térmicos; Gasificación; Pyrolysis;

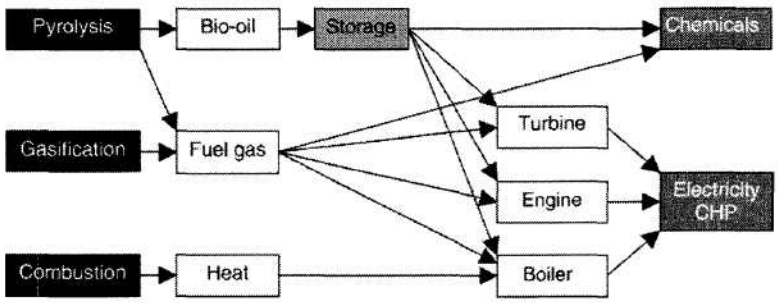
Introducción

Ante todo es necesario explicar la filosofía de los combustibles generosos. Todos los motores, turbinas y algunas sofisticadas calderas presentan unos equipos adecuados y especiales, que facilitan la transformación de energía química (depositada en fuentes fósiles o renovables) a una energía mecánica, electricidad, calor, o frío. En la diferencia de las calderas clásicas que usan los combustibles comunes (varios tipos de carbón, de madera, de residuos o basura) dichos equipos necesitan combustibles generosos, lo que representa una materia -portador de energía- que no contiene partículas sólidas, tanto como aquella materia que al fin de su proceso combustión produce las cenizas.
Es el motivo que provoca cambiar el carácter de los combustibles comunes, reprocesándolos y rectificándolos a una materia diferente, materia generosa, con las propiedades estables, bien definidas.
Es decir, al proceso de rectificación podrían pasar las fuentes fósiles tanto como renovables.
Reproceso de la materia prima fósil, ante todo el carbón, fue usado en grande durante la Segunda guerra mundial produciendo la "gasolina sintética". Fueron construidos grandes reactores para gasificación y pyrolysis, produciendo varios tipos gases para sintetizar los hidrocarburos u otros compuestos orgánicos. Además fueron usados reactores de hidrogenación, los cuales reprocesaron materia prima fósil dispersada en hidrocarburos, especialmente en los aceites pesados. Después fueron estos procesos parados como muy pesados, complicados, poco ecológicos, pero especialmente por amplio uso de los hidrocarburos a base del

petróleo, cual reprocesamiento por destilación fue aparentemente fácil comparando con reprocesamiento del carbón. Esta claro, por evolución de los procesos en refinerías del petróleo combinados con aumento de las capacidades de los equipos, también por la necesidad utilizar petróleo con menos convenientes propiedades (contenido de agua, impurezas, azufre, fracciones más pesadas) tenemos ahora refinerías más sofisticadas. Pero el consumo de hidrocarburos sube tan rápidamente que está imprescindible buscar nuevos yacimientos y buscando las nuevas fuentes de energía paralelamente modernizar las tecnologías previas orientándolas especialmente a las fuentes renovables.
Energía renovable busca su lugar en industria y tiene gran importancia en situación cuando se aparece escasez del petróleo y combustibles generosos producidos a su base. La materia prima basada en la fitomasa representa una forma muy útil para aprovecharla como buena fuente de energía, no solo en combustión directa, pero especialmente para reprocesamiento a los productos generosos, sin partículas mecánicas y cenizas. Es el rumbo bien útil en los países desarrollados tanto como aquellos con la economía subdesarrollada, especialmente si estamos considerando las plantas que crecen rápidamente, tienen corta rotación y alto aprovechamiento de energía solar por fotosíntesis – fitomasa energética. Claro, esto podría (paso por paso) formar y obtener un nuevo equilibrio en nuestro ambiente vital, disminuyendo y estabilizando el contenido de dióxido de carbono en la atmósfera.
Hablamos sobre conversión de las fuentes de fitomasa y los residuos a energía usando los procedimientos térmicos o síntesis.
Cada tecnología de reprocesamiento tiene su historia, muchas investigaciones, diseños especiales, pruebas y plantas piloto hasta los procesos comerciales, pero en todos casos hay que calcular su eficiencia efectiva, comparando una simple combustión con los procesos sofisticados. Es necesario bien y precisamente especificar cual forma de energía se desea al fin de proceso o deseo transformar una forma de fuente cruda a la otra generosa. Estas decisiones claves solucionarán separadamente en cada caso el dilema cual uso o reprocesamiento está más útil.

En procesos térmicos existen tres métodos para conversión de la fitomasa o los residuos a la forma de energía más útil: combustión, gasificación y pyrolysis a veces conjunto con síntesis Fischer-Tropsch.

Productos de conversión



Combustión

Combustión de varia fitomasa o materia parecida (los residuos) esta aplicada comercialmente y hay bastante opiniones en este proceso conversión produciendo calor y fuerza de vapor (energía mecánica). Los procesos consideramos técnicamente seguros, pero la energía de calor producido está necesario inmediatamente utilizar como calor en calentamiento y/o producción de energía (mecánica - eléctrica), porque no hay solución económica para almacenarlo. La efectividad y rendimiento fluctúa alrededor de 15% en platas pequeñas y hasta 30% en plantas grandes.

Transformación de calor a electricidad aprovechando el vapor de agua necesita las maquinas de vapor o turbinas que tampoco tienen una eficiencia superior. Por esta desventaja podrían ser aceptables los costos de transformación solo en uso de materia prima barata, residual y agrícola.
En plantas grandes usando combustible gas natural en turbinas de combustión está posible obtener la efectividad mayor, pero existen también limitaciones especialmente en el uso del calor residual de baja potencia e imposibilidad almacenar la energía eléctrica (sistemas co-generación, triple-generación).

Gasificación

Las tecnologías de gasificación ofrecen una potencia de obtener una pura y eficaz forma de energía. Permiten producir los gases de materia prima que no está útil (por su composición) para combustión directa. Gas inflamable está utilizable en calderas, motores, turbinas para generar electricidad, calor, frío o para síntesis de amplia gama compuestos orgánicos, especialmente los hidrocarburos u otros combustibles líquidos (los procesos del grupo GTL - "gas to liquid").
Usando una gasificación está posible obtener de fitomasa o residuos (la oxidación limitada) una mixtura de gases: monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogeno, metano e inertes gases (nitrógeno) independientemente si fue aprovechado proceso de gasificación o pyrolysis con vapor de agua u oxigeno.

Las tecnologías tienen muchas variantes cuales resultan de algunos factores de ingeniería:
- Procesamiento de gasificación (temperatura, presión, vapor de agua, aire u oxigeno, termodinámica, cinética y equilibrios de las reacciones químicas, catalizadores)
- Calentamiento interno o externo, aprovechamiento de calor y aislamiento
- Diseño de los reactores y de todos equipos servicios inclusive alimentación, descarga,
- Materiales de construcción y su protección contra abrasión y corrosión
La gasificación tiene más pasos:
- Secado por evaporación de la humedad
- Pyrolysis que produce gas, evaporados hidrocarburos, sólidos residuos
- Gasificación u oxidación parcial junto con pyrolysis de sólidos residuos
Los procesos de gasificación producen en general tres productos básicos:
- Productos gaseosos generalmente llamados "sin-gas" (no condensan en condiciones de operación)
- Productos líquidos (condensan en condiciones de operación)
- Productos sólidos (carbón residual y cenizas)
Cuando materia prima alcanza una temperatura 300 -500 °C (en condiciones de oxigeno limitado) comienza el proceso destructivo produciendo condensables hidrocarburos, gases no condensables, carbón, residuos. Rendimiento relativo de los componentes está variable según la temperatura final y rapidez de calentamiento. En escasez de oxigeno resulta más hidrocarburos, en presencia de oxigeno pasa el proceso al favor de los gases CO, CO_2 y H_2. Gasificación del carbón pasa como una combinación interactiva de las reacciones entre gas-sólido y gas-gas. La reacción gas-sólido es más lenta que gas-gas y condicione todo el proceso, aunque los metales alcalinos presentes en cenizas catalizan reacciones, pero no siempre al deseado rumbo de equilibrio. A la composición de los gases obtenidos influyen muchos factores, especialmente composición de materia prima, contenido de humedad, temperatura y presencia de oxigeno. La tecnología esta muy variable, permite arreglar las condiciones hasta resultados deseados.

Variantes de gasificación térmica
<u>Oxidación parcial con aire</u>
Productos claves: CO, CO2, H2, CH4, N2, alquitrán. Estos componen un gas con contenido de energía baja ~5 MJ/m3. Está útil para combustión directa y en turbinas de gas
<u>Oxidación parcial con oxigeno</u>

Productos claves: CO, CO2, H2, CH4, alquitrán (no N2). Estos componen un gas con contenido de energía media ~10-12 MJ/m3. Está más útil; mayor costo de producción (por costo de oxigeno) se compensa con mayor calidad de gas.

Gasificación con vapor de agua

Productos claves: CO, CO2, H2, CH4, alquitrán. Estos componen un gas con contenido de energía media ~15-20 MJ/m3. El proceso consiste de dos etapas: primera esta produciendo gas y alquitrán mientras enfriándose; segunda esta quemando alquitrán recalentando el reactor. El contenido de energía mayor resulta por mayor contenido de metano e hidrocarburos en gas, pero el costo de producción está un poco mayor por pérdida de una parte de carbón (materia prima) usado para recalentamiento del reactor en segunda etapa.

Se conocen varios tipos de los reactores, y sus combinaciones en dependencia de diferente temperatura, proceso atmosférico o a presión, del uso oxigeno de aire, oxigeno puro o vapor como los oxidantes; todo que influye a la composición deseada de los productos:

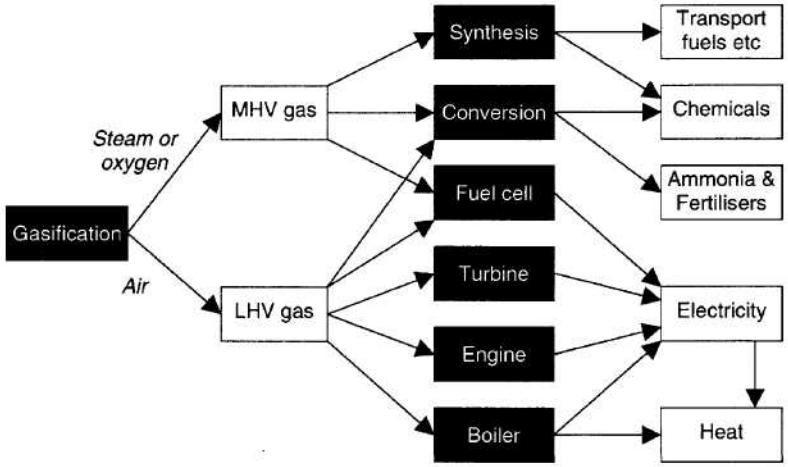
Reactores con lecho fijo en variantes: flujo- abajo y contra-flujo

Reactores con lecho fluidizado en variantes: lecho fijo y lecho circulante

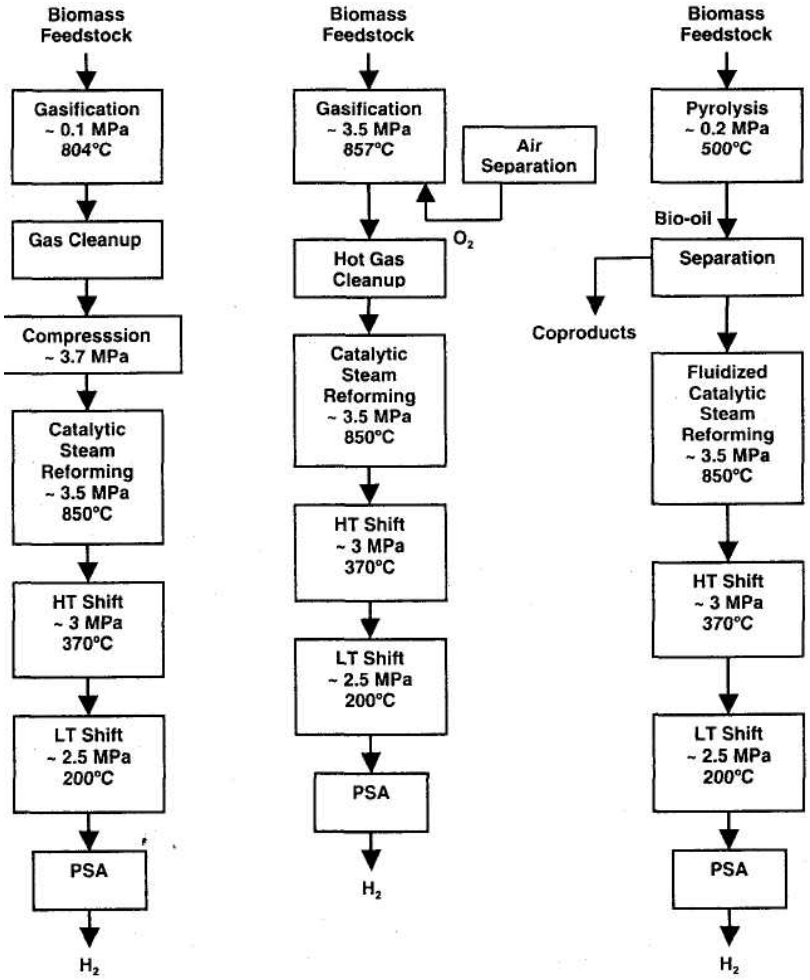
El uso de un tipo adecuado depende de materia prima y su cantidad disponible; cada tiene su ventaja y desventaja, está imposible recomendar un tipo universal.

Los gases obtenidos por gasificación ofrecen varios usos pero cada necesita una composición adecuada, tanto como ausencia de las partículas sólidas. Se prefieren gases para combustión directa o síntesis de hidrocarburos (cadena corta tipo propano-butano o cadena larga tipo octano-dodecano), alcoholes (tipo metanol, etanol), éteres (dimetiléter), soportando una relación entre CO y H_2 (hidrogeno está el componente más valioso).

El uso de gases de gasificación



Los procedimientos de gasificación para obtener hidrogeno de fitomasa



Si evaluamos la materia prima usada en gasificación hay que saber, que composición de los gases producidos depende de su homogeneidad y casi uniforme composición. La fitomasa uniforme representa una materia prima muy buena de este punto de vista y esta preferida para producir los gases predestinados a la síntesis. Al contrario los residuos y basura no se pueden categorizar como materia prima uniforme, siempre varia su composición y los gases están más convenientes para una directa combustión. En el caso que hay disponibles las mezclas de varia materia prima no homogénea consideramos permanecer las mismas reglas prácticas.
Generalmente la gasificación de fitomasa está el proceso bien conocido, aprobado, con el diseño y construcciones sofisticadas, ya tiene más grandes plantas en operación y no hay ningunas técnicas barreras para su penetración al mercado de energía. El único problema representa el costo de operación, que en este período supera los costos de energía generada de las fuentes fósiles. Esto se puede solucionar si el mercado o el uso de energía sean completamente integrados al sistema de fitomasa aprovechando todas mejoras del desarrollo de economía energética.

Pyrolysis
Este proceso, comparando con gasificación, necesita ausencia del oxigeno. Comenzando, la pyrolysis pasa igualmente como gasificación, pero la temperatura sube hasta 1000 °C que provoca una más profunda destrucción de materia prima usada. Porque esta trabajando con temperaturas altas este método permita

utilizar pyrolysis también para destruir varios productos líquidos o suspensiones acuosas; claro que consumo de energía necesaria está más alto -equivalente a cantidad de agua evaporada. Pyrolysis rápida dura solo algunos segundos o menos y este fenómeno influye a cinética de las reacciones químicas, tanto como a los procesos intercambio de calor e intercambio de masa. La fase crítica es entrar al reactor la materia prima adecuadamente preparada (partículas pequeñas) casi uniforme, aprovechando la temperatura óptima, quitando los productos y evitando la contra-reacción por un rápido enfriamiento para su estabilización.

Los típicos rendimientos de los productos obtenidos
usando diferentes modelos de pyrolysis
(a base de madera - materia seca)

	Liquido (%)	Coque (%)	Gas (%)
Pyrolysis rápida	75	12	13
Temperatura moderada, corto tiempo de residencia			
Carbonización	30	35	35
Temperatura baja, largo tiempo de residencia			
Gasificación	5	10	85
Temperatura alta, largo tiempo de residencia			

Comparando con gasificación el producto clave de pyrolysis consideramos los líquidos que condensan formando una materia aceitosa (parecida al petróleo crudo), que contiene varios hidrocarburos de cadena media y otros compuestos aromáticos y heterocíclicos. Este líquido sirve como fuente para producción de los combustibles generosos (tipo diesel).
Esta posible utilizar todas formas de fitomasa en pyrolysis, pero siempre está necesario arreglar su forma antes de dosificarla al reactor. Podemos identificar las diferencias entre los procesos pyrolysis y gasificación según aceptabilidad de forma y composición de materia prima. Aunque casi todas variantes de fitomasa o residuos (basura) están reprocesables, la pyrolysis, especialmente la rápida, está más sensible a su forma en la entrada. A veces, especialmente en el uso de los residuos o basura, está imprescindible usar unos tratamientos previos, ante todo unas selecciones, desintegración o tamices para unificar la materia prima disponible.
El diseño de los reactores depende de la forma de materia prima, su consistencia o dispersión, pero los reactores no representan la mayor parte del costo de inversión. Lo ocupa todo equipo auxiliar instalado antes y después de reactor.
Generalmente los reactores tienen su forma y función parecida a los reactores de gasificación; la diferencia es en refractario y el sistema para enfriamiento a condensación de productos. Una separación en caliente de las partículas sólidas (a veces precipitación electrostática) aumenta la calidad del producto, pero su uso esta razonable solo en reprocesamiento de materia prima fitomasa definida y uniforme.

Productos de una pyrolysis de fitomasa como función de calentamiento, tiempo de residencia y temperatura final

Tecnología	Calentamiento	Tiempo	Temperatura	Producto
Carbonización común	Muy lento	Días	400 °C	Coque
Carbonización común	Lento	5-30 min	600 °C	Aceites, gas,
Pyrolysis rápida	Muy rápido	0,5-5 sec	650 °C	Aceites
Pyrolysis rápida liquido	Rápido	<1 sec	<650 °C	Aceites
Pyrolysis rápida gas	Rápido	<1 sec	<650 °C	Compuestos, gas
Pyrolysis ultra rápida	Muy rápido	<0,5 sec	1000 °C	Compuestos, gas
Pyrolysis en vacío	Medio	<2-30 sec	400 °C	Aceites
Pyrolysis hidro	Rápido	<10 sec	<500 °C	Aceites

Pyrolysis – los efectos como influye la temperatura al rendimiento y composición del gas

	Temperatura		
Productos y rendimiento %(wt)	500°C	650°C	900°C
Gases	12,3	18,6	24,4
Líquidos	61,1	59,2	58,7
Coque	24,7	21,8	17,7
Rendimiento	98,1	99,6	100,8
Composición de gases %(mol)			
H_2	5,6	16,6	32,5
CO	33,5	30,5	35,3
CO_2	44,8	31,8	18,3
CH_4	12,4	13,9	10,5
C_2H_6	3,03	3,06	1,07
Contenido de energía MJ/m^3	12,3	15,8	15,1

Líquidos, bio-aceites obtenidos por pyrolysis tienen ventajas: no están volátil, su almacenamiento y transportación esta simple, existe la posibilidad usarlos directamente en combustión o reprocesarlos refinando sus componentes (varios valiosos compuestos) según necesidad del mercado.
Pero hay ciertas desventajas siguientes:
- El precio de bio-aceites está mayor de su equivalente a base fuentes fósiles; todo depende de precio de usada fitomasa en sitio de la planta
- El problema de disponibilidad de fitomasa en lugar de planta pyrolysis; hay que considerar costo de transporte y distancia que no debe exceder semidiámetro 80-100 km
-El problema sobre consistencia de las propiedades del bio-aceites, su combustión directa podría causar los daños a los equipos de hornos o motores; además el problema de las emisiones producidas por su combustión directa.
- Producidos bio-aceites (crudos, sin cualquier tratamiento) están incompatibles con los motor-combustibles convencionales, están necesarios diferentes sistemas de manipulación y la gama de los consumidores comunes actualmente no tiene relación, tampoco opinión con sus uso.
- Generalmente más ventajosa está refinación de los bio-aceites crudos obtenidos por pyrolysis, lo que necesita su recolección, almacenamiento y equipo adecuado, en dependencia de la capacidad de planta pyrolysis. Las fracciones obtenidas por reprocesamiento podrían tener un valor agregado mayor (según condiciones en mercado) y compensar costo de refinación.

Síntesis Fisher-Tropsch
Este proceso, bien conocido desde ano 1925, representa un método obtener varios compuestos líquidos de compuestos gaseosos aprovechando unas reacciones catalizadas ante todo por hierro. Permita obtener de materia prima – una mezcla proporcionada de gases CO y H_2 – amplia gama productos generosos, preferiblemente hidrocarburos alifáticos: propano-butano, gasolina, kerosén, diesel, aceites pesados y parafina sólida. Alemania utilizaba esta tecnología durante Segunda Guerra Mundial produciendo gasolina sintética. Durante los anos 70 (en siglo XX) el proceso aplicaba la empresa SASOL en África del Sur (durante el bloqueo contra apartheid) produciendo varios hidrocarburos parafínicos del "gas de síntesis" obtenido por gasificación aprox. 5 million ton/ año del carbón-lignito nacional (proceso STL= solid to liquid). Esta tecnología fue modernizada (proceso Synthol) y usando otros sofisticados catalizadores ha producido amplia gama útiles compuestos químicos (alcoholes, ketones, alkenes, especialmente etileno, oxo-quimicatos, fenol, cresoles, benceno, tolueno, xylenos, también amonio y azufre. Ambas opiniones

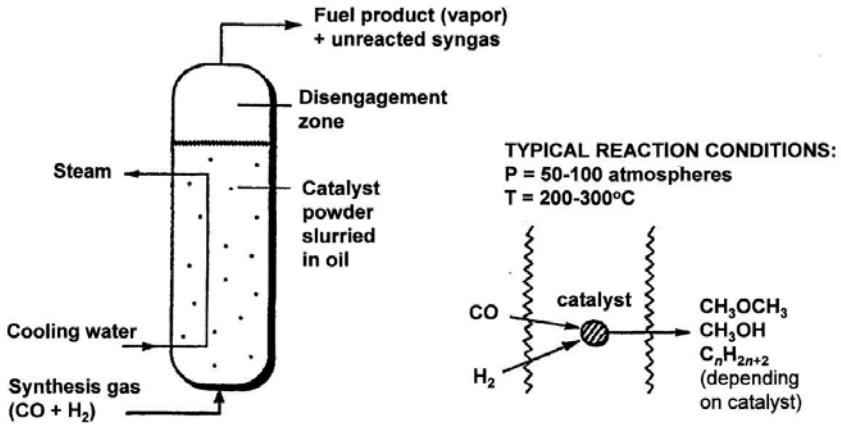
confirmen la función de dicha síntesis, tanto como su economía y costo de proceso comparable (en plantas grandes) con refinación de petróleo. Esta un desafío en utilización de fuentes renovables, ante todo la fitomasa y los residuos.

Reacciones en síntesis Fischer-Tropsch

$3\,n\,CO + n\,H_2O \leftrightarrow (—CH_2—)_n + 2\,n\,CO_2 + 58{,}4\,n$ kcal (a)
$2\,n\,CO + n\,H_2 \leftrightarrow (—CH_2—)_n + n\,CO_2 + 48{,}9\,n$ kcal (b)
$2\,CO + 2\,H_2 \leftrightarrow CH_4 + CO_2 + 58{,}6$ kcal (c)
$n\,CO + 2\,n\,H_2 \leftrightarrow (—CH_2—)_n + n\,H_2O + 39{,}4\,n$ kcal (d)
$CO + 3\,H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O + 48{,}9$ kcal (e)
$n\,CO_2 + 3\,n\,H_2 \leftrightarrow (—CH_2—)_n + 2\,n\,H_2O + 29{,}9$ n kcal (f)
$CO_2 + 4\,H_2 \leftrightarrow CH_4 + 2\,H_2O + 39{,}1$ kcal (g)

La síntesis total de los combustibles hidrocarburos pasa como una hidrogenación de CO o CO_2 según las indicadas reacciones. El sistema CO, CO_2, H_2, H_2O, esta muy reactiva y la mayor importancia tienes ecuaciones (b) y (d). La proporción de hidrogeno en la mezcla de gases esta dominante en síntesis y en la practica varía entre 1 CO : 2 H_2 hasta 2 CO : 1 H_2 .

Esquema del proceso – sistema „gas-liquido" está más efectivo comparándolo con sistema "gas-gas"



Generalmente de 1 m^3 "sin-gas" según estequiometría resulta un rendimiento 208 g hidrocarburos; el rendimiento práctico obtiene 140 -180 g. Todas reacciones necesitan una catálisis adecuada, ante todo hierro y cobalto para n- alkanes, aluminio y thorio para izo-alkanes, rutenio para alkanes con cadena larga hasta parafina solida, niquel para metano. La temperatura de síntesis no esta alta, reacciones son exotérmicas, especialmente éstas donde se produce CO_2 . En cada caso hay que estabilizar equilibrio en rumbo deseado por enfriamiento de los productos. La temperatura oscila entre 180 -200 °C en sistema atmosférico o a presión media (hasta 15 bar). El flujo de gases esta aprox. 100 Nm^3 / l m^3 capa de catalizador por hora, lo que necesita los reactores con grandes volúmenes.
Los reactores tienen diseños diferentes: más comunes están con catalizador en lecho fijo, catalizador en lecho fluidizado, catalizador "húmedo"- dispersado en una suspensión de hidrocarburos.

Productos promedios de síntesis Fischer-Topsch

Hidrocarburos	Rendimiento total %(wt)	Contenido alkenes %(wt)
C1 – C2	5 - 15	hasta 5
C3 – C4	4 - 30	40 - 80
C5 hasta 190°C	9 – 60	20 - 60
190 hasta 320 °C	4 – 40	hasta 45
320 hasta 450 °C	1 - 30	sin datos
Parafina sólida	1 - 43	sin datos

Problema: dióxido de carbóno
Compuesto CO_2 esta hasta hora un desecho liberado desde proceso al aire, independientemente si tiene carácter "bio" (de fermentaciones) o carácter "fósil"(de carbo- y petro- procesos). Su concentración en la atmósfera aparentemente sube y las consecuencias negativas de los cambios climáticos sentimos todos.
La salida de esta situación está en su captura y preferiblemente reprocesamiento. Existen experimentos con su almacenamiento subterráneo, pero hay dudas: ¿tiene este método una preferencia económica? Analizándola está posible responder si pero en caso si CO_2 tiene algún efecto en yacimientos / posos de petróleo. El almacenamiento solo para secuestración y captura no está económico. Sea mejor una vez capturado CO_2 y adecuadamente purificado (para no dañar los compresores) utilizar como materia prima en "craqueo seco" que es una reacción entre CO_2 y CH_4 produciendo CO y H_2 gases usables directamente en síntesis Fischer-Tropsch. La dificultad está en baja reactividad de CO_2 lo que necesita una efectiva catálisis y calentamiento hasta 350 -400 °C. El sistema industrial está conocido, pero la situación permite dejarla esperando las óptimas condiciones en mercado de combustibles. Esta tecnología permite utilizar todos los fuentes de CO_2 estacionares (especialmente de los grandes productores) compensando las emisiones producidas por las fuentes móviles (transporte).

Conclusión

En futuro será necesario cambiar mejorando la imagen de las plantas pyrolysis y síntesis, dando más esfuerzo a la enseñanza al público sobre su provechoso beneficio. Ya existen fuertes motivaciones a favor de pyrolysis y síntesis puesto que
- continúa la falta de energía, combustibles comunes y generosos y suben sus precios,
- continúa la producción de varios residuos y basura proporcionalmente como sube el nivel de vida,
- continúa miedo de las deponías ocultas y publicas conociendo su influencia negativa al salud publica
- continúa trato negativo a todas deponías de residuos en lugares naturales (en tierra o en mar) – nuestro ambiente vital debemos que cuidar más efectivamente.
Seguramente la gama de proveedores tiene o prepara los diseños adecuados de los procesos y equipos de pyrolysis y síntesis que están capaces cumplir las tareas tecnológicas soportando altas esperanzas ecológicas y económicas. Pero hay que sobrepasar a ciertas barreras.
Tecnología de gasificación, pyrolysis y síntesis enfrenta por su camino a plena comercialización a varios problemas técnicos tanto como no-técnicos. Los problemas técnicos podemos definir, pero más importantes (o difíciles) están los problemas no-técnicos, los que necesitan una atención mayor.

- Políticas gubernamentales: Está difícil implementar cualquier energía renovable a sociedad sin suportación gubernamental, la que está basada en redistribución de los impuestos públicos. Generalmente ya existen sistemas de suportación, pero no hay claramente definidas las prioridades.

- Políticas publicas: La gente en ciudades y pueblos tiene alguna oculta forma de aversión contra energía renovable y las plantas que reprocesan los residuos / basura. Siempre hay ideas sobre localización de las plantas: "más lejos posible - no cerca de mí". Necesitamos entender a esta rutina y luchar contra ella. Cumplir "no cerca de mí" significa vivir sin residuos, sin basura, sin aprovechamiento de fuentes naturales renovables- la fitomasa, lo que parece imposible. Al revés, población crece, produciendo siempre más residuos y esta imprescindible utilizarlos en generación de energía necesaria. Siempre está necesario que la gente bien entiende que la planta debe que servir al pueblo pues pueblo paga su servicio.
- Escala de las plantas: La economía de costos prefiere las plantas grandes, sistemas centralizados, es decir con la necesidad recolectar su materia prima desde área más amplia. Esta preferencia opone al costo, rutas y medios de transporte prefiriendo unas plantas pequeñas y los sistemas descentralizados. Dando decisiones hay que considerar las condiciones locales.
- Riesgo, seguridad, sano ambiente vital: Construir una planta significa cierto riego financiero, que depende en condiciones del mercado de energía. Aprovecho la posibilidad generar varias formas de energía (mecánica, calor, frío, electricidad) o síntesis de combustibles disminuye el riesgo, especialmente en el caso si políticas gubernamentales suportan este esfuerzo. Seguridad de la planta y proceso usado está solucionable sin coincidencia negativa en saneamiento de ambiente vital en las zonas que pertenecen a la planta y el territorio de recolección.

Solucionar dichos problemas no necesita alguna tecnocracia o burocracia, pero sin colaboración entre todas partes interesentes lo sea imposible. El mundo marcha frente máximo uso de fuentes renovables inclusive los residuos para generar energías necesarias. Sin energía y una razonable simbiosis con la naturaleza la humanidad no tendrá posibilidad aprovechar su alta producción, alto consumo, alta técnica, altas tecnologías, transporte, tanto como soportar adecuado nivel de vida, amplia educación, cultura y tampoco sobrevivir.

Referencias

- Rezayan, J., Cheremisinoff, N.P., (2005) Gasification Technologies, CRC Press and Taylor & Francis Group, Boca Raton,
- Kent, J.A. ed, (1992) Riegels Handbook of Industrial Chemistry, Van Nostrand Reinhold, New York, pp.527-597
- Riedl, R., Vesely, V., (1962) Technologie paliv, SNTL & SVTL, Praha,
- Elliott, D.C., (2008) Catalytic hydrothermal gasification of biomass, *Biofuels, Bioprod.Bioref,* 2, 254-265,
- Arnold, K., Ramesohl,S., (2006) Strategische Bewertung der Perspektiven Synthetischer Kraftstoffe auf Basis fester Biomasse, Wupertal, Jülich
- Bridgwater, A.V., (2003) Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass, *Chemical Engineerig Journal*, 91, 87-102,

USO VINHAÇA NA LAVOURA DE CANA-DE-AÇÚCAR. DISTRIBUIÇÃO E FORMAS DE APLICAÇÃO

Sérgio Antônio Veronez de Sousa.
Eng. Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem. Diretor da Veronez Projetos e Consultoria.
Rua José Ferraz de Carvalho 650-173. Piracicaba-SP, Brasil.
veronez@virtuali.com.br

VINHAÇA – CONCEITOS E FORMAS DE APLICAÇÃO

Segundo Elias Neto & Nakahodo (1995), o nome vinhaça é empregado indistintamente para o resíduo da destilação de uma solução alcoólica chamada vinho, obtida do processo de fermentação alcoólica. O vinho é o produto ou subproduto da fermentação alcoólica a partir de uma solução açucarada chamada mosto. O mosto pode ser obtido do suco de vários produtos agrícolas como uva, outras frutas, beterraba, cana-de-açúcar, etc., ou do próprio açúcar, mel, melaço. A vinhaça da agroindústria sucro-alcooleira brasileira é oriunda da fermentação do caldo da cana-de-açúcar, e de mel e melaço, os quais são subproduto da fabricação de açúcar.

Portanto a classificação clássica da vinhaça é feita segundo os componentes do mosto, ou seja, caldo, melaço, e misto. Esta classificação é bastante genérica, devido ao estágio atual da produção de álcool. Na mesma safra, uma destilaria anexa pode apresentar vinhaça dos 3 tipos, operando só com caldo, só com melaço ou com a mistura (caldo + melaço).

A vinhaça, conhecida também como vinhoto, restilo, tiborna, calda, garapão e caxixi, é um subproduto da fabricação do álcool e produzida, em média, na proporção de 13 litros para cada litro de álcool fabricado. Este valor pode variar entre 10 a 15 litros, de acordo com as condições agrícolas sob as quais a cana foi produzida, fatores industriais no seu processamento e na obtenção do álcool.

A vinhaça contém alto teor de matéria orgânica e potássio, sendo relativamente pobre em nitrogênio, cálcio, fósforo e magnésio. Várias são as citações bibliográficas sobre a composição química da vinhaça. Sua característica química depende de sua origem. Na Tabela 1 encontram-se resultados de análises químicas obtidos por Orlando Filho & Leme (1984), citados por Ferreira & Monteiro (1987).

Com o objetivo de se obter dados atualizados das características químicas da vinhaça, uma vez que os dados disponíveis na literatura especializada eram frutos de trabalhos de vários autores nas datas entre 1952 e 1982, Elias Neto & Nakahodo (1995) coletaram 64 amostras de vinhaça de 28 usinas do Estado de São Paulo, perfazendo uma média de 2,3 coletas por usina.

As coletas foram feitas na vinhaça pura, isto é, sem mistura da flegmaça, logo na saída da destilaria. Na tabela 2 têm-se os resultados dos parâmetros mínimos, médios, máximos e desvio padrão da caracterização físico-química da vinhaça, elaborados pelos autores, assim como alguns dados relevantes do processo.

Tabela 1 - Composição química da vinhaça de diferentes tipos de mosto.

Elementos/Unidades	Mosto		
	Melaço	Misto	Caldo
N kg m^3/vinhaça	0,75 - 0,79	0,33 - 0,48	0,26 - 0,35
P_2O_5 kg m^3/vinhaça	0,10 - 0,35	0,09 - 0,61	0,09 - 0,50
K_2O kg m^3/vinhaça	3,50 - 7,60	2,10 - 3,40	1,01 - 2,00
CaO kg m^3/vinhaça	1,80 - 2,40	0,57 - 1,46	0,13 - 0,76
MgO kg m^3/vinhaça	0,84 - 1,40	0,33 - 0,58	0,21 - 0,41
SO_4 kg m^3/vinhaça	1,50	1,60	2,03
*MO kg m^3/vinhaça	37 - 57	19 - 45	15 - 35
Mn mg/dm^3	6 - 11	5 - 6	5 - 10
Fe mg/dm^3	52 - 120	47 - 130	45 - 110
Cu mg/dm^3	3 - 9	2 - 57	1 - 18
Zn mg/dm^3	3 - 4	3 - 50	2 - 3
PH	4,0 - 4,5	3,5 - 4,5	3,5 - 4,0

Fonte: Orlando Filho & Leme (1984).

Tabela 2 - Caracterização analítica da vinhaça. Fonte: Elias Neto & Nakahodo (1995).

Caracterização da vinhaça:	Unidade	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão
pH	---	3,50	4,15	4,90	0,32
Temperatura	°C	65	89	111	9,78
Demanda Bioquím. Oxig. (DBO_5)	mg/l	6680	16950	75330	9953,12
Demanda Química Oxig. (DQO)	mg/l	9200	28450	97400	13943,41
Sólidos Totais (ST)	mg/l	10780	25155	38680	6792,95
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/l	260	3967	9500	1940,54
Sólidos Suspensos Fixos (SSF)	mg/l	40	294	1500	288,88
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	mg/l	40	3632	9070	1850,16
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/l	1509	18420	33680	6488,60
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV)	mg/l	588	6580	15000	2549,82
Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF)	mg/l	921	11872	24020	4758,17
Resíduos Sedimentáveis (RS) 1h	mg/l	0,20	2,29	20,00	3,74
Nitrogênio	mg/l	90	357	885	177,81
Nitrogênio amoniacal	mg/l	1	11	65	10,93
Fósforo Total	mg/l	18	60	188	36,95
Potássio Total	mg/l	814	2035	3852	804,31
Cálcio	mg/l	71	515	1096	213,71
Magnésio	mg/l	97	226	456	71,40
Manganês	mg/l	1	5	12	2,37
Ferro	mg/l	2	25	200	36,35
Sódio	mg/l	8	52	220	41,11
Cloreto	mg/l	480	1219	2300	417,49
Sulfato	mg/l	790	1538	2800	514,28
Sulfito	mg/l	5	36	153	32,56
Etanol - CG	% v/v	0,01	0,09	1,19	0,18
Levedura	% v/v	0,38	1,35	5,00	1,00
Glicerol	% v/v	0,26	0,59	2,5	0,31

Parâmetros de lançam./ l álcool:	Unidade	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão
Vazão	l/l álcool	5,11	10,85	16,43	2,40
Carga Orgânica - DBO	g DBO/l álc.	90	175	582	78,57
Carga Orgânica - DQO	g DQO/l álc.	134	298	1147	136,32
Sólido Total	g ST/l álc.	141	269	552	90,37
Nitrogênio	g NT/l álc.	1,17	3,84	10,27	2,09
Nitrogênio amoniacal	g NAm/l álc.	0,01	0,12	0,62	0,12
Fósforo Total	g PT/l álc.	0,16	0,65	2,01	0,42
Potássio Total	g KT/l álc.	8,06	21,21	42,53	7,76
Cálcio	g CaT/l álc.	0,58	5,38	14,15	2,10
Magnésio	g MgT/l álc.	1,16	2,39	4,86	0,79
Manganês	g MnT/l álc.	0,01	0,05	0,13	0,03
Parâmetros de lançam./ l álcool:	Unidade	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão
Ferro	g FeT/l álc.	0,02	0,27	2,00	0,38
Sódio	g NaT/l álc.	0,09	0,56	3,08	0,50
Cloreto	g ClT/l álc.	5,53	12,91	28,66	4,78
Sulfato	g ST/l álc.	8,33	16,17	32,50	5,40
Sulfito	g ST/l álc.	0,04	0,37	1,22	0,30
Etanol - CG - Perdido	% Álc. Prod.	0,08	0,91	11,47	1,78
Levedura	% Álc. Prod.	2,55	14,70	58,05	11,62
Glicerol	% Álc. Prod.	2,50	6,21	26,67	3,16

A porcentagem da área de fertirrigação das usinas brasileiras é bastante variável, tanto em escala regional, como dentro de uma mesma região. Existem usinas que já vem aplicando vinhaça em 70% da sua área de cultivo, por outro lado pode-se encontrar também usinas com áreas de fertirrigação bem abaixo deste valor. Pode-se considerar também que, de maneira geral, a cada safra o valor de área de fertirrigação das usina aumenta, mostrando a preocupação das usinas com o uso racional da vinhaça, buscando maior rendimento agrícola e redução no uso de fertilizantes químicos, bem como uma adequação de dose de vinhaça que não cause prejuízo ao meio ambiente.

Os sistemas utilizados atualmente para fertirrigação da lavoura canavieira com resíduos líquidos (vinhaça e águas residuárias), são: caminhão-tanque convencional e aplicação por aspersão.

Na aplicação por aspersão são utilizados o sistema de montagem direta e autopropelido com carretel enrolador, podendo este ser alimentado diretamente de canais ou a partir de caminhões.

Nos primórdios do Pró-Álcool outros dois sistemas eram bastante difundidos nas destilarias do país: área de sacrifício e sulcos de infiltração. No entanto, com o passar do tempo, ocorreu a eliminação desses sistemas porque eles não proporcionam o aproveitamento racional da vinhaça e impõem riscos de poluição das águas subterrâneas.

O sistema de fertirrigação com caminhões-tanque num passado recente era o mais difundido para distribuição de vinhaça pura. Apresenta como vantagem o curto tempo exigido para sua implantação, isto é, praticamente basta adquirir a frota e colocá-la em operação. Possivelmente, este fato foi determinante para sua rápida difusão nas usinas e destilarias do país.

Como limitações desse sistema destacam-se: agravamento dos problemas de compactação de solos, impossibilidade de aplicação em áreas com cana-planta, dificuldades em dias de chuva, baixa uniformidade de distribuição e pequena distância na qual a prática da fertirrigação e economicamente viável em comparação com a adubação mineral.

A vinhaça, diluída com águas residuárias ou não, pode ser aplicada através de sistemas de irrigação por aspersão, sendo o sistema de montagem direta e o autopropelido com carretel enrolador os utilizados nas usinas e destilarias do Brasil.

O sistema montagem direta consiste basicamente de um conjunto motobomba acoplado a um aspersor tipo canhão, montados em chassi com rodas. O sistema também pode ser dotado de extensões (tubulações), com o objetivo de aumentar o espaçamento entre canais, ou seja, para diminuir a quantidade de canais que atravessam os talhões de cana.

A vantagem principal do sistema de aspersão com montagem direta, quando comparado com o sistema de caminhões-tanque, é o menor custo por unidade de área fertirrigada. Por outro lado, a maior limitação é a exigência de uma rede de canais alimentadores, que implica em sistematização parcial do terreno e recortes da lavoura de cana, quando a implantação não é realizada na época da reforma do canavial.

O sistema autopropelido com carretel enrolador é o mais difundido atualmente nas usinas e destilarias, sendo o mesmo introduzido com o objetivo de substituir a extensão da montagem direta de aspersão.

A vantagem principal do sistema é ser semi-mecanizado e portanto, requer menos mão-de-obra que a montagem direta (transporte e manuseio das extensões). Por outro lado, o autopropelido exige maior potência da motobomba e, conseqüentemente, consome mais combustível.

Na tabela 3 encontra-se um resumo do percentual médio de cada sistema de aplicação de vinhaça nas lavouras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo.

Forma de Aplicação	**Participação (%)**
Caminhão-Tanque Convencional	4
Aspersão (canal + montagem direta)	7
Aspersão (canal + rolão)	53
Aspersão (caminhão + rolão)	36

Como evolução dos sistemas de aplicação de vinhaça pode-se considerar a utilização de sistemas do tipo Pivô central bem como a aplicação por meio de gotejamento sub-superficial.

A aplicação pelo sistema Pivô central beneficia a qualidade da fertirrigação, visto que o sistema proporciona uma uniformidade de distribuição superior quando comparada aos sistema montagem direta e autopropelido. Entretanto o sistema apresenta custos de implantação superiores, principalmente se considerarmos que para a fertirrigação serão necessários a utilização de equipamentos que resistam ao efeito corrosivo da vinhaça, sendo necessários estudos de viabilidade técnica e econômica da aplicação da vinhaça por este sistema. Quando se tratar da utilização do sistema apenas para fertirrigação deverão ser utilizados sistemas do tipo Pivô rebocável, pois não será viável a utilização de um sistema fixo para aplicação das pequenas lâminas correspondentes a fertirrigação.

Outra evolução nas técnicas de aplicação de vinhaça é a utilização de sistemas de gotejamento sub-superficial. Experimentos conduzidos pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) mostram que é viável tecnicamente a aplicação da vinhaça por gotejamento. Entretanto, devido ao elevado custo somado ao fato do mesmo ser fixo, torna o mesmo economicamente viável somente nas condições em que a irrigação por gotejamento na cana-de-açúcar apresentar viabilidade econômica, e a aplicação da vinhaça pelo sistema vier agregar valor ao mesmo.

Uma alternativa que requer estudos é a aplicação da vinhaça por sistemas de gotejamento móveis, analisando a viabilidade técnica e econômica da aplicação.

VINHAÇA - FERTIRRIGAÇÃO

Ferreira & Monteiro (1987) realizaram uma extensa revisão bibliográfica sobre os efeitos da vinhaça nas propriedades do solo. Os autores afirmam que a adição da vinhaça “in natura” aos solos é uma boa opção para o aproveitamento deste subproduto, por ser um excelente fertilizante e proporcionar inúmeros benefícios nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Os autores concluem que as vantagens decorrentes da utilização da vinhaça são a elevação do pH, aumento da Capacidade de Troca Catiônica, aumento da disponibilidade de certos nutrientes, melhoria da estruturação do solo (formação de estruturas mais estáveis pela adição de matéria orgânica), aumento na retenção de água e no desenvolvimento da microflora e microfauna do solo.

A vinhaça, além de fornecer água e nutrientes, pode ser considerada como recuperadora da fertilidade do solo, inclusive em profundidade. Em relação a este tópico e em revisão bibliográfica feita sobre o desenvolvimento radicular de culturas no mundo, Kofler (1986) salientou que a profundidade explorada pelo sistema radicular da cana em alguns países do mundo atinge 160 cm de profundidade, enquanto que no Brasil a profundidade média constatada é de 60 cm. Segundo este autor a menor profundidade de enraizamento da cultura de cana no Brasil é devido a baixa fertilidade do solo. Por conter ânions específicos como o sulfato e não específicos como o Cl^-, ao se translocar no solo reagem com a superfície de troca e introduz também nutrientes em profundidade como o Ca^{++}, Mg^{++} e K^+, enriquecendo os solos (Orlando Filho et al., 1994 e 1996; Camargo et al., 1983; Penatti e Forti, 1997).

A aplicação de vinhaça na lavoura de cana-de-açúcar, como fertirrigação, é prática adotada por todas as usinas, com tecnologia conhecida e bem definida. Existem inúmeros experimentos que comprovam os resultados positivos obtidos na produtividade agrícola (t de cana/ha), associados ou não à economia na aquisição dos adubos minerais (Robaina et al., 1983; Penatti & Forti, 1988; Penatti & Forti, 1997).

A vinhaça adicionada ao solo, dependendo da dose utilizada e da concentração de potássio presente, necessita uma complementação nitrogenada no cultivo das soqueiras. Inúmeros são os trabalhos que mostram o efeito positivo desta operação (Robaiana et al., 1983; Penatti & Forti, 1988; Penatti & Forti ,1994; Penatti & Forti, 1997).

Existem diversos trabalhos que mostram os efeitos da vinhaça no solo e meio ambiente.

Em relação a salinização do solo, Ferreira (1980) avaliou em laboratório doses de vinhaça (0, 200, 400, 800, 1200 e 1600 m^3/ha) aplicadas em três solos: Aluvial (51% de argila), Podzólico Vermelho Amarelo (38% de argila) e Hidromórfico (5,5% de argila). Baseou-se no índice de salinização apregoado pelo USDA (1951), ou seja, 4,0 mmhos/cm a 25°C. O solo Hidromórfico atingiu o índice com doses entre 400 e 800 m^3/ha de vinhaça, o Podzólico necessitou de 1200 m^3/ha para atingir o índice salino e o solo Aluvial, devido ao maior

teor de argila, não atingiu o índice com nenhuma das doses. Com isto, o autor concluiu que a aplicação da vinhaça deve ser realizada considerando-se o teor de sais contido na mesma e as características do solo.
Quanto a absorção dos elementos pela planta, a dose adequada de vinhaça aplicada deve apenas suprir as necessidades nutricionais das plantas, sem prejudicar as suas qualidades tecnológicas. Além disso, os elementos que não são absorvidos pelas plantas, quando não adsorvidos pelos solos, podem ser lixiviados. Portanto, a lixiviação dos elementos pode ser enfocada sob dois aspectos: um econômico que representa desperdício de adubo e outro ambiental que considera os riscos de poluição que essas perdas representam.

De acordo com os trabalhos obtidos da literatura, existem várias formas de poluição das águas, como macro e microelementos minerais, elementos pesados e elementos orgânicos. No caso da vinhaça resultados de análises químicas mostram que os elementos pesados existem, mas em baixos teores (Tabela 1), e não representam perigo para o meio ambiente. Os macro e microelementos minerais de maior concentração nos lixiviados são o K^+, Ca^{2+}, SO_4^{2-} e Cl^- respectivamente.

Avaliando os riscos no solo pelos metais presentes na vinhaça, Camargo et al. (1987), aplicando as doses de vinhaça de 100 e 1000 m^3/ha em Latossolo Vermelho Escuro, textura argilosa, distrófico (LVE-2), observaram que: as doses de vinhaça (durante cinco anos) não alteraram significativamente as quantidades de NO^-_3, NH^+_4 e fósforo solúvel, nem os teores de zinco, cobre, ferro e manganês solúveis, nem provocou sua movimentação, não apresentando, portanto, perigo por efeitos fitotóxicos; alterou, porém, o teor de enxofre (SO^{2-}_4) e provocou sua lixiviação no perfil do solo até 80 cm de profundidade.

Cruz et al. (1990) estudaram a influência no solo e água subterrânea da aplicação de 300 m^3/ha de vinhaça/ano. O experimento teve períodos de 0, 5, 10 e 15 anos. Os solos foram amostrados nas profundidades de 25, 75 e 150 cm. Os resultados permitiram concluir que: a matéria orgânica adicionada pela vinhaça sofreu rápida mineralização, liberando nutrientes; a aplicação de vinhaça promoveu aumento na concentração da matéria orgânica apenas na superfície do solo; a fertilidade do solo foi mantida após vários anos; o cálcio, enxofre e nitrogênio no solo aumentaram com a adição de vinhaça nas 3 profundidades e, o fósforo aumentou apenas na superfície; o nitrogênio lixiviado na forma de nitrato aumentou na superfície do solo e na água subterrânea, devido a adição de vinhaça; embora houvesse lixiviação de nutrientes promovidos pela vinhaça, as amostras da superfície e da água apresentaram teores de nitrato abaixo da máxima recomendada para o uso humano, não sendo prejudicial a saúde.

Gloeden et al. (1990) avaliaram a influência das doses de 150 e 300 m^3/ha de vinhaça nos aqüíferos de Botucatu. As conclusões foram: pode haver risco de contaminação da água subterrânea pelo cloreto, carbono orgânico, amônia e nitrogênio orgânico com a aplicação da vinhaça; as alterações na concentração de potássio na água subterrânea é remota e houve retenção deste na zona insaturada do solo, sempre em solos com baixa capacidade de troca catiônica (CTC), como deste estudo; o potássio restante foi absorvido pela cana, reduzindo a probabilidade de contaminação da água, como observado para o cloreto; o nitrogênio pode se transformar em nitrato e ser tóxico; no monitoramento dos elementos lixiviados devem ser incluídos o enxofre, cálcio, sódio e outros.

Em relação a nutrição mineral da cana-de-açúcar, os trabalhos são numerosos. Penatti & Forti (1997), Stupiello et al. (1977), Rodella & Ferrari (1977), Copersucar (1978 e 1980) e Peixoto & Coelho (1981) concordam que doses elevadas de vinhaça, acima de 400 m^3/ha, são prejudiciais à cana, ocasionando redução da produtividade, da qualidade, do brix e da pol % cana, provocando também o retardamento da maturação, devido ao prolongamento do período vegetativo, provavelmente favorecido pela abundância dos elementos nutritivos disponíveis. As doses máximas variam de um autor para outro.
solos.

De modo geral, pode-se afirmar que a vinhaça não provoca efeitos negativos no solo, exceto com aplicações de doses irracionais, que pode conduzir a uma salinização do solo, impedindo o desenvolvimento das plantas.

Vale destacar também que a vinhaça é considerada um fertilizante orgânico, sendo liberada também para a produção de açúcar orgânico, que é produzido sem aplicação de resíduos químicos (herbicidas, inseticidas e adubos minerais), desde que sejam tomados certos cuidados em relação a dose aplicada, tipos de solo e nascentes.

Bibliografia Citada

ALMEIDA, J.R.; RANZANI, G.; VALSECHI, O. La vinasse dans 1' Agriculture. **In: VIII Congresso Internacional das Indústrias agrícolas**, Bruxelas, p.13-21. 1950.

ALMEIDA, F.P. de. Interferência dos fungos na adubação do solo pela vinhaça. **Instituto Zimotécnico, ESALQ/USP**, Piracicaba, (5):1-9. 1953.

ASGHAR, M. & KANEHIRO, y. Effects of incorporating sugarcane trasch on soil and plant characteristics. **In: Proceeding International Seminar and Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture**, Tokyo, 1977. p.714.

BEAR, F.E. Chemistry of the soils. Reinhold Pub1., New York. 1957.

BRANSON, R.L. Quality of Municipal Wastewaters in Relation to their Potencial for Reuse as Irrigation Water. National Workshop on Utilization of wastes on land: Emfrasis on Municipal Sewage, August 12-14, 1980. Anaheim, Ca. 10p.

CALDAS, H.E. Os fenômenos microbiológicos nos solos tratados com calda de destilaria. Ministério da Agricultura - C.N.E.P.A. - S.N.P.A. **Instituto Agronômico do Nordeste**, Recife, Pernambuco. 1960.

CAMARGO, O.A. de.; VALADARES, J.M.A.S. DA.; BERTON, R.S.; SOBRINHO T.J. Aplicação de vinhaça no solo e efeito no teor de nitrogênio, fósforo e enxofre inorgânicos e no de alguns metais pesados. **Boletim Técnico IAC.** Instituto de Agronomia de Campinas, Campinas, SP, (8), 15p. 1987.

CAMARGO, O.A. de.; VALADARES, J.M.A.S. DA.; GERALDI, R.N. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. **Boletim Técnico IAC.** Instituto de Agronomia de Campinas, Campinas, SP, (76), 30p. 1983.

CAMARGO, R. O desenvolvimento da flora microbiana nos solos tratados com vinhaça. **Instituto Zimotécnico da ESALQ/USP**, Piracicaba. 1954. Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo.

COLETTI, J.T.; DEMATTÊ, J.L.I.; GASPARINI, C. T.; LORENZETTI, J.M. Efeito da aplicação de vinhaça nas propriedades dos solos da Usina São José - Macatuba (SP). In: **Congresso Nacional da Sociedade de Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, vol.13, nº. 2, Rio de Janeiro, **STAB**, p.153-164. 1981.

COPERSUCAR - Aplicação da vinhaça na soqueira de cana-de-açúcar em três anos consecutivos. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, (12): 2-5. 1980.

COPERSUCAR - Efeitos da aplicação de vinhaça como fertilizante em cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, (7): 14-19. 1978.

CRUZ, R.L.; RIGHETTO, A.M.; NOGUEIRA, M.A. Experimental investigation of soil and groundwater impacts caused by vinasse disposal. In: **International Seminar of Pollution, Protection and Control of Ground Water**, Porto Alegre, RS, Brazil, p.66-74. 1990

CUNHA, A. R.C., et al. Effect of irrigation with vinasse and the dynamic of its constituints in the soil. I: Physical and chemical aspects. In use of soil treatment and final disposal of effluent and sludge. 13-15 August 1986. Salvador, Bahia, Brasil. Ed. P.R.C. Oliveira & S.A.S. Almeida.

ELIAS NETO, A & NAKAHODO, T. Caracterização físico-química da vinhaça- projeto nº 9500278. Relatório Técnico da Seção de Tecnologia de Tratamento de Águas do Centro de Tecnologia Copersucar, Piracicaba, 1995. 26p.

FERREIRA, W.A. Efeito da vinhaça em solos de diferentes texturas. Piracicaba, 1980. 67p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo.

FERREIRA, E.S. da & MONTEIRO, A.O. de. Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, (36):3-7. 1987.

GLODEDEN, E.; CUNHA, R.C.A.; FRACCAROLI, M.J.B.; CLEARY, R.W. The behavior of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. In: **International Seminar of Pollution, Protection and Control of Ground Water**, Porto Alegre, RS, Brazil, p.225-235. 1990

GLÓRIA, N.A. da. & ORLANDO FILHO, J. Aplicação da vinhaça como fertilizante. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, 5 (1): 1-38, Jan. 1983.

GUAZZELLI, M.A.N. & PAES, L.A.D. Utilização da vinhaça: Alternativa e viabilidade técnico-econômica. Relatório Interno Copersucar (RT834), Copersucar, Piracicaba-SP, 1998. 19p.

HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero de Bauru.** (s.l.): Dissertação de Mestrado IG/USP, 1989.

LEAL, J.R. et al. Potencial redox e pH: Variação em um solo tratado com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, 7 (3): 257-63, 1983.

LEAL, J.R.; NUNES, M.R.; VELLOSO, A.C.X. Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes do solo. II: Fosfatos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 17 (2): 177-81, 1982

LEME, E.J.A., ROSENFELD, U.; BAPTISTELA, J.R. Uso da vinhaça por aspersão com canhão hidráulico. **In: Simpósio Internacional sobre Tecnologia dos Alcoois como Combustível**, 4, Guarujá. **Anais**. São Paulo, IPT. VZ, p. 815-21. 1980.

LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. ANDA/POTAFOS, São Paulo. 1989.

MATIAZZO, M.E. & GLÓRIA, M.A. da. Efeito da vinhaça na acidez do solo. **STAB**, Piracicaba, SP, 4 (2): 35-40, 1985.

ORLANDO FILHO, J. & LEME, E.J. de A. Utilização agrícola dos resíduos da agroindústria canavieira. In: **Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira**, Brasília, DF, **Anais**, p.451-475. 1984.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C. de.; ALVES, M.C. Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio. In: **Congresso Nacional da Sociedade de Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, vol.13, nº. 6, Rio de Janeiro, **STAB**, p14-17. 1995.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JR., E.; AGUJARO, R. & ROSSETTO, A.J. Efeito da aplicação prolongada da vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana-de-açúcar. Estudo Exploratório, **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, 1(6): 28-33, jul-ago. 1983.

PEIXOTO, M.J.C. & COELHO, M.B. Aplicação de vinhaça diluída em cana-de-açúcar por sistema de aspersão. **Congresso Nacional da Sociedade de Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, 2., Rio de Janeiro, Ago. 16-21, 1981. **Anais**. Rio de Janeiro, **STAB**, p177-94. 1981.

PENATTI, C.P. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca durante quatro safras. Relatório Interno Copersucar, Usina São Luiz S.A., solo argiloso (LR-2). 1999a.

PENATTI, C.P. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca durante quatro safras. Relatório Interno Copersucar (RT928), Usina São José da Estiva, solo arenoso (LVA-9). 1999b.

PENATTI, C.P. Avaliação nutricional em cana colhida sem a queima da palha. Relatório Interno Copersucar-RT974. Copersucar, Piracicaba-SP, 1999c. 36p.

PENATTI, C.P. & FORTI, J.A. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca. In: **VII Seminário de Tecnologia Agronômica**. Piracicaba, 1997. **Anais**, Copersucar, nov, p. 328-39. 1997.

PENATTI, C.P.; CAMBRIA, S.; BONI, P.S.; ARRUDA, F.C. DE O.; MANOEL, L.A. Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo (44):32-38. 1988.

PRIMAVESI, O.; KORNDÖRFER, G.H.; DEUBER, R. Extração de minerais por colmos de cinco variedades de cana-de-açúcar em três solos. Anais da XX Reunião Brasileira de Fertilidade de Solo e Nutrição de Plantas. Piracicaba, São Paulo. 1992.

RANZANI, G. Conseqüências da aplicação do restilo ao solo. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, 12: 58-68. 1955/56.

RODELLA, A.A. & FERRARI, S.E. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, 90 (1): 6-13, 1977.

RODELLA, A.A.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Effects of vinasse added to soil on pH and exchangeable aluminium content. **In: XVIII Proceedings of Congress of International Society of Sugar Cane Technologists**, La Habana, v.1, t.1, p.189-214. 1983.

ROSENFELD, V.; BAPTISTELLA, J.A.; LEME, E.J.A. Aplicação de vinhaça por aspersão em Latossolo Roxo. In: **Congresso Nacional da Sociedade de Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, 2., Rio de Janeiro 1980. **Anais**, Rio de Janeiro, STAB, 235-248. 1981.

SANTANA, S.S. Economicidade da aplicação de vinhaça em comparação a adubação mineral. **Álcool e Açúcar**, São Paulo, 5 (23): 26-38, 1984.

SILVA, G.M. de A. Efeitos da aplicação de vinhaça no estado nutricional, produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar 9Saccharum spp) em dois tipos de solo. Piracicaba, **ESALQ/USP**, 1982, 121p. Dissertação (mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo.

SHAVARBI, M.Y. Soil Chemistry, Chapman e Hall Ltda. London. 1952.

STUPIELLO, J.P.; PEXE, C.A.; MONTEIRO, H. & SILVA, L.H. Efeitos da aplicação da vinhaça como fertilizante na qualidade da cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro,** Rio de Janeiro, 90 (3): 41-50, 1977.

VELLOSO, A.C.; NUNES, M.R. & LEAL, J. R. Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes no solo. I: Nitrato de Amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 17 (1): 51-57, 1982.

PRODUCCIÓN DE ETANOL CARBURANTE A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA

Montserrat Orencio Trejo, Gerardo Huerta Beristain, Guillermo Gosset Lagarda, Alfredo Martínez Jiménez

Departamento de Ingeniería Celular y Biocatálisis. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México.
A.P. 510-3. Cuernavaca, Mor., 62250 México. Tel: (52-777) 3291601. Fax: (52-777) 3172388.
alfredo@ibt.unam.mx http://pbr322.ibt.unam.mx/~alfredo/

Resumen

En este trabajo se discute el estado del arte en la producción de etanol carburante a partir de bagazo de caña usando cepas de *Escherichia coli* modificadas por técnicas de ingeniería de vías metabólicas. Se realiza una descripción breve de los tratamientos más utilizados para hidrolizar la fracción hemicelulósica de los residuos y se presentan algunos métodos usados para la detoxificación de jarabes de hemicelulosa, ricos en pentosas. El principal enfoque de este reporte es en las estrategias y estudios que se han realizado para generar cepas de bacterias productoras de etanol a partir de hexosas y pentosas.

Palabras cable: Etanol carburante, Bagazo de caña, Ingeniería Metabólica, Pentosas.

Abstract

In this work the state-of-the-art in the field of fuel ethanol production from sugar cane bagasse is discussed. Main focus is in the metabolic engineering of *Escherichia coli* strains to convert into ethanol pentose and hexose sugars that arise from the hydrolysis of the hemicellulosic fraction of sugar cane bagasse. A brief description of the hydrolytic treatments used to depolymerize the hemicellulosic fraction of sugar cane bagasse is presented, as well as some methods used for the detoxification of pentose rich syrups.

Key words: Fuel ethanol, Sugar cane bagasse, Metabolic engineering, Pentoses.

Introducción y Antecedentes

La importancia de los residuos agroindustriales

La necesidad de diversificar las fuentes de energía a futuro, que además sean sustentables y más amigables con el medio ambiente, plantea la necesidad de desarrollar microorganismos capaces de metabolizar una amplia variedad de azúcares y convertirlos eficientemente en productos de interés. En lo que se refiere a los combustibles, existen varias alternativas para obtenerlos mediante tecnologías renovables. Desde el punto de vista biotecnológico, una de las opciones con mayor viabilidad para sustituir o complementar a la gasolina es el etanol carburante (Ingram y otros, 1999). Este compuesto puede ser producido mediante tecnologías biológicas sustentables, originando un ciclo artificial del CO_2, y evitando su incremento neto en la atmósfera. Por otro lado, no es tóxico ni cancerígeno, es fácil de almacenar y transportar (Greene y otros, 2004).

Una alternativa factible económicamente para la producción de etanol mediante procesos biológicos, es la utilización de residuos lignocelulósicos como los desechos agroindustriales. Estos residuos son abundantes, contaminan de cierta manera y tienen un uso marginal en el planeta (Martinez y otros, 2002). Los materiales lignocelulósicos constituyen aproximadamente el 90% del peso seco de las plantas, y representan la fuente de energía más abundante en el planeta (Jarboe y otros, 2007). Un ejemplo es el bagazo de caña, el cual es generado en varios países de latinoamérica y en algunos casos es un problema de contaminación. Este residuo contiene azúcares polimerizados en sus dos fracciones más abundantes: la hemicelulosa y la celulosa, las cuales representan del 30-40 y el 30-50% respectivamente de su peso seco (Ingram y otros, 1999). Específicamente, la fracción de la hemicelulosa contiene, además de glucosa y manosa, 85% de pentosas, principalmente xilosa y un pequeño porcentaje de arabinosa (Martinez y otros, 2000); (Martinez y otros, 2001).

Microorganismos productores de etanol y la necesidad de la ingeniería de vías metabólicas

Desafortunadamente, los microorganismos naturalmente productores de etanol, como *Saccharomyces cerevisiae* y *Zymomonas mobilis* no metabolizan azúcares de cinco carbonos (Ingram y otros, 1998); (Bothast y otros, 1999); (Ingram y otros, 1999), por lo que no es posible utilizarlos en la producción de etanol a partir de xilosa o arabinosa. En contraste, *E. coli* es capaz de metabolizar las hexosas (como glucosa, manosa, fructosa, etc), las pentosas (xilosa, arabinosa, ribosa, etc.), así como mezclas de éstas, presentes en los residuos agroindustriales. No obstante, produce etanol en bajas cantidades.

Actualmente, gracias a las herramientas de la biotecnología moderna, es posible modificar, modular y diseñar vías metabólicas en una amplia variedad de microorganismos. Particularmente mediante la ingeniería de vías metabólicas, la cual se define como la modificación y/o introducción de nuevas reacciones bioquímicas para el mejoramiento directo de propiedades celulares mediante tecnología de ADN recombinante (Stephanopoulos y otros, 1998); (Stephanopoulos, 1999), es posible obtener microorganismos etanologénicos capaces de metabolizar diversos azúcares que naturalmente no metabolizaban, o bien convertir microorganismos no productores en productores de etanol (Aristidou y Penttilä, 2000).

En años relativamente recientes se han generado cepas de *Z. mobilis* y de *S. cerevisiae* capaces de utilizar xilosa. En el caso de *Z. mobilis*, se han integrado en cromosoma 4 genes de *E. coli* involucrados en la isomerización y fosforilación de la xilosa, así como en su incorporación a la vía de las pentosas. Dicha estrategia dio como resultado una bacteria capaz de transportar y metabolizar xilosa en etanol, con rendimientos relativamente altos. Sin embargo, la velocidad de síntesis de etanol es al menos 10 veces menor comparada con la mostrada a partir de glucosa (Zhang y otros, 1995). Adicionalmente, se han desarrollado bacterias de *Z. mobilis* que fermentan arabinosa (Deanda y otros, 1996). Por otro lado, las cepas modificadas de *S. cerevisiae* producen etanol a partir de xilosa con velocidades y rendimientos de conversión bajos, además de requerir glucosa y aireación (Ho y otros, 1998); (Bothast y otros, 1999); (Aristidou y Penttilä, 2000). Así mismo, se han construido varias cepas etanologénicas de *E. coli*, cuyos esfuerzos han estado dirigidos a la obtención de cepas altamente eficientes en la producción de etanol a partir de residuos lignocelulósicos.

De acuerdo a lo anterior, es necesario generar conocimiento acerca de la regulación genética, bioquímica y de la fisiología del metabolismo celular. De tal forma que esta información nos permita conocer qué controla la tasa de consumo de sustratos y la distribución de flujos metabólicos (Fraenkel, 1992); (Emmerling y otros, 1999); (Al Zaid Siddiquee y otros, 2004). Sin embargo, el metabolismo consiste de una multitud de vías interrelacionadas, conectadas por metabolitos de una vía común y por cofactores que interactúan a varios niveles de regulación genética y metabólica (Al Zaid Siddiquee y otros, 2004), por lo que este tipo de estudios son complejos. Afortunadamente, la biología molecular ha logrado separar sistemas

celulares complejos en pequeñas partes, las cuales pueden ser estudiadas y mejor comprendidas en modelos segregados.

Numerosos estudios han explorado los efectos de alterar niveles de enzimas individuales o flujos enteros de una vía metabólica específica, cualquiera de las dos ha sido una manera de estudiar como se lleva a cabo el control metabólico, lo que además abre la posibilidad de generar organismos con características metabólicas específicamente alteradas (Fraenkel, 1992). No obstante, estos cambios en la fisiología celular pueden afectar el metabolismo, muchos de los ajustes metabólicos son acompañados por cambios en la concentración de metabolitos y en las actividades enzimáticas, así como en la distribución de flujos metabólicos (Tao y otros, 2001). Se ha observado que algunas inactivaciones o mutaciones en el metabolismo central impiden al microorganismo crecer en algunas fuentes de carbono. Sin embargo, muchas de estas alteraciones pueden potencialmente ser compensadas por otras enzimas o por la redirección de flujos del carbono en rutas alternativas (Al Zaid Siddiquee y otros, 2004); (Saier y otros, 1996).

Así mismo, el perfil de expresión genética es una herramienta utilizada para comparar cambios globales en la expresión de genes, que ocurren como respuesta a estímulos ambientales, o para comparar los efectos de cambios genéticos sobre la expresión de genes. Este análisis provee información importante acerca del estado fisiológico y tiene el potencial de identificar conexiones entre rutas regulatorias o metabólicas (Kabir y otros, 2003). Sin embargo, el estado fisiológico está determinado a nivel de proteína, por lo que el estudio de la expresión del mRNA debe ser complementado con las mediciones de las actividades enzimáticas para dar un mejor entendimiento de los fenómenos observados. Es necesario considerar que las regulaciones enzimáticas y transcripcionales son diferentes. La técnica semi-cuantitativa RT-PCR refleja la abundancia relativa del transcrito, la cuál está influenciada tanto por la actividad transcripcional, como por la estabilidad del RNAm (Kabir y otros, 2003). En contraste, la actividad de las enzimas puede ser regulada por uniones reversibles, efectores, modificaciones covalentes y alteraciones de la concentración de enzimas. Sin embargo, en gran parte, los niveles de expresión del RNAm reflejan la actividad enzimática. (Martin, 1987). La técnica de RT-PCR ofrece numerosas ventajas respecto a otras técnicas. La cantidad necesaria de RNAm para llevar a cabo la cuantificación es menor, es una técnica reproducible, es posible analizar múltiples RNAm´s al mismo tiempo, además de ser relativamente rápida (Kabir y otros, 2003).

Cepas etanologénicas a partir de Escherichia coli

Como ya se mencionó anteriormente, por técnicas de ingeniería de vías metabólicas, se han construido cepas etanologénicas recombinantes de *E. coli* mediante la introducción de vías heterólogas para producir etanol. Entre las estrategias que se han utilizado están: la integración a cromosoma de los genes que codifican para la piruvato descarboxilasa (*pdc*) y alcohol deshidrogenasa (*adh*) de *Zymomonas mobilis* (Ohta y otros, 1991); (Hespell y otros, 1996); la interrupción de vías que compiten con el piruvato por la producción de etanol (Ingram y otros, 1998); (Ingram y otros, 1999); la construcción de cepas que eliminen el fenómeno de represión catabólica y puedan metabolizar pentosas y hexosas simultáneamente (Nichols y otros, 2001); (Lindsay y otros, 2003); (Dien y otros, 1999); así como cepas que producen etanol por la vía homóloga con rendimientos mayores a las cepas progenitoras (Kim y otros, 2007).

Una de las cepas más exitosas, utilizada a nivel demostrativo para producir etanol a partir de hidrolizados de residuos agroindustriales es la cepa KO11 (Ohta y otros, 1991); (Lindsay y otros, 2003). Esta cepa derivada de *E. coli* C (Jarboe y otros, 2007), tiene integrado en cromosoma los genes *pdc* y *adh* de *Z. mobilis* bajo el control del promotor de la piruvato formato-liasa (*pfl*) (Ohta y otros, 1991); (Ingram y otros, 1999). En *E. coli*, el gene *pfl* es transcrito por 7 promotores, los cuales son coordinadamente inducidos de 12 a 15 veces en condiciones anaeróbicas, siendo indispensable la intervención de las proteínas reguladoras

FNR y ARCA (Sawers y Böck, 1988); (Sawers y Böck, 1989); (Sawers y Suppmann, 1992). PFL es una enzima homodimérica, que cataliza la conversión del piruvato en formato y acetil CoA, éste último, indispensable para el crecimiento en condiciones anaerobias (Sawers y Böck, 1988).

En la cepa KO11, la vía heteróloga para la producción de etanol fue integrada en el cromosoma por recombinación homóloga doble, reestableciendo la actividad de PFL. Con esta cepa creciendo en medio rico, se obtienen rendimientos de conversión de una amplia variedad de azúcares en etanol cercanos al teórico (ligeramente mayores al 90%) incluyendo glucosa, manosa, xilosa, arabinosa, o mezclas de los mismos (Nichols y otros, 2001); (Lindsay y otros, 2003). Sin embargo, cuando se utilizan medios mínimos o hidrolizados de residuos agroindustriales, el rendimiento de etanol de la cepa KO11 decae a niveles del 70% respecto al teórico máximo.

Por otra parte, al utilizar glucosa o xilosa como fuente de carbono, se incrementa en un 40 y 50% la velocidad específica de crecimiento y el flujo glucolítico, respectivamente en comparación con la cepa progenitora (Tao y otros, 2001). Este fenómeno se repite en diferente grado con otras cepas etanologénicas de *E. coli* (Huerta-Beristain y otros, 2008).

Por otro lado, mediante estudios de micro-arreglos genéticos con la cepa KO11, se ha reportado que durante la fermentación de glucosa o xilosa, se inducen en común la sobreexpresión de 6 genes involucrados en la vía glucolítica (*pfkA, fbaA, tpiA, gapA, pgk* y *pykF*), así como los genes *xylA* y *xylB,* involucrados en el metabolismo de la xilosa (Tao y otros, 2001); (Gonzalez y otros, 2002). En estos estudios también se demostró que las actividades enzimáticas de XYLA y XYLB se incrementan alrededor de 2.5 veces en la cepa KO11 con respecto a la cepa *E. coli* B (Tao y otros, 2001). Esto permite relacionar un incremento en la expresión de genes con la actividad enzimática.

Se ha demostrado que utilizando células en reposo (células en las cuales se ha arrestado el crecimiento, denominadas “resting cells”), la sobreexpresión de la enzima piruvato cinasa, heteróloga de *Bacillus stearothermophilus* (Pyk_{Bs}), en la cepa KO20 de *E. coli* (homóloga de KO11) se logra incrementar en 10% el consumo específico de glucosa y 15% la velocidad específica de producción de etanol. Además, con la sobreexpresión simultánea de fosfofructocinasa homóloga de *E. coli* (Pfk_{Ec}) y Pyk_{Bs}, se logra un incremento del 25% en la velocidad específica de consumo de glucosa, 35% en la velocidad específica de producción de etanol y una disminución en la formación de D-lactato (50%) (Emmerling y otros, 1999); (Emmerling y otros, 2000).

En nuestro laboratorio se transformó la cepa KO11 con el plásmido pLOI1594 (Martinez y otros, 1999), el cual contiene el gene *pdc* de *Zymomonas mobilis,* permitiendo incrementar cerca de 5 veces la actividad de piruvato descarboxilasa utilizando medio mínimo suplementado con glucosa (Huerta-Beristain y otros, 2008). Los valores de la velocidad específica de crecimiento y de consumo de glucosa no cambiaron en la cepa KO11/pLOI1594 respecto a KO11 durante la fase del cultivo en fase exponencial. Sin embargo, la velocidad específica de producción de etanol se incremento en un 24%, reduciéndose la formación de ácidos orgánicos. Adicionalmente, durante la fase estacionaria del cultivo, la velocidad específica de consumo de glucosa y de producción de alcohol se incrementaron en 30% en la cepa KO11/pLOI1594 con respecto a la cepa KO11, así como también se incrementó en un 20% el rendimiento etanol/glucosa. Estos datos sugieren que -en parte- el flujo glucolítico y de formación de etanol no están controlados dentro de la misma glucólisis.

Se ha propuesto que una estrategia para incrementar la velocidad de la glucólisis consiste en el recambio de ATP, canalizando el flujo a través de la vía que conlleva a su generación (Cornish-Bowden y otros, 1995). A su vez, Smits y colaboradores (2000) reportaron que el flux de la glucólisis en *S. cerevisiae*

se incrementa cuando hay una mayor demanda de ATP, o cuando existe una mayor demanda del mismo debido a condiciones de estrés (Taherzadeh y otros, 1997); (Garay-Arroyo y otros, 2004).

Datos reportados en la literatura para *E. coli* en condiciones aerobias, sugieren que el control del flujo de carbono en la vía glucolítica se encuentra fuera de la misma y que ésta se relaciona a la demanda de ATP (Koebman y otros, 2002a); sin embargo, el mismo grupo de trabajo demostró que en *Lactococcus lactis* el flujo glucolítico en condiciones anaerobias no está controlado por la demanda de ATP (Koebman y otros, 2002b).

En conjunto, los datos presentados en los párrafos precedentes sugieren que el flujo glucolítico puede ser incrementado en cepas silvestres de *E. coli;* no se conoce exactamente qué mecanismos están involucrados en este incremento, aunque la reducción de otros productos de fermentación tóxicos para esta bacteria parece ser un factor que permite incrementar el flujo hacia la producción de etanol; los estudios de micro arreglos sugieren que varios pasos enzimáticos controlan el flujo glucolítico en cepas silvestres y/o etanologénicas de *E. coli.* Sin embargo, el control del "flux" glucolítico parece ser que al menos en KO11 no está dentro de la glucólisis (Huerta-Beristain y otros, 2008) y que una mayor actividad de la enzima PDC permite canalizar una mayor porción de piruvato a la formación de etanol e incrementar el flujo glucolítico.

Es importante mencionar, que con el objetivo de obtener mutantes con altos niveles de expresión de los genes heterólogos pdc_{Zm} y adh_{Zm} para así incrementar el rendimiento de etanol, la cepa KO11 fue sometida a presión de selección con elevadas concentraciones de cloramfenicol de hasta de 600 µg/mL (Ohta y otros, 1991). Está reportado que uno de los factores que influyen en la velocidad y tipo de mutaciones que ocurren en poblaciones bacterianas, está determinada por la presión de selección en antibióticos (Martinez y Baquero, 2000). En el caso de la cepa KO11, no se conoce la naturaleza de las mutaciones generadas al ser sometida a estos niveles de presión selectiva, por lo que esta cepa no es un buen modelo para realizar estudios de ciencia básica.

Lo anterior permite considerar la construcción de una nueva cepa etanologénica, que no sea sometida a presión de selección y con un fondo genético conocido. Esta cepa permitiría generar conocimiento básico acerca de los factores que determinan una conversión eficiente de glucosa en etanol.

En este mismo contexto, existen reportes sobre qué sucede al sobreexpresar algunas enzimas del metabolismo central, o bien al inactivar otras. Sin embargo, no existe un estudio completo de regulación metabólica acerca de toda la vía glucolítica y de producción de etanol en condiciones anaerobias en cepas de *E. coli* silvestres y etanologénicas. Esto representaría información detallada de qué pasos pudieran tener un mayor control de la vía glucolítica y de producción de etanol en estas condiciones. Por otro lado es importante para nuestro grupo el generar cepas etanologénicas propias para estudios tanto básicos como de desarrollo tecnológico. Para este fin es necesario analizar distintos linajes de *E. coli*, para posteriormente elegir la mejor candidata en base a la velocidad específica de crecimiento en cultivos no aireados, así como los niveles de síntesis de productos de fermentación. Esta información indicaría cuáles vías competirían por la producción de etanol y las harían blanco de manipulación genética.

Ingeniería de vías metabólicas en Escherichia coli para la producción de etanol a partir de hexosas

En nuestro grupo se construyó una cepa etanologénica modelo para estudiar la regulación metabólica de la glucólisis y metabolismo del piruvato. Para seleccionar un fondo genético, se analizaron distintos linajes de *Escherichia coli*. Esta caracterización permitió elegir una candidata en base a las velocidades específicas de crecimiento, consumo de glucosa y de formación de productos de fermentación.

La nueva cepa etanologénica denominada CCE14, es derivada del linaje seleccionado de *E. coli* C (Orencio-Trejo y otros, 2008). Esta cepa tiene integrado en cromosoma los genes piruvato decarboxilasa (*pdc*) y alcohol deshidrogenasa (*adh*) de *Zymomonas mobilis* y en comparación con cepas construidas anteriormente, CCE14 tiene una alta velocidad de producción de etanol en medio mineral, como resultado de una elevada expresión de los genes heterólogos. Como parte de su caracterización, se realizó un estudio de regulación metabólica basado en la medición de actividades enzimáticas, perfiles de fermentación y el análisis de RT-PCR de las vías relacionadas al metabolismo central de carbono.

El estudio demostró que el flujo glucolítico es controlado por reacciones fuera de la glucólisis, específicamente, por las vías fermentativas. Los cambios en la velocidad de producción de etanol dan como resultado una baja producción de ácidos orgánicos, así como un alto flujo glucolítico y de etanol. Lo anterior concuerda con elevados niveles de transcripción y de actividades enzimáticas de PDC_{Zm} y ADH_{Zm}. Adicionalmente, se obtuvieron rendimientos de etanol del 90% respecto al teórico máximo en medio mineral con glucosa. Este rendimiento es superior al reportado con cepas de *E. coli* previamente construidas, como la KO11 (derivada de *E. coli* W), que presenta rendimientos del 70% respecto al teórico máximo bajo las mismas condiciones.

Los resultados sugieren que las altas velocidades de producción de etanol, causada por los elevados niveles de actividad de PDC_{Zm} y ADH_{Zm}, inducen un estado metabólico que las células compensan a través de un incremento en el transporte de glucosa, la síntesis de ATP y el balance de NAD-NADH+H. Estos resultados muestran que las actividades enzimáticas de la glucólisis, presentes en la cepas *E. coli* W y C bajo condiciones de fermentación, son suficientes para contender con los incrementos en el consumo de glucosa y en las velocidades de formación de productos de fermentación.

Hidrólisis de la hemicelulosa

Existen varios métodos para llevar a cabo la hidrólisis de la fracción hemicelulósica, sin embargo uno de los más estudiados y usado, por su bajo costo y facilidad relativa de implementar, es el proceso termoquímico con ácido sulfúrico diluido. Este tratamiento puede realizarse en procesos lote, con temperaturas que varían de 120-160 ^{o}C, usando de 1 a 6% de ácido sulfúrico y tiempos de reacción de una a dos horas. En el caso de procesos continuos, se utilizan temperaturas de 160-240 ^{o}C, 1 a 2% de ácido sulfúrico y tiempos de reacción de hasta 15 minutos.

Generación de toxinas

Durante el proceso de hidrólisis ácida de esta fracción, se generan compuestos que inhiben el crecimiento de las bacterias y afectan drásticamente la producción de etanol. Entre estos compuestos se encuentran ácidos orgánicos (principalmente acético, fórmico y levulínico), furanos, a decir derivados de hexosas (hidroximetilfurfural) y pentosas (furfural). También están presentes diversos compuestos aromáticos generados de la descomposición de la lignina, como vainilla, hidroxi-benzaldehído, y siringaldehído, así como sus respectivos ácidos y alcoholes, y iones metálicos, estos últimos liberados como resultado de la corrosión del equipo y una amplia variedad de ácidos, aldehídos y alcoholes fenólicos que varían dependiendo del material lignocelulósico que se emplea y de las condiciones del proceso termoquímico.

Para reducir el efecto adverso de estos compuestos en la producción de etanol, se evaluó el efecto de los aldehídos generados durante la elaboración de los hidrolizados ácidos de bagazo de caña sobre el

crecimiento de cepas etanologénicas de *Escherichia coli*. Los resultados obtenidos permitieron concluir que los aldehídos aromáticos son los mas inhibitorios a bajas concentraciones, sin embargo, los furanos derivados de la degradación de los azúcares muestran un fuerte efecto sinérgico de inhibición cuando se encuentra en combinación con otros aldehídos o ácidos (Zaldivar y otros, 1999). De manera análoga se ha evaluado el efecto de los alcoholes generados durante la elaboración de los hidrolizados ácidos de bagazo de caña. En este caso se encontró que los alcoholes aromáticos reducen la producción de etanol mediante la inhibición del crecimiento de *E. coli*. Cuantificando la liberación de Mg intracelular durante los tratamientos con los alcoholes, se encontró que su toxicidad se debe primariamente a un efecto de disrupción de la membrana celular. Así mismo, se ha encontrado que comparando una misma concentración molar de alcoholes aromáticos, aldehídos y ácidos, los alcoholes aromáticos son menos tóxicos para el crecimiento de *E. coli* que sus respectivos aldehídos y ácidos. Un análisis global de estos datos permitió concluir que la toxicidad de estos compuestos es directamente proporcional a la hidrofobicidad de los mismos. Finalmente, las combinaciones de estos compuestos tóxicos generalmente son aditivas. Sin embargo, al combinarse con los furanos el efecto tóxico es sinérgico (Zaldivar y otros, 2000).

Detoxificación

Los resultados obtenidos permitieron detectar a los furanos como compuestos clave en la toxicidad de los hidrolizados ácidos de bagazo de caña. Por esta razón se evaluaron diversos métodos para reducir, de manera sencilla y económica, la presencia de los furanos en los mismos. Entre los métodos evaluados, encontramos que uno de los tratamientos más versátiles es con hidróxido de calcio, a valores de pH entre 10 y 11. Dichos tratamientos son más efectivos a temperaturas de 60 a 70 ^{o}C, que a temperatura ambiente. En condiciones óptimas, los tratamientos con hidróxido de calcio permiten reducir hasta en un 60% el contenido de furanos en los hidrolizados. Sin embargo, la reducción en los compuestos aromáticos es insignificante y los ácidos orgánicos no son destruidos durante el tratamiento. Con los tratamientos a pH 7 y temperatura ambiente el rendimiento de etanol, en base al azúcar total presente en los hidrolizados, es únicamente del 30% a 48 horas de tiempo efectivo de fermentación. En contraparte, con los hidrolizados tratados en condiciones optimas (pH de 10 a 11 y temperatura de 60 ^{o}C) la fermentabilidad de los mismos se incrementa substancialmente y se obtienen rendimientos ligeramente mayores al 90% a las 48 horas de fermentación (Martínez y otros, 2000); (Martínez y otros, 2001).

Conclusiones

Se han construido varias generaciones de cepas etanologénicas derivadas de *Escherichia coli*, las cuales son capaces de metabolizar todos los azúcares (pentosa y hexosas) contenidos en los hidrolizados de hemicelulosa en etanol. El trabajo desarrollado por varios grupos de investigación ha conducido al desarrollo de estrategias de ingeniería de vías metabólicas para obtener variantes de *E. coli* homoetanologénicas, así mismo para incrementar la velocidad específica y volumétrica de producción de etanol. De tal forma que actualmente se cuenta con variantes de *E. coli* que pueden ser utilizadas para la producción de etanol a partir hidrolizados de hemicelulosa, obtenidos de procesos termoquímicos de hidrólisis del bagazo y de tratamientos para detoxificación los jarabes mediante sistemas de alcalinización. Este proyecto está actualmente a prueba a nivel piloto, sin embargo se requiere investigación adicional en el área de hidrólisis enzimática de la fracción de la celulosa.

Referencias

1. Al Zaid Siddiquee, K., Arauzo-Bravo, M.J., Shimizu, K. (2004), Appl Microbiol and Biotech 63, 407-417.
2. Aristidou, A., Penttilä, M. (2000), Current Opinion Biotechnol 11, 187-198.
3. Bothast, RJ., Nichols, NN., Dien, B.S. (1999), Biotechnol Prog 15, 867-875.
4. Cornish-Bowden, A., Hofmeyr, J-HS., Cardenas, M.L. (1995), Bioor Chem 23, 439-449.
5. Deanda, K., Zhang, M., Eddy, C., Picataggio, S. (1996), Appl. Environ Microbiol 62, 4465-4470.
6. Dien, B. S. y Bothast, R. J. (1999), J Ind Microbiol Biotechnol 22, 575-581.
7. Emmerling, M., Bailey, JE., Sauer, U. (1999), Metabol Eng 1, 117-127.
8. Emmerling, M., Bailey, JE., Sauer, U. (2000), Biotechnol Bioeng 67, 623-627.
9. Fraenkel, D.G. (1992), Annu Rev Genet 26, 159-177.4
10. Garay-Arroyo, A., Covarrubias, A.A., Clark, I., Niño, I., Gosset, G., Martinez, A. (2004), Appl Microbiol Biotechnol 63, 734-741.
11. Gonzalez, R., Tao, H., Shanmugam, KT., Cork, SW., Ingram LO. (2002), Biotechnol Prog 18, 6-20.
12. Greene, N. (2004), Growing Energy. How Biofuels Can Help End America´s Oil Dependence. Natural Resources Defense Council.
13. Hespell, R. B., Wyckoff, H., Dien, B. S., y Bothast, R. J. (1996), Appl Environmen Microbiol. 62, 4594-4597.
14. Ho, NWY., Chen, Z., Brainard, AP. (1998), Appl Environ.Microbiol 64, 1852-1859.
15. Huerta-Beristain, G., Utrilla, J., Hernández-Chávez, G., Bolívar, F., Gosset, G., Martinez, A. (2008), J Mol Microbiol Biotechnol 15, 55-64.
16. Ingram, LO., Gomez, P:F:, Lai, X., Moniruzzaman, M., Wood, B.E., Yomano, L.P., York, S. W. (1998), Biotechnol Bioeng 58, 204-214.
17. Ingram, L. O., Aldrich, H. C., Borges, A. C. C., Causey, T. B., Martínez, A., Morales, F., Saleh, A., Underwood, S. A., Yomano, L. P., York, S. W., Zaldivar, J., Zhou, S. (1999), Biotechnol Prog 15, 855-866.
18. Jarboe, LR., Grabar, TB., Yomano, LP., Shanmugan, KT., Ingram, LO. (2007), Adv. Biochem. Engin/Biotechnol 108, 237-261.
19. Kabir, Md., Shimizu, K. (2003), J Biotechnol 105, 11-31.
20. Kim, Y., Ingram, L.O., Shanmugan, K.T. (2007), Appl Environ Microbiol 73, 1766.
21. Koebmann, BJ., Westerhoff, HV., Snoep, JL., Nilsson, D., Jensen, PR. (2002a), J Bacteriol 184 (14), 3909-3916.
22. Koebmann, BJ., Andersen, H., Solem, C., JL., Jensen, PR. (2002b), Antonie van Leeuwenhoek 82, 237-248.
23. Lindsay, S. E., Bothast, R. J., Ingram, L. O. (2003), App Microbiol and Biotechnol 43, 70-75.
24. Martin, BR. (1987), Metabolic Regulation: A Molecular Approach. (Oxford, London, Edinburgh). Boston, Palo Alto, Melbourne, pp. 12-27.
25. Martinez, J.L. and Baquero, F. (2000), Antimiclobial Agents and Chemotherapy. 44, 1771-1777.
26. Martinez, A., York, SW., Yomano, LP., Pineda, VL., Davis, FC., Shelton, JC., Ingram, LO. (1999), Biotechnol Prog 15, 891-897.
27. Martinez, A., Rodriguez M.E. York, S.W., Preston, J.F., Ingram, L.O. (2000), Biotechnol Bioeng 69, 526-536.
28. Martinez, A., Rodriguez M.E., Wells M.L., York, S.W., Preston, J.F., Ingram, L.O. (2001), Biotechnol Progress 17, 287-293.
29. Martínez, A., Bolívar F., Gosset, G. (2002), Revista Universidad de México 617, páginas centrales.
30. Nichols, N. N., Dien, B. S., Bothast, R. J. (2001), Appl Microbiol Biotechnol 56, 120-125.
31. Orencio-Trejo, M., Flores, N., Escalante, A., Hernández-Chávez, G., Bolívar, F., Gosset, G., Martínez, A. (2008), Biotechnol Biofuels 1:8.

32. Ohta, K., Beall, DS., Mejia, JL., Shanmugan, KT., Ingram, LO. (1991a), Appl Environ Microbiol 57, 893-900.
33. Saier MH Jr. (1996), FEMS Microbiol Lett.138, 97-103.
34. Sawers, G and Bock, A. (1988), J Bacteriol 170, 5330-5336.
35. Sawers, G. and Bock, A. (1989), J Bacteriol 171, 2485-2498.
36. Sawers, G., and Suppmann, B. (1992), J Bacteriol 174, 3474-3478.
37. Smits H.P., Hauf, J., Muller, S., Hobley, T.J., Zimmermann, F.K., Hahn-Hagerdal, B., Nielsen, J., Olsson, L. (2000), Yeast 16, 1325-1334.
38. Stephanopoulus, G. N., Aristidou, A. A., Nielsen, J. (1998), Metabolic Engineering Principles and Methodologies. (Academic Press) USA, pp. 1-79.
39. Stephanopoulus, G. (1999), Metabol Eng 1: 1-11.
40. Taherzadeh, M.J., Niklasson, C., Liden, G., (1997), Chem Eng Sci 52, 2653-2959.
41. Tao, H., Gonzalez, R., Martinez, A., Rodriguez, M., Ingram, LO., Preston, JF., Shanmugam, KT. (2001), J Bacteriol 183, 2979-2988.
42. Zaldivar, J., A. Martinez and L.O. Ingram. (1999), Biotechnol Bioeng 65, 24-33.
43. Zaldivar, J., A. Martinez and L.O. Ingram. (2000), Biotechnol Bioeng 68, 524-530.
44. Zhang, M., Eddy, C., Deanda, K., Finkelstein, M., Picataggio, S. (1995), Science 267, 240-243.

ENVEJECIMIENTO DE BRANDY Y VINOS OLOROSOS DE JEREZ

Oliveras Mª Jesús., Villalón Marina., Samaniego Cristina., Blanca Rosa., Quesada Javier., Giménez. Rafael., López Mª Carmen., López. Herminia*

Departamento de Nutrición y Bromatología. Facultad de Farmacia. Campus Universitario de Cartuja s/n. Granada. España.

* herminia@ugr.es

RESUMEN

Se ha pretendido realizar el estudio de bebidas alcohólicas que han sufrido un proceso de envejecimiento, trabajo que ha sido objeto de una patente de investigación. "**Procedimiento para el envejecimiento rápido de bebidas alcohólicas".** Se estudia el Brandy y los vinos olorosos de Jerez, se intenta conocer si existe relación entre sus componentes y el proceso de envejecimiento seguido en la obtención de las mismas, proceso estático tradicional y proceso dinámico o de criaderas y soleras. Se ha abordado un proceso de envejecimiento utilizando virutas de madera de roble intentando emular las condiciones y procesos que la madera sufre en la práctica tonelera. Se utiliza el envejecimiento acelerado como alternativa a la obtención de un vino de características organolépticas semejantes a los sometidos a crianza oxidativa. Los distintos componentes se han determinado por HPLC., se han estudiado los compuestos furánicos, aldehídos fenólicos y los compuestos polifenólicos. Los resultados indican, que en los macerados de virutas y en brandies sin adición de caramelo la relación Furfural / Hidroxi MetilFurfural es mayor a la unidad. De los resultados obtenidos en los aldehidos aromáticos (syringaldehido y vainillina), estos están condicionados también por el tratamiento térmico al que se somete la madera, las virutas de madera tratadas a temperaturas elevadas proporcionan "brandies" con alto contenido en Syringaldehído, baja concentración en acido gálico y una relación syringaldehido /vainillina mayor a la unidad, tampoco pueden considerarse marcadores de envejecimiento. Indicar que los macerados elaborados con virutas tostadas a 180º durante tres horas y agotadas posteriormente con mezcla hidroalcohólica al 60% (v/v) son los que tienen una composición polifenólica más parecida a los vinos olorosos comerciales.

Palabras Clave: Brandy, Vino, Envejecimiento. Sherry , Wine, Ageing process.

INTRODUCCION

Después de la destilación numerosas bebidas se someten a un proceso de envejecimiento, entre ellas se encuentra el Brandy.

Brandy de Jerez

El Brandy de Jerez es elaborado mediante el envejecimiento en barrica de Aguardientes y destilados de vino. Los aguardientes de vino aptos para la elaboración del "Brandy de Jerez" deberán obtenerse exclusivamente por destilación de vinos sanos y conservar las características organolépticas y componentes volátiles propios del vino del que proceden. Decreto 2484(1974)

La destilación se realiza en alambiques o alquitaras, que son básicamente de dos tipos: de vapor o de fuego directo. En la práctica, se denominan alquitaras a los de fuego directo y alambiques a los de vapor, que son los utilizados para obtener el aguardiente de vino que más tarde se transformará en brandy.

En general, el proceso de destilación consiste en calentar, por cualquier procedimiento en un recipiente adecuado, un líquido (el vino que se quiere destilar) hasta que sus componentes más volátiles pasen a la fase vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en estado líquido por medio de la condensación. El vino de partida es, básicamente, una mezcla de etanol y agua, por lo que la destilación tendrá como resultado el enriquecimiento de la mezcla en el componente más volátil, es decir, el etanol.
Constituye la bebida espirituosa de mayor producción y exportación de España. Su calidad juega un papel importante en la aceptación de la que está siendo objeto, pero al mismo tiempo es la causa de que se encuentre con algunos problemas, sobre todo en mercados internacionales, que exigen una cierta normalización de los productos, como criterio de calidad y adecuada elaboración.

Dado que el *Brandy de Jerez* tiene que competir en los mercados con productos de características similares, como son los brandies de otras zonas, los cognacs, armagnacs, whiskies, etc., es necesario caracterizarlo analíticamente, para así contar con parámetros objetivos que sirvan para defender su tipicidad en las comisiones internacionales reguladoras de las bebidas espirituosas.

La composición del *Brandy de Jerez* va a venir dada por su forma de elaboración y especialmente por su sistema de envejecimiento dinámico, por soleras y criaderas, así como por las prácticas de adición de extractos y caramelo autorizados. Por tanto, son múltiples los parámetros que pueden participar en la caracterización y tipificación de los *Brandies de Jerez*. Martinez (2006)

El envejecimiento del Brandy de Jerez se realiza en barricas de roble americano (*Quercus alba*, junto con otras especies), que se denominan "botas" en la zona de Jerez. Su capacidad está comprendida entre 250 y 600 litros. El roble americano procede, principalmente, de Nueva Orleans (Luisiana) y Nueva York. Se han hecho experiencias con roble español pero, debido a su mayor peso, al sabor diferente que comunicaba, y a su excesiva porosidad (con las consiguientes pérdidas de líquido), su utilización ha sido desestimada. La porosidad del roble Americano es la apropiada para permitir el contacto del brandy con el oxígeno del aire, facilitando la oxidación que favorece el envejecimiento. Monedero (1998).

La influencia de la madera en la elaboración del brandy es determinante, pues ésta le cede diversas sustancias que modifican y contribuyen a su gusto, aroma y sabor. Es importante la capacidad de cesión de la madera, que depende del tamaño y la edad de la barrica. A menor tamaño, la superficie de madera en contacto con el líquido es mayor, por lo que no conviene utilizar vasijas pequeñas, ya que la influencia de la madera sería excesiva. La experiencia ha determinado el empleo de botas de 500 a 600 L, como la capacidad más idónea para el envejecimiento del brandy, pues en ella se da el equilibrio ideal entre superficie de madera y volumen de contenido. El Reglamento del Consejo Regulador de la Denominación Específica Brandy de Jerez permite vasijas de capacidad inferior a 1000 L.

El reglamento establece que debe tratarse de botas envinadas durante al menos tres años, es decir, que hayan contenido durante ese tiempo vino de Jerez: Fino, Oloroso, Amontillado, Pedro Ximénez, etc. Estas botas contribuyen significativamente a dotar al Brandy de Jerez de matices diferentes dependiendo del tipo de botas empleadas. De esta forma, las botas de Fino permiten la obtención de brandies más pálidos que los procedentes de vasijas que hayan contenido Amontillados u Olorosos. Orden 2 Mayo (1977).El Brandy de Jerez resultante del envejecimiento en botas que hayan contenido Pedro Ximénez, será el más abocado y oscuro. El envinado va a marcar la diferencia fundamental respecto a otros brandies fuera del contexto de la Denominación Específica "Brandy de Jerez". Garde (2002).

Sistema de Soleras y Criaderas

La adopción, para el Brandy de Jerez, de este sistema de envejecimiento tradicional jerezano, usado para la crianza y envejecimiento de los vinos de Jerez, puede calificarse de crucial y es, sin duda, uno de los factores diferenciadores que imprime una singularidad característica al Brandy de Jerez.

Se trata de un procedimiento que podemos calificar de "dinámico", a diferencia del envejecimiento "estático" por Añadas. En el sistema de Añadas, el aguardiente permanece en la misma bota durante todo el periodo de envejecimiento, por lo que no se realizan trasiegos y sólo se mezcla con aguardientes procedentes de distintos niveles de envejecimiento con carácter previo a su comercialización. El método de Soleras y Criaderas, sin embargo, consiste en un almacenamiento del aguardiente en botas que han sido divididas en grupos, llamados "escalas", según la vejez del brandy que contienen. Cada escala está formada, aproximadamente, por el mismo número de botas. La escala que contiene el brandy de mayor vejez se denomina "Solera" (situada sobre el suelo), seguida, en orden de vejez, por la Primera, Segunda y Tercera Criadera. A la Solera, Primera, Segunda y Tercera Criadera también se las denomina, respectivamente, escala primera, segunda, tercera y cuarta. Lloris (2002)

De la Solera se extrae una pequeña cantidad (operación llamada "Saca"), que debe ser la misma en cada una de las botas que la forman, para su embotellado y distribución. El vacío ocasionado se repone con una porción equivalente de brandy procedente de la primera Criadera (operación llamada "Rocío"), siguiéndose el mismo procedimiento con la Primera y Segunda Criadera, que se rellenan con el brandy procedente de la Segunda y Tercera Criadera, respectivamente. La Tercera Criadera, a su vez, se rellena con los aguardientes de vino obtenidos en la destilación.

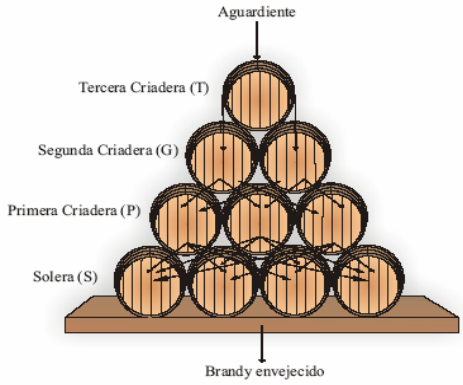
A este procedimiento de trasiego de aguardientes entre escalas, se le denomina "correr escalas". Las operaciones de Saca y Rocío se realizan periódicamente, es decir, a intervalos de tiempo constantes.

Una vez realizada la Saca, y antes del Rocío, se mezcla el brandy extraído de cada una de las botas de la misma escala, con el objetivo de homogeneizar el contenido de las botas.

El sistema de Soleras y Criaderas permite obtener un brandy uniforme en sabor, aroma y color, con las mismas características organolépticas, ya que al ser una pequeña parte la que se va reponiendo sucesivamente, esta porción adquiere las características de la mayor masa de brandy con que se encuentra. Este procedimiento favorece una mayor y más rápida oxidación del Brandy de Jerez, al airearse en los continuos trasiegos.

Después del envejecimiento en el sistema de Soleras y Criaderas, se disminuye el grado alcohólico del aguardiente mediante dilución con agua pura hasta situar el producto final a 38-40 %.

En España y más concretamente en Andalucía se elaboran vinos generosos que siguen también un proceso de envejecimiento por soleras como el que anteriormente se ha descrito para el brandy, el vino oloroso requiere un proceso de elaboración una permanencia en botas de roble americano durante el tiempo necesario como para alcanzar las características organolépticas que le son propias, durante el mismo se producen diversas modificaciones, no solo en el color, que evoluciona hasta el oro viejo característico, sino también en la composición química de los mismos. Martinez (2006).



Sistema Soleras

Sistema de Añadas.

El envejecimiento en madera es uno de los factores más importantes que determinan la calidad de las bebidas destiladas. Una amplia gama de estas bebidas son envejecidas en barricas de roble, sobre todo brandies y whiskies pero también muchos rones y licores. A pesar de que probablemente en sus orígenes servía únicamente para el almacenamiento y transporte, el tiempo que el aguardiente pasa en las barricas es hoy en día un factor decisivo para el aroma y sabor finales del destilado. Durante el envejecimiento tienen lugar una serie de interacciones físicas y químicas entre la barrica, la atmósfera que lo rodea y el aguardiente, que modifican su aroma, sabor y composición. Fernández (2000) .Esto cambios pueden estar causados por los diferentes fenómenos

- Extracción directa de componentes de la madera.
- Descomposición de las macromoléculas de la madera y extracción de sus productos por el destilado.
- Reacciones entre los componentes de la madera y los del destilado de partida.
- Reacciones que implican únicamente a los compuestos extraídos de la madera.
- Reacciones que implican únicamente a los componentes del destilado.
- Evaporación de compuestos volátiles.

Sin embargo existen factores negativos al Envejecimiento, como es una carga financiera sumamente pesada, por la renovación periódica de los barriles y mantenimiento de las barricas, el coste del aseguramiento del local y del producto, el coste de la destilación: materia prima, combustible, mano de obra, el coste de la no venta, las perdidas de alcohol por evaporación . Como alternativa surge el uso de

las virutas de roble, que es en muchos países productores un modo alternativo muy generalizado de elaboración del vino y aguardientes. Con este método, se adiciona la madera al vino, y con ella, sus esencias, aromas y cualidades organolépticas intrínsecas del roble, sin que necesariamente deba reposar en una barrica. De otra parte el caramelo ha sido utilizado durante tiempo para aportar color y aroma a las bebidas.

OBJETIVOS

Por todo ello hemos pretendido realizar el estudio de bebidas alcohólicas que han sufrido un proceso de envejecimiento, estudiando las modificaciones que pueden sufrir sus componentes, este trabajo ha sido objeto de una patente de investigación (P9301872). "**Procedimiento para el envejecimiento rápido de bebidas alcohólicas".** Para intentar conocer si existe alguna relación entre los componentes de las bebidas estudiadas y el proceso de envejecimiento seguido en la obtención de las mismas, tales como Proceso estático tradicional y Proceso dinámico o de criaderas y soleras.

El objetivo: La caracterización (por diferentes parámetros físico-químicos) y el estudio del proceso de envejecimiento utilizando virutas de madera de roble previamente tratadas intentando emular las condiciones y procesos que la madera sufre en la práctica tonelera.

En primer lugar se ha estudiado el brandy y posteriormente hemos abordado el envejecimiento acelerado como alternativa a la obtención de un vino de características organolépticas semejantes a los sometidos a crianza oxidativa.

MATERIAL Y METODO.

Las muestras estudiadas han sido las siguientes.

muestras de caramelo colorante

muestras de brandies comerciales

muestras de macerados de virutas de madera sometidas a distintos tratamientos, en aguardiente de vino (estudiados a lo largo del tiempo)

muestras de macerados de virutas de roble en vinos sobre-tablas de Oloroso

muestras de vinos olorosos comerciales.

Para ello se ha puesto a punto la técnica de HPLC para la determinación de:

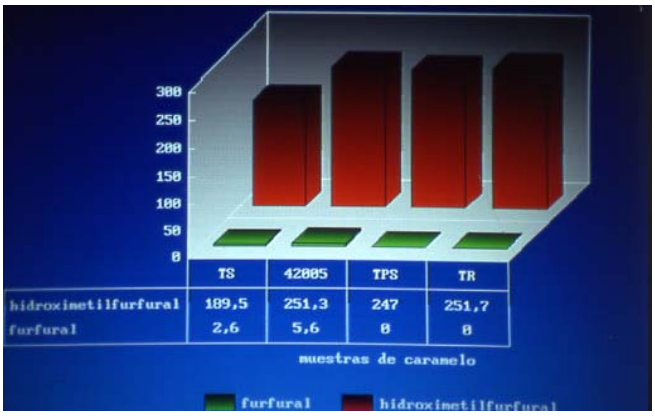
- compuestos fúránicos: fúrfural y 5-hidroximetilfurfural. Barua (2003)

- compuestos fenólicos y polifenólicos : vainillina, syringaldehido, ácido gálico, sinapaldehido, ac. gálico, ac. vainillinico, ac. siringico. Villén (1995). Gimenez (1993). Wang (2004). Puech (1992). Giménez (2001)

RESULTADOS Y DISCUSION

En las muestras de caramelo colorante podemos indicar que el Hidroximetil-furfural está en mayor concentración en los caramelos, esto mismo ocurre en los brandies comerciales (envejecidos por proceso estático o por soleras). El alto tanto por ciento de 5HMF puede tener su origen en la adición de caramelo, del que comprobamos su existencia en todas las muestras analizadas excepto en dos. (figura1)

Figura 1. Furfural e Hidroximetil-Furfural en Caramelo



Por tanto para este tipo de muestras la relación Furfural / HidroxiMetilurfural es inferior a la unidad.Quesada (2002)

Por el contrario en los macerados preparados por nosotros y en brandies sin adición de caramelo la relación Furfural / Hidroxi MetilFurfural es mayor a la unidad

A la vista de esto pensábamos que estos compuestos pudieran servir como marcadores de envejecimiento. Pero de los ensayos realizados con virutas de diferente madera (sometidas a distintos tratamientos térmicos) y de los ensayos realizados con los macerados a lo largo de (24 meses donde la extracción de furánicos se hace plana), llegamos a la conclusión de que no se puede tomar a los aldehidos furánicos como marcadores de envejecimiento de los aguardientes envejecidos, ya que el contenido de estos no depende de los años que permanece el aguardiente en el barril, sino que influyen otros factores: como el agotamiento del barril, especie de madera (francés, americano, almendras) etc.

Con respecto a los aldehídos fenólicos se ha tratado también de seguir su comportamiento y de los resultados (figura 2a, figura 2b, figura 2c).

Figura 2a. Concentración de Syringaldehido

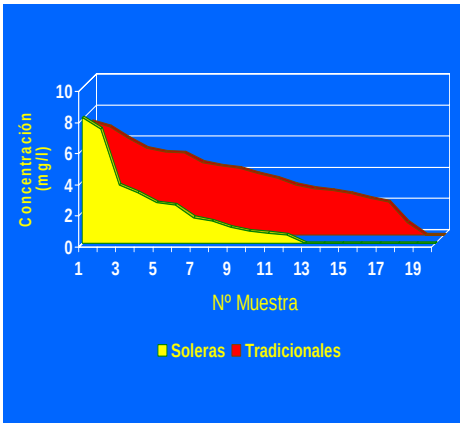


Figura 2b. Concentración de Vainillina

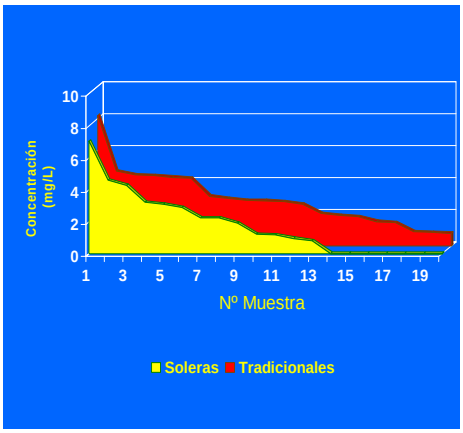
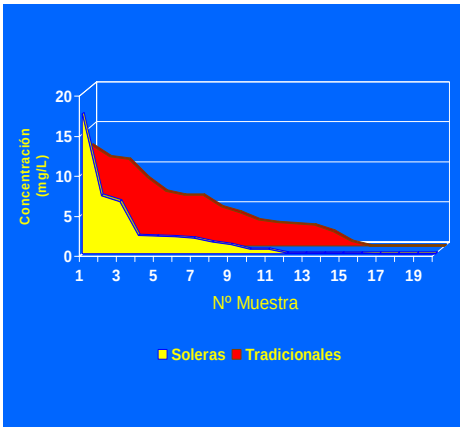


Figura 2c. Concentración de Acido Galico



Se puede observar que: la relación siringaldehido /vainillina y acido gálico/vainillina es inferior a la unidad en la mayoría de los brandies estudiados envejecidos por el Proceso tradicional, lo que hace pensar que la extracción del syringaldehido se ve favorecida por el tiempo, quizás porque este

tipo de brandies sufren un tiempo de envejecimiento mayor (que las soleras) . Se plantea que estos compuestos sean posibles marcadores de envejecimiento, sin embargo, al igual que en el caso anterior del estudio de los macerados preparados, como método de envejecimiento alternativo a la obtención de bebidas de características semejantes a los brandies del comercio, se ha llegado a la conclusión de que tampoco estos compuestos pueden considerarse como marcadores del envejecimiento ya que hemos podido observar que las concentraciones de aldehidos aromáticos (syringaldehido y vainillina) están condicionadas también por el tratamiento térmico al que se somete la madera, de tal manera, que las virutas de madera tratadas a temperaturas elevadas proporcionan "brandies" con alto contenido en Syringaldehído, con bajas concentraciones en acido gálico y con una relación Sy/Va mayor a la unidad. Gimenez (2001)

En este trabajo se ha conseguido mediante el empleo de virutas de roble de unas determinadas características y en condiciones experimentales fijas reproducir el proceso de envejecimiento de los brandies. Por último se ha realizado el análisis sensorial de las muestras de brandies y de las muestras de macerados mediante un panel de doce catadores con catas a ciegas.

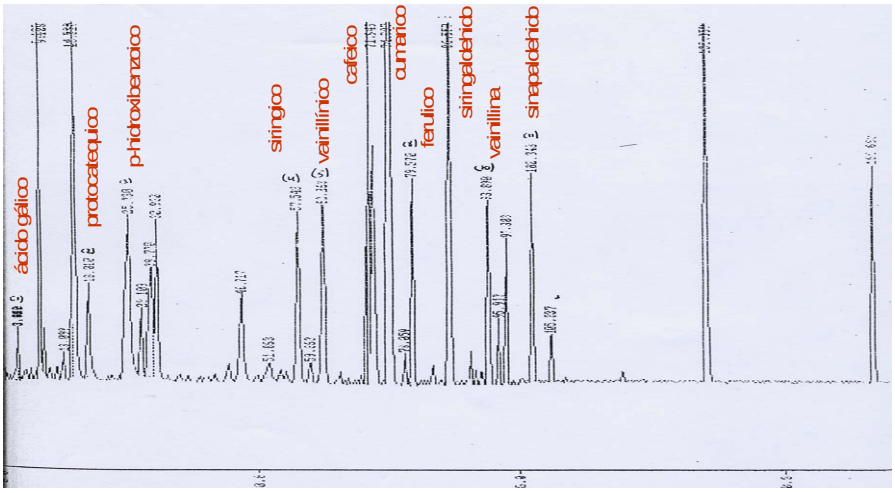
Tras el análisis de los resultados se ha comprobado que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los brandies del mercado (tanto tradicionales como soleras) y los "aguardientes" preparados por nosotros en calidad de conjunto (calidad visual, olfativa y gustativa).

Al realizar la clasificación en función de la preferencia de los catadores, nuestras muestras han sido calificadas con una puntuación media-alta situándose detrás de un brandy francés (tipo V.S.O.P.) y de un solera gran reserva pero con puntuaciones muy similares a otros brandies solera reserva.

Con posterioridad abordábamos el estudio del vino de crianza oxidativa donde los vinos envejecen largo tiempo en condiciones de oxidación, generalmente dentro de envases de madera, siendo a menudo encabezados con alcohol vínico como factor de estabilidad biológica para su crianza. Esta crianza corresponde a los vinos meridionales y de carácter mediterráneo, destacando entre otros los siguientes vinos: olorosos y dulces de Jerez o Montilla – Moriles.

Para obtener extractos hidroalcohólicos de virutas con un contenido en fenoles similar al de vinos olorosos se ensayaron distintos procedimientos de quemado controlando la temperatura y el tiempo de quemado. De los once compuestos fenólicos encontrados por HPLC (ácido gálico, protocatequico, p-hidroxibenzoico, siringico, vainillínico, cafeico, cumarico, ferúlico, siringaldehído, vainillina y sinapaldehído) (figura 3) solo el ácido gálico esta influenciado por la temperatura.

Figura 3. Cromatograma de compuestos fenólicos de un macerado analizado



De otra parte se pone de manifiesto que los macerados elaborados con virutas tostadas a 180º durante tres horas y agotadas posteriormente con mezcla hidroalcohólica al 60% (v/v) son los que tienen una composición fenólica más parecida a las muestras comerciales de olorosos Monedero (1999). Se ha realizado también la evaluación sensorial tanto para los vinos como para los macerados .Flanzy (2002) ,Ratti (2000) y Peynaud (2001).El análisis sensorial ha confirmado los resultados obtenidos por HPLC. al seleccionar como mejor macerado por sus cualidades organolépticas más similares a los vinos olorosos comerciales, el elaborado con virutas tostadas a 180º y agotadas con alcohol al 60% (v/v). (Tabla I)

Tabla I. Evaluación sensorial de vinos y macerados

CALIDAD GLOBAL

MUESTRA Nº	CALIDAD DE CONJUNTO
C1	6,90
C2	6,63
C3	7,63
C4	6,45
M1	5,27
M2	6,00
M3	5,54
M4	5,90
$\bar{x}$	6,29
σ_{n-1}	0,76
C.V. (%)	12,23
Rango	2,09

Por ello con el sistema de envejecimiento acelerado puesto a punto con nuestra Patente ha sido posible conseguir un vino sobretablas con perfiles polifenólicos y características fisicoquímicas y organolépticas similares a los vinos sometidos a crianza oxidativa.

CONCLUSIONES

1º No se pueden considerar a los aldehidos furánicos como marcadores de envejecimiento de los aguardientes envejecidos, ya que el contenido de éstos no depende de los años que permanece el aguardiente en el barril, sino que influyen otros factores ajenos al propio proceso de envejecimiento.

2º Al estar las concentraciones de aldehidos aromáticos condicionadas por el tratamiento térmico al que se somete la madera, no pueden éstos ser considerados como marcadores de envejecimiento ya que en el cintrado de los barriles el proceso es empírico y las temperaturas de quemado de las duelas difíciles de controlar.

3º Las virutas de madera tratadas a temperaturas elevadas proporcionan "brandies" con alto contenido en Syringaldehído, bajas concentraciones en acido gálico y con una relación Sy/Va mayor a la unidad.

4º Los macerados elaborados con virutas tostadas a 180º durante tres horas y agotadas posteriormente con mezcla hidroalcohólica al 60% (v/v) son los que tienen una composición polifenólica más parecida a las muestras comerciales de olorosos .

5º Es posible la utilización de virutas de madera en la crianza de vinos y brandy al conseguir con este procedimiento un vino sobretablas con perfiles organolépticos y analíticos similares al obtenido por el procedimiento natural de crianza oxidativa.

REFERENCIAS

Barua M. Martinez J. (2003) *VII Jornadas Cientificas de los Grupos de Investigación enologica GIENOL*. Logroño (España) pgs 228-30 ISBN:84-8125-2001-8

DECRETO 2484/ 1974 de la Presidencia del Gobierno, de 9 de Agosto, por el que se establece la Reglamentación Especial para la elaboración , circulación y comerciodeñ Brandy

Orden de 2 de Mayo de 1977 del Ministerio de Agricultura por la que se reglamenta las Denominaciones de Origen “JEREZ – XERES- SHERRY” y “MANZNILLA – SANLUCAR DE BARRAMEDA” y su Consej Regulador(BOE nº 113, 12 de Mayo , 1977)

Fernandez,M.E., Quesada J., Villalón M., Lopez M.C., (2000). *Food Chemistry*, 70, 251 – 58.

Flanzy C. (2002) Enología : Fundamentos cientificos y Tecnologicos. Ed. Mundi- Prensa. ISBN: 84-7114- 859-5. pg 98 - 101

Garde, T., Rodríguez, S., Ancín, C. (2002). *Food Res. Int.* **35**, 603-610.

Gimenez, R., López H., Villalon M., Navarro M., Olalla., Lopez MªC., (2001) *J. of Wine Research.* **3**, 175-182.

Gimenez, R., López H., Villalon M., Lopez MªC., (1993) *J. of LiquidChromatography* **16**, 4079-4094

Lloris F., Calderon L., Quesada,J., Villalon M., López M.C.(2002) *XXIV Jornadas Viticultura y Rnilogía . Tierra de Barro*. (España) pgs 411-23

Martinez, C., (2006) *Tesis doctoral*. Cadiz

Monedero, L., Olalla, M., Quesada,J., Villalon M., López H., Lopez MªC., (1998).*Journal of Agricultural and Food Chemisry*, 46,1754 -64.

Monedero, L., Olalla, M., Jiménez, R., Villalon M., López H., Lopez MªC., (1999) *Alimentación Equipos y Tecnología* 45-54

Quesada ,J. , Merelo J.J. , Oliveras m.j. , Gonzalez J., Olalla M., Blanca R. (2002) . *Journal of Agricultural and Food Chemisry* ,50, 1470 -77

Peynaud E. Blouin J. (2001). Descubrir el gusto del vino .Ed. Mundi- Prensa. ISBN: 84- 7114-939- 7. pg 77 - 85

Puech J., Moutounet M., (1992). *Llebensmitel Wissnschaft und Tecnologie* **25,** 350-352

Rati Renato (2000). Como degustar los vinos: manual del catador. Ed. Mundi- Prensa. ISBN: 84- 7114-940-0 pg 40 -48

Villén, J., Señoráns, F.J., Reglero, G. & Herraiz, M. (1995). *J. Agric. Food Chem.* **43**, 717-722.

Wang, M.L., Wang, J.T. & Choong, Y.M. (2004). *J. Food Comp. Anal.* **17**, 187-196.

AVANCES EN LA INVESTIGACION DE AGUARDIENTES Y RONES

Mª Del Carmen López Martínez.
Herminia López Gª de la Serrana.
Marina Villalón Mir..
Javier Quesada Granados.
Rosa Blanca Herrera.

Profesores del Departamento de Nutrición y Bromatología. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada Campus Universitario de Cartuja. C.P. 180072.Granada. mlopez@ugr.es; herminia@ugr.es; marinavi@ugr.es; quesadag@ugr.es; rblanca@ugr.es.

Resumen.

Los objetivos del presente trabajo de investigación fueron: determinar las características de whiskis y rones, auténticos y adulterados, mediante pruebas fisico-quimicas especificadas en la Legislación Española y establecer la eficacia de estos parámetros a la hora de detectar posibles fraudes en estas bebidas. Se analizaron 20 muestras comerciales (10 whiskis y 10 rones), 11 muestras fraudulentas (5 whiskis y 6 rones). De la comparación de los resultados obtenidos, tras la caracterización fisico-quimica de ambos tipos de muestras, se deduce que resulta difícil distinguir entre muestras genuinas y fraudulentas, basándose exclusivamente en los métodos de análisis recogidos actualmente en la Legislación Española. Se ha realizado la determinación de cumarinas por HPLC en las muestras anteriores y en una serie de extractos hidroalcoholicos preparados a base de virutas de roble americano, (5 con virutas sin quemar y 5 con virutas quemadas), aplicando en su obtención el método de nuestra patente de investigación (P9301872).Hemos podido comprobar como la presencia de cumarinas y muy especialmente la escopoletina en una bebida envejecida puede deberse al propio proceso de envejecimiento seguido.

Palabras Clave: Ron, Whishy, Envejecimiento, Fraude

Summary

The objectives of the present paper are: to determine the characteristics of several Whiskies and Rums, to find out if they are authentic or adulterated. This was done using physics and chemical techniques according to the Spanish law as it stands and to establish its efficiency at the time of detecting fraudulence in these beverages. Twenty (20) commercial samples (10 whiskies and 10 rums) were analyzed and 11 fraudulent samples (5 whiskies and 6 rums).The results: It difficult to distinguish, through the application of Spanish law, between the authentic and fraudulent samples. We studied the presence of coumarins by HPLC in the previous samples and in a series of extracts hydroalcoholics prepared based on shavings of American oak, (5 with shavings without being hot and 5 with burnt shavings), applying the method of our patent of research (P9301872). We could have verified as the presence of coumarins and very specially the scopoletin in an aged drink can owe to the own process of followed aging .

Key words: Rum, Whisky, Aging, Fraud.

1. INTRODUCCIÓN

El Estatuto Español del vino, en su artículo de 4º, define: “Se entenderá por alcohol ordinario o etílico el producto de la destilación de un líquido cualquiera, que haya sufrido previamente la fermentación alcohólica”; en su artículo 5º: “Se llamarán *aguardientes* en términos generales y sin perjuicio de su distinción arancelaria en: a) *aguardientes simples*: los productos obtenidos de la destilación directa de un líquido cualquiera que haya sufrido previamente fermentación alcohólica y que no exceda de 80 grados, b) *aguardientes compuestos*: o las mezclas de alcohol etílico con agua en diversas proporciones, en presencia de anís o no, aromatizados o no, endulzados o no, con sacarosa o azúcar ordinario, y coloreados o no con caramelo puro de azúcar” (M. Carbonell, 1.965).

El whisky es un aguardiente compuesto obtenido por mezcla de aguardiente de malta y destilado de cereales, previamente envejecidos por separado en recipientes de roble durante el tiempo suficiente y en las debidas condiciones ambientales de temperatura y grado higrométrico (Legislación Española de Bebidas Alcohólicas, Capítulo XXX, Reglamentación especial del Whisky, Título I, Art. 2º).

El ron es un aguardiente compuesto obtenido de aguardientes, destilados o sus mezclas, que tienen su origen, exclusivamente, en los caldos fermentados de los jugos, meladas o jarabes y melazas de caña de azúcar(Legislación Española sobre Bebidas Alcohólicas, Capítulo XXX, Reglamentación Especial sobre el Ron, Artículo 34, 2).

Para hablar de fraudes en aguardientes, se debe iniciar por el origen del proceso de la fermentación y de la destilación. Fue a principios de la Edad Media con el descubrimiento del alcohol y su destilación por los árabes (s. X aproximadamente), cuando los alquimistas del momento sentaron las bases y el concepto que hoy día tenemos de destilación (Derry, T. K., y otros., 1.989).

A comienzos del s. XIX, Adam realiza el descubrimiento de la redestilación o rectificación (A. Lichine y otros., 1.987). A mediados del s. XIX, el irlandés Coffey añade otra modificación en la elaboración de los aguardientes al inventar el alambique de acción continua o "patent still" que reemplazó al de acción discontinua o "pot still" (P. Molestina, 1.997). Con Coffey nació una "especial revolución en la elaboración de espirituosos y sobre toda una nueva era industrial del whisky" (P. Molestina, 1.997).

En la composición de un destilado entre las sustancias, en su conjunto denominados "congenéricos", se encuentran: Etanol, agua, metanol, ácidos como el acético, butírico, fórmico, propiónico y caprílico; alcoholes de peso molecular mayor al del etanol y que constituye el "aceite de fusel" tales como el isoamílico, isobutílico, propílico entre otros; esteres como el acetato de etilo y dietilsuccinato; aldehidos como el acetaldehido, furfural, paraldehido, formaldehido, aldehido butírico o valeriánico (J. Quesada, 1993).

En cuanto a los aldehidos, el que se encuentra mayoritariamente en un destilado es el acetaldehido, procedente de la descarboxilación del ácido pirúvico, pasando rápidamente a etanol.Otro aldehido posible de encontrar en los destilados es el furfural, originado como consecuencia del calentamiento que durante la destilación sufren los azúcares (H.J. Jeurings y otros.,1.980).

El proceso de envejecimiento es el período de tiempo durante el cual la bebida alcohólica es almacenada en barriles y se verifican, dentro de estos, una serie de fenómenos físico-químicos (evaporación diferencial, oxidación e hidrólisis, entre otros) en los cuales influye la temperatura y las sustancias que del roble o encina de la cuba disuelve el alcohol, entre ellos terpenos, taninos y ácido quercitánico, del cual van tomando el color que presentan a medida que aumentan los años de envejecimiento (Mosedale, J. L. y Puech, J.L. 1998; M. Villalón, 1987). Los robles más utilizados para la crianza de los vinos y los aguardientes son el roble francés y el americano. El roble americano pertenece a la especie *Quercus albus* (es originario de los estados de Virginia, Miss ouri y Kentucky, entre otros) y se caracteriza por un alto contenido de isómeros cis/trans de beta-metil-gama-metil-octalactona (Chatonnet y Dubourdieu, 1998).

Entre los sistemas de envejecimiento de bebidas alcohólicas se destacan dos: el sistema tradicional y el de criaderas-soleras.

En el *sistema tradicional* de envejecimiento, los barriles empleados tienen que estar fabricados a partir de duelas hendidas y no serradas, secadas a la intemperie durante cinco o seis años y nunca demasiado

frescas (P. Aranguren, 1991). En una primera fase, el aguardiente es colocado en barriles de roble sin usar, para que de esta forma adquiera los aromas y taninos propios del roble. Las barricas más viejas están debilitadas en estos componentes motivo por el cual no sirven para este propósito (C. Delgado, 1987). En una segunda fase, se pasa del aguardiente desde la barrica nueva a las otras barricas usadas, donde permanecerá ya de forma estática e inmovilizada durante el tiempo necesario para que adquiera las características propias del brandy que se pretende elaborar. En esta segunda fase, se consigue una más completa extracción de los componentes de la madera como consecuencia del trasiego de unos barriles a otros; de la misma manera, se favorecen las reacciones de oxidación que tienen lugar en el seno del aguardiente.

En el *sistema de envejecimiento por "criaderas y soleras*", el proceso comienza con la incorporación de la holanda en barricas de roble nuevas, para pasar posteriormente a barricas de roble usadas. En esta fase previa a la incorporación del aguardiente al sistema de soleras, éste va perdiendo grado alcohólico, adquiriendo color y aromas de los taninos del roble americano y los originados en el proceso oxidativo que ocurre a través de los poros de la madera (C. Delgado, 1987). El aguardiente así obtenido pasa al sistema de soleras donde acabará su crianza. El nivel más bajo o primer nivel se denomina "solera" y en el se guardará el aguardiente envejecido de mayor añada. El segundo nivel o "primera criadera" contendrá aguardiente de menos años que el contenido en la primera solera. De esta forma, al ir ascendiendo, la criadera superior va a contener siempre un aguardiente de menor edad al que contiene la criadera inferior. (J.J. Quesada, 1993). En consecuencia, la técnica actual se dirige a obtener destilados que contengan los congenéricos precisos y disminuir el tiempo de envejecimiento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Muestras Analizadas

2.1.1.Muestras comerciales y de envejecimiento controlado. Se han analizado un total de 20 muestras comerciales correspondientes a diez whiskys y diez rones. Para la elección de las muestras se siguió el criterio de calidad basado en la relación precio / aceptación por parte del consumidor.

2.1.2.Muestras adulteradas. Durante el transcurso de éste trabajo de investigación se dio un caso fraudulento de elaboración de bebidas alcohólicas en un municipio de la provincia de Granada, a partir de esencias de roble maceradas con una mezcla de alcohol etílico y agua olorosa a la que añadían diversos colorantes. De todas las bebidas elaboradas bajo fraude, pudimos dispones de muestras de rones y whiskys, todos ellos falsos pero aparentemente pertenecientes a diversas marcas comerciales.Se han analizado un total de once muestras, cinco whiskys y seis rones.

2.1.3.Macerados hidroalcohólicos de viruta de roble. La madera empleada para la preparación de los macerados fue madera de roble americana (Quercus alba) en forma de viruta. Las virutas presentaron un tamaño comprendido entre 3 y 5mm, fueron sometidas a tratamiento térmico con ayuda de una estufa con aire termostatado, durante un tiempo de 3 horas y una temperatura de 180º, como el procedimiento en el cual se alcanza el máximo de extracción de compuestos furánicos, (Quesada y otros(1993) y Giménez y otros(1994), Se analizaron 10 macerados de viruta de roble americano, 5 de ellos con virutas sin quemar y 5 con virutas quemadas.

2.2. Métodos de Análisis

Para el analisis de las muestras se siguieron los métodos oficiales oficiales de análisis establecidos por la legislación Española para el Whisky y el Ron, según las variables físico-químicas estudiadas en las muestras.

TABLA I Métodos Oficiales de Análisis establecidos por la Legislación Española

Variable	Método
▪ Grado Alcohólico	El recomendado por el Centro de Investigación de la Calidad del Ministerio de Sanidad y Consumo (1.985, que toma como referencia el método de la Associattion of Official Chemists Ed. 1.980).
▪ Caramelo	Técnica aceptada por la AOAC (1990) para la determinación de caramelo colorante en vinos y aguardientes.
▪ Sacarosa	Método recomendado por la C.I.C.C. 1.985, que toma como referencia el propuesto por la O.I.V., en el Recueil des Méthodes Internacionales d`Análisis A5,4 y aprobado por la Comisión Interministerial de los Métodos de Análisis en la sesión del día 12-1-84
▪ Extracto Seco	Método recomendado por la C.I.C.C. 1.985, que toma como referencia la Norma U.N.E. 36106-74
▪ Azúcares Reductores	El recomendado por la C.I.C.C. (1.985, el cual toma como referencia el propuesto por la O.I.V. en su Recueil des Méthodes Internationales d`Analyse des Vins, A4e).
▪ Aldehídos	Método el recomendado por la C.I.C.C. (1.985, que toma como referencia el propuesto por la A.O.A.C., 1980 y por el Instituto de Racionalización del Trabajo: U.N.E. 33-107-74
▪ Acidez Volátil	Método recomendado por C.I.C.C del Ministerio de Sanidad y Consumo (1985, que toma como referencia el propuesto por la Association of Official Analytical Chemist, Ed. 1980)

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Grado alcoholico. En ambos tipos de muestras, el grado alcoholico se encuentra dentro de los limites legales establecidos para estas bebidas (40% minimo y 58% maximo para el Whisky y de 40% y 60% para el ron). Con base en estos datos, esta determinación no permite detectar muestras fraudulentas.

3.2Caramelo. De las muestras comerciales 10 no dieron positivas para el caramelo mientras las otras 10, si lo dieron. Por el contrario todas las muestras adulteradas dieron positivas. Por lo tanto, con base a la determinación de caramelo, la Legislación Española actual no permite diferenciar las muestras legales de las fraudulentas.

3.3.Extracto seco. Tan solo 4 de las muestras comerciales estuvieron por debajo del valor legal permitido (3g/L para Whisky y 4g/L para ron).Las demás sobrepasaron dicho valor incluyendo las fraudulentas.En los whiskys comerciales, ninguna de las muestras supera los limites permitidos, mientras que en los rones tres la superan.Sin embargo, al hacer la comparación de las bebidas comerciales con las fraudulentas se podrían diferenciar por los altos valores encontrados en estas.

3.4.Azucares reductores. La legislación Española no determina valores para esta variable pero si contempla el metodo de analisis. Los niveles encontrados en muestras fraudulentas, pueden ser debidos a la adicion de caramelo colorante.

3.5.Sacarosa. La Legislación permite un maximo de 80g/L y 100g/L de sacarosa para el ron y whisky respectivamente. Por lo tanto todas las muestras nanlizadas estan por debajo de ese limite. Por todo ello, esta prueba no presenta ningun grado de sensibilidad para detectar bebidas fraudulentas.

3.6.Aldehidos. Todas las muestras analizadas, se encuentran por debajo del limite de 40mg/L de AA., valor maximo permitido por la Legislación para whisky, para el ron no establece limites.

3.7.Acidez volátil. Todas las muestras comerciales de whisky cumplen con los valores exigidos por la Legislación, mientras que tres de las cinco muestras fraudulentas no los cumplen.De esta manera, estas muestras fraudulentas pasarían como comerciales. En el caso del ron no se establecen valores.

A la vista de los resultados obtenidos con las pruebas físico-químicas, nos marcamos el objetivo de determinar los compuestos originados durante los procesos de destilación y envejecimiento de macerados de viruta de roble, preparados en el laboratorio, mediante cromatografía líquida de alta eficacia (aplicando la patente P9301872) y comparar los resultados obtenidos con los encontrados en las muestras comerciales genuinas y fraudulentas, ya que en la industria alcoholera se admite como práctica enológica la adición de infusiones y extractos preparados con virutas de madera para acentuar el proceso de envejecimiento.

4. DETERMINACION DE CUMARINAS

4.1.Puesta a punto del método cromatográfico para la determinación de umbeliferona, escopoletina y 4-metilumbeliferona.

La identificación y determinación (rectas de calibrado) de las cumarinas se hizo en un cromatógrafo Water ™ 600, bajo las siguientes condiciones: Para la elución de las muestras se ha empleado una fase móvil, compuesta por dos solventes A y B. El solvente A estaba compuesto por agua bidestilada con 3% de Ac. Acético glacial. El solvente B contenia Acetonitrilo con 3% de Ac. Acético glacial. El desarrollo cromatografico se hizo en regimen de gradiente con un flujo de solvente de 1 mL/min. El gradiente de elución presentó en cada cromatograma el siguiente orden de salida: La umbeliferona aparece a los 20 min., la escopoletina a los 25 min., y la 4-metilumbeliferona a los 29 min, y es el que se muestra a continuación:

Minuto 0 94% de (A) y 6% de (B)
Minuto 10 94% de (A) y 6% de (B)
Minuto 30 82% de (A) y 18% de (B)
Minuto 35 67% de (A) y 33% de (B)
Minuto 40 42% de (A) y 58% de (B)

La columna utilizada fue una CH-18, de fase reversa, de 20 cm de longitud y 4.6 mm de diámetro interno. La medición se hizo utilizando un fluorimetro Konik (modelo HPLC-PLUS 750-03,tiempo de respuesta 5 y rango de sensibilidad 3)puesto a la salida de la columna a longitudes de onda de 340 nm de excitación y 425 nm para emisión. El volumen de cada muestra inyectada en el cromatógrafo a temperatura ambiente fue de 20 μL usando un inyector Waters ™ 717 plus Autosampler.
Siguiendo la línea de investigación iniciada en nuestro Departamento (Fernández y otros, 1998), para la puesta a punto del método cromatográfico se utilizó un sistema modelo compuesto por una mezcla de umbeliferona, escopoletina y 4-metilumbeliferona de 200μg/L,120μg/L y 160μg/L respectivamente en alcohol etílico de 60º G.L.
Para la calibración del método analítico, se utilizaron soluciones hidroalcohólicas al 60% v/v conteniendo soluciones crecientes de cumarinas. Se prepararon a partir de una solución patrón que contenía 2ppm de cada cumarina en alcohol de caña de 60º G.L. En estas soluciones preparadas las concentraciones estaban comprendidas entre 15 y 360 μg/L. Con los datos obtenidos se construyeron las rectas de calibrado correspondientes a cada una de las cumarinas a investigar.

4.2. Análisis y discusión de los resultados obtenidos en las muestras comerciales y de envejecimiento controlado

Los resultados se pueden observar en las Tablas II y III.

En las muestras comerciales y de envejecimiento controlado tanto en Whiskys como en rones solo se ha encontrado escopoletina. Su concentración en Whisky oscilo entre 60 a 575 µg/L y en rones se encuentra de 0,00 a 255 µg/L.

Tabla II. Concentración de Cumarinas (µg/L) en las muestras comerciales y de envejecimiento controlado. (Las muestras 1 a la 10 corresponden a whiskys y las 11 a 20, a rones).

Muestra Nº	Umbeliferona [µg / L]	Escopoletina [µg / L]	4-Metilumbeliferona [µg / L]
1	-	119	-
2	-	346	-
3	-	279	-
4	-	139	-
5	-	575	-
6	-	109	-
7	-	66	-
8	-	70	-
9	-	60	-
10	-	121	-
11	-	132	-
12	-	141	-
13	-	194	-
14	-	255	-
15	-	34	-
16	-	42	-
17	-	186	-
18	-	154	-
19	-	0	-
20	-	199	-
Media general	0	161	0
Desviación estandar	0	130,4	0
Media Whiskys	0	188	0
Media Rones	0	134	0

Tabla III. Concentración de Cumarinas (µg/L) en las muestras comerciales y de envejecimiento controlado (Las muestras 1 a la 10 corresponden a whiskys y las 11 a 20, a rones).

Muestras adulteradas Muestra Nº	**Umbeliferona** [µg / L]	**Escopoletina** [µg / L]	**4-Metilumbeliferona** [µg / L]
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	-	-	-
7	-	-	-
8	-	-	-
9	-	-	-
10	-	-	-
11	-	-	-
Media general	-	-	-
Desviación estandar	-	-	-

Así pues, la escopoletina es hasta ahora, de todos los parámetros estudiados, el único que en principio puede orientarnos acerca del origen de una bebida destilada y envejecida, ya que las muestras fraudulentas estudiadas carecen de todas y cada una de estas cumarinas.

4.3. Análisis y determinación de cumarinas en las muestras de macerados hidroalcohólicos preparados con virutas de roble americano.

Los macerados hidroalcohólicos de viruta de roble sin quemar no presentan 4-metilumbeliferona. La umbeliferona y la escopoletina se incrementan a medida que aumenta la concentración de la viruta, siendo

ésta última la de mayor concentración. En las virutas de roble quemadas podemos observar valores muy superiores de las tres cumarinas que también se incrementan a medida que aumenta la concentración de viruta en los macerados. Como se puede observar en la Figura 1, los macerados hidroalcohólicos de viruta de roble sin quemar no presentan 4-metilumbeliferona. La umbeliferona y la escopoletina se incrementan a medida que aumenta la concentración de la viruta, siendo ésta última la de mayor concentración. En las virutas de roble quemadas podemos observar valores muy superiores de las tres cumarinas que también se incrementan a medida que aumenta la concentración de viruta en los macerados.

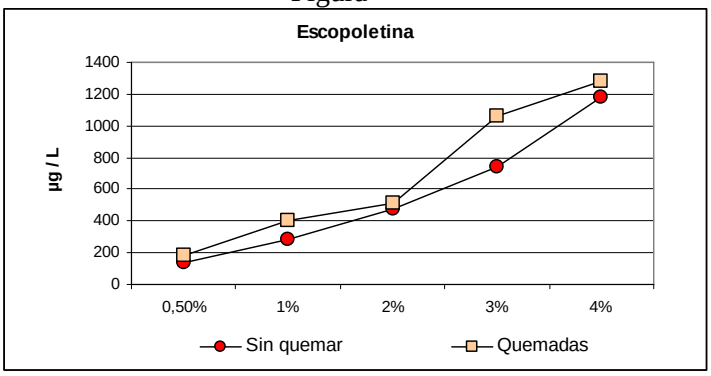
Los macerados hidroalcohólicos de viruta de roble sin quemar no presentan 4-metilumbeliferona. La umbeliferona y la escopoletina se incrementan a medida que aumenta la concentración de la viruta, siendo ésta última la de mayor concentración. En las virutas de roble quemadas

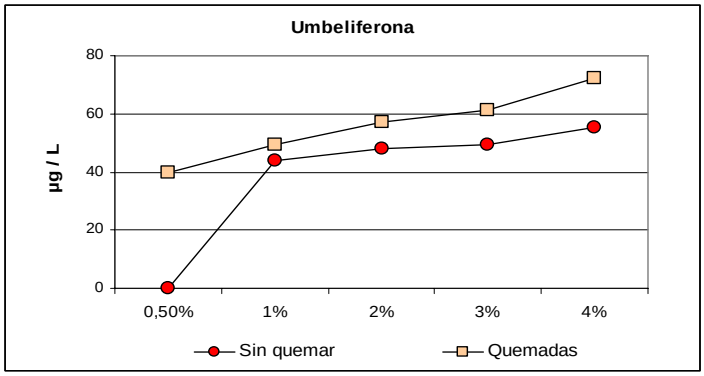
se encuentran valores muy superiores de las tres cumarinas que también se incrementan a medida que aumenta la concentración de viruta en los macerados.

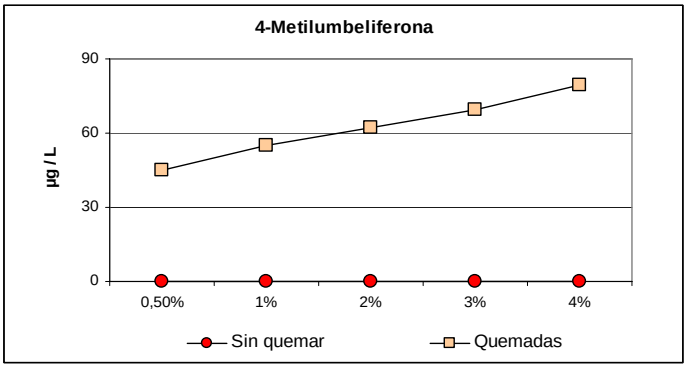
La escopoletina es la que está en mayor concentración, igual a los observado en el análisis de las muestras comerciales y de envejecimiento controlado de la mayoría de los whiskys y de los rones, siendo su concentración muy superior a la de las otras dos cumarinas y estando su presencia condicionada exclusivamente al contacto del destilado con la madera.

Figura 1: Concentraciones de cumarinas encontradas en los macerados hidroalcohólicos a base de virutas de roble americano.

Figura 1







CONCLUSIONES

Se puede concluir que estos resultados son significativos a la hora de considerar la escopoletina como garantía del proceso de envejecimiento en roble al que se somete una bebida alcohólica, al proceder esta sustancia única y exclusivamente de la madera, hecho observado también por nuestro grupo (1998). En base a lo anterior, podría tenerse en cuenta la presencia de las cumarinas, en especial la escopoletina, para poner de manifiesto una posible práctica fraudulenta en la elaboración de una bebida alcohólica envejecida.

BIBLIOGRAFIA

ARTAJONA SERRANO, J. (1.991). Caracterización del roble según su origen y grado de tostado, mediante la utilización de GC y HPLC. *Viticultura y Enología Profesional* ; Nº 14, 61-72.

CENZANO, I. (1.994). Nuevo manual de industrias alimentarias. Editorial A. Madrid Vicente y Mundi Prensa Libros, S.A. Madrid (España).

CARBONELL RAZQUIN, M. (1965). Aguardientes, Licores y Aperitivos: su fabricación actual. Editorial Sintes, Barcelona (España).

DECRETO 644/1973 de 29 de marzo, por el cual se aprueba la Reglamentación Especial para la Elaboración, Circulación y comercio del Whisky. B.O.E. Nº 85 de 4 de septiembre de 1973.

DECRETO 1228/1975 de 5 de junio, por el cual se aprueba la Reglamentación Especial para la Elaboración, Circulación y comercio del Ron. B.O.E. Nº 136 de 6 de julio de 1975

DELGADO, C. 1987. El libro de los licores y los aguardientes. 1ª Edición. Editorial Alianza, Madrid (España).

DERRY, T. K., WILLIAMS, I. (1.989). Historia de la Tecnología. Desde la antigüedad hasta 1.750. Editorial Siglo veintiuno de España, S.A., Madrid (España).

FERNÁNDEZ, E., QUESADA, J., VILLALÓN, M-, LÓPEZ, C. (2000). Comparison of methods for determinig coumarins in distilled beverages. Food Chemistry,70, 251-58.

JEURINGS, H.J., y otros.,(1.980). High performance liquid cromatography of furfural and hydroximethylfurfural in spirits and honey. *J. Assoc. Off Annal. Chem*.; 63(6), 1215-1218.

LICHINE, A., FIFIELD, W., BARTLETT, J., STOCKWOOD, J, PHILSON, K. (1.987). Enciclopedia de vinos y alcoholes de todos los países. Editorial Omega S.A., Barcelona (España).

MOLESTINA, P. (1.997). El whisky. El licor de los héroes. Prensa

QUESADA, J.J. (1.993). Determinación del Furfural y 5-Hidroximetilfurfural en aguardientes de vinos y su relación con el proceso de envejecimiento en roble. Tesis Doctoral. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada.

QUESADA, J., VILLALÓN, M., LÓPEZ, H., y LÓPEZ M.C. (1996). Influence of added caramel on furanic aldehyde content of maturated brandies. Food Chemistry, Vol. 56, Nº 4, pp 415-419.

QUESADA, J., VILLALÓN, M., LÓPEZ, H., y LÓPEZ M.C. (1996). Influence of Aging Factors on the Furanic Aldehhyde Content of the Matured Brandies: Aging Markers. J. Agric Food Chem., Vol. 44 (6), 1378-1381.

REGLAMENTO (CE) nº 479/2008 del Consejo, de 29 de abril de 2008, por el que se establece la organización común del mercado vitivinícola, se modifican los Reglamentos (CE) nº 1493/1999, (CE) nº 1782/2003, (CE) nº 1290/2005 y (CE) nº 3/2008 y se derogan los Reglamentos (CEE) nº 2392/86 y (CE) nº 1493/1999 (DO L 148 de 6.6.2008).CORRECCIÓN DE ERRORES DEL REGLAMENTO (CE) n o 479/2008 del Consejo, de 29 de abril de 2008 , por el que se establece la organización común del mercado vitivinícola, se modifican los Reglamentos (CE) nº 1493/1999, (CE) nº 1782/2003, (CE) nº 1290/2005 y (CE) nº 3/2008 y se derogan los Reglamentos (CEE) nº 2392/86 y (CE) nº 1493/1999 (DO L 148 de 6.6.2008).

VILLALÓN, M. (1.987). Estudio de los factores químicos que determinan la calidad del ron. *Tesis Doctoral*. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada.

ASPECTOS LEGISLATIVOS DEL VINO A NIVEL ESPAÑOL E EUROPEO.

Dra. Rosa Mª Blanca Herrera. (1)
Dr. José Javier Quesada Granados. (2)
Dra. Cristina Samaniego Sánchez. (3)
Dra. Herminia López Gª Serrana (4)
Dra. Mª Carmen López Martínez (5)

Dpto. Nutrición y Bromatología.
Facultad de Farmacia.
Universidad de Granada.
Campus de Cartuja s/n.
18071 Granada (España).

(1) rblanca@ugr.es
(2) quesadag@ugr.es
(3) csama@ugr.es
(4) herminia@ugr.es
(5) mlopez@ugr.es

RESUMEN: La legislación alimentaria vitivinícola en Europa es un tema de candente actualidad por la repercusión que esta tiene sobre la salud, la calidad y la exigencia del consumidor, sobre todo en el ámbito mediterráneo donde el vino forma parte de la cultura mas ancestral. Con este trabajo se explican las características legislativas que para el vino se recogen en la Unión Europea (UE)

PALABRAS CLAVES: legislación alimentaria, legislación vitivinícola, vino

RESUMEN EN INGLES: The European wine legislation is an important subject for the repercussion that this one has on health, on quality and exigency of the consumer, especially in the Mediterranean area where the wine forms a part of the most old culture. This paper explains UE legislation about wine.

KEY WORDS: Food legislation, wine legislation, wine.

En el proceso vitivinícola, la unidad viva, el medio inicial, es la viña.
El entorno natural formado por suelo, nutrientes, agua, vid, levaduras y hongos, luz y oxigeno refleja un sistema complejo y al mismo tiempo equilibrado en el cual se desarrollan labores específicas de la viticultura, el arte y la técnica de cultivar la vid.
El vino y la viña son inseparables en nuestra cultura.
El vino producto complejo, contiene más de mil componentes de origen muy diverso, esto le confiere una amplia gama de características: sensoriales, nutricionales, salutíferas y culturales.
Desde que el hombre deja testimonios gráficos para la historia, aparece en escena con una jarra de vino en la mano: en las pinturas egipcias, en las ánforas griegas, en los mosaicos romanos.
A pesar de tan ancestral cultura del vino, con su proyección social, literaria y mística, el Derecho tardó mucho en entrar en este campo, que le era ajeno mientras pertenecía al mundo de las

satisfacciones de los sentidos o de los sentimientos. Sólo cuando el vino se convirtió en un problema de salud, de orden público o económico y los poderes públicos se interesaron por estas cuestiones cuando las pragmáticas y las leyes hicieron acto de presencia, primero prohibiendo, después fomentando y luego regulando la producción, la comercialización y el consumo.

Hasta tiempos recientes, salvo algunas medidas de policía de abastos, casi siempre de carácter local, en España no empiezan a adoptarse medidas legislativas vitivinícolas hasta mediados del siglo XVII.

Durante el siglo XIX siguieron publicándose numerosas disposiciones del mismo tenor aunque, por influjo de las nuevas tendencias, se fue sustituyendo la idea de los «abastos» por la de la calidad. Tal vez sea la Real Orden de 23 de febrero de 1890 la primera de las disposiciones relativas a la elaboración de los vinos, real orden que hubo de ser reforzada por el Real Decreto de 7 de enero de 1897.

En el Estatuto del Vino de 1932, se intenta por primera vez la regulación completa del sector.

Con el paso del tiempo, este notable cuerpo legal quedó desbordado por los avances tecnológicos y la expansión de esta rama de la producción agraria, y sus previsiones resultaron insuficientes o inadecuadas a la nueva situación creada en el entorno por la Comunidad Económica Europea.

Al efecto, por Ley 25/1970, de 2 de diciembre, se aprobó un nuevo Estatuto de la Viña, del Vino y de los Alcoholes, que es el que está formalmente -sólo formalmente- en vigor.

Porque, después de esto, se han producido dos acontecimientos importantes: la promulgación de la Constitución Española de 1978, que configura el Estado de las Autonomías, y el ingreso de España en las Comunidades Europeas.

En principio, las competencias en materia de agricultura -y, por tanto, las relativas al cultivo de la vid y a sus productos- corresponden a las comunidades autónomas, si bien esa competencia no excluye toda intervención estatal sino que es una competencia compartida.

De otra parte, la integración de España en la hoy llamada Unión Europea supuso la aceptación del acervo comunitario y el reconocimiento de la supremacía de sus normas sobre el ordenamiento jurídico interno.

La OCM del vino no surge en la Europa hasta 1970, y hasta hace relativamente poco tiempo se ha venido rigiendo por el Reglamento (CEE) 822/1987, del Consejo de 16 de marzo de 1987. Desde entonces se han dictado un sinfín de disposiciones comunitarias de desarrollo y aplicación, lo que hacía que la regulación del sector fuera sumamente compleja. Por fin, se adoptó el Reglamento (CE) 1493/1999, de 17 de mayo, por el que se establece la nueva OCM vitivinícola, que fue de aplicación directa en todos los Estados miembros a partir del 1 de agosto de 2000.

El otrora flamante Estatuto del Vino de 1970 ha quedado desfasado de tal forma que sería difícil precisar cuáles de sus preceptos siguen en vigor. De ahí la necesidad de una nueva ley, ya sugerida por el Consejo de Estado en su memoria del año 1996.

Así surgió la Ley 24/2003, de 10 de julio, de la viña y el vino.

Esta ley de cuatro títulos, que tratan sucesivamente de los aspectos generales de la vitivinicultura, de la protección del origen y la calidad de los vinos, del régimen sancionador y del Consejo Español de Vitivinicultura.

En el primero de ellos, después de definir con lenguaje castizo los productos y las prácticas de cultivo, se abordan, las cuestiones capitales en esta materia, tales como lo relativo a las plantaciones y replantaciones, al riego de la vid y al aumento artificial de la graduación alcohólica natural, así como a la drástica medida del arranque de las viñas que estrenó en su tiempo el emperador Domiciano, hijo de Vespasiano, cuando para remediar la escasez de trigo y el exceso de vino mandó descepar la mitad de las viñas en todo el Imperio.

En el título II se establece un sistema de protección de la calidad de los vinos con diferentes niveles, que pueden superponerse para los que proceden de una misma parcela, siempre que las uvas utilizadas y el vino obtenido cumplan los requisitos establecidos. De ahí resultan las distintas categorías de vinos: los de mesa con derecho al uso de menciones geográficas, los vinos de calidad

producidos en regiones determinadas, los de calidad con indicación geográfica, los vinos con denominación de origen calificada o no, y los vinos de pagos, con sus correspondientes órganos de gestión.
En el título III se regula el régimen sancionador aplicable a las infracciones administrativas en materia de vitivinicultura y en relación con los niveles de protección de los vinos, que necesariamente debe establecerse en una norma de rango legal en cumplimiento del principio de legalidad recogido en la Constitución.
No obstante, no todo el título III tiene carácter de normativa básica, sino únicamente aquellos preceptos que por su trascendencia juegan como niveladores del sistema sancionador, de manera que aseguren unos criterios de mínima y básica homogeneidad al conjunto del sistema.
Por su parte el título IV se dedica al Consejo Español de Vitivinicultura, concebido como un órgano colegiado de carácter consultivo de representación de las Administraciones del Estado y de las comunidades autónomas, así como de las organizaciones económicas y sociales que operan en el sector de la vitivinicultura.
Además de para el cumplimiento de las funciones específicas que le marca la ley, el Consejo aspira a ser un foro de encuentro, debate y formulación de iniciativas en orden a la mejora económica, técnica y social del sector vitivinícola español.
Si se compara este contenido con la amplitud del Estatuto del Vino de 1970, pudiera dar la impresión de que estamos ante un texto incompleto. Sin embargo, no es así. Dado que esta materia se halla minuciosamente regulada por el Derecho comunitario, dejando escaso margen de maniobra a los Estados miembros para el ejercicio de su potestad normativa, sería poco prudente incluir en una ley -cuyo principal objetivo es el de proporcionar una seguridad jurídica que ahora no existe- previsiones contingentes.
Así se pone de manifiesto la importancia, la necesidad y la oportunidad de una ley, tan esperada, como ésta, en cuyo proceso de elaboración se ha oído a las comunidades autónomas y se ha recabado el dictamen del Consejo de Estado.
Por último, esta ley tiene la condición de legislación básica dictada al amparo de lo dispuesto en el artículo 149.1.13.a de la Constitución Española, que atribuye al Estado la competencia exclusiva en materia de bases y coordinación de la planificación general de la actividad económica, en aquellos preceptos o parte de los mismos que se especifican en la disposición final segunda.
Pero las exigencias competitivas y mercantiles ponen de manifiesto la necesidad de aplicar determinadas medidas reglamentarias en el sector vitivinícola.
Estas reglamentaciones salvaguardan las motivaciones que por salud, calidad e exigencias del consumidor, están planteándose.
El 22 de junio de 2006 se publicó la Comunicación de la Comisión «Hacia un sector vitivinícola europeo sostenible», junto con una evaluación de impacto en la que se presentaban diversas opciones para reformar el sector vitivinícola.
En esta Comunicación de la Comisión los temas de reflexión fueron:
1.-SÍNTESIS :en la presente Comunicación, la Comisión abrió los debates sobre la futura OCM del vino. Este debate desembocó en la propuesta legislativa relativa a la OCM del vino, presentada por la Comisión en julio de 2007.
2.-PUNTO DE PARTIDA: en la actualidad, la OCM del vino tiene como finalidad limitar la capacidad de producción mediante:

-la limitación de los derechos de plantación, cuyos beneficios se rigen por la concesión de derechos de plantación suplementarios y por el crecimiento de los rendimientos en algunos Estados miembros;

-el arranque definitivo, que prácticamente no se lleva a cabo desde 1996;

-los programas de reestructuración/reconversión centrados en la adaptación de la calidad y la cantidad en función de la demanda de los consumidores. Dichos programas fomentan la producción de vino de calidad, pero también pueden ocasionar un aumento de la producción en general.

También se constatan otros frenos a la competitividad, y, en particular:

-la destilación de crisis de los excedentes de vino, utilizada ahora como medida estructural, también afecta a los vinos de calidad. Este proceso no garantiza ingresos suficientes a los viticultores y, al mismo tiempo, tampoco frena la producción de los excedentes invendibles;

-las ayudas al almacenamiento privado que se han convertido en ayudas estructurales cuyos costes deberían ser asumidos por la industria;

-la rigidez de los procedimientos de adopción y adaptación de las prácticas enológicas;

-la confusión del consumidor desorientado por las etiquetas procedentes de un sistema jurídico complejo y distinto de las clasificaciones internacionales;

-la superposición de las normativas nacionales y regionales, que añade complejidad.

3.-NUEVA POLÍTICA VITIVINÍCOLA DE LA UE. Las nuevas orientaciones europeas en el sector vitivinícola pretender sacar provecho del enorme potencial de la UE, sin dejar de lado la evolución del contexto europeo e internacional.

3.1.-Potencial y deficiencias a escala europea.

La Unión Europea es el primer productor y exportador de vino del mundo, a la vez que el mayor consumidor e importador. Además, el vino europeo goza de renombre internacional desde el punto de vista de la calidad. El sector vitivinícola representa, pues, una actividad económica vital para el empleo y los ingresos por exportación.

Sin embargo, en la actualidad, las importaciones europeas crecen a un ritmo más sostenido que las exportaciones, hasta tal punto que próximamente podrían superar a las exportaciones. El aumento de la producción y de las ventas de vino del nuevo mundo determina que los productores europeos se vean obligados a aumentar su competitividad.

3.2.-Objetivos. La UE pretende aumentar la competitividad de los productores europeos y la reputación de sus vinos para reconquistar los antiguos mercados y ganar otros nuevos. Para lograrlo, el régimen debe apoyarse en normas claras y eficaces que permitan equilibrar la oferta y la demanda. Además, es necesario preservar las mejores tradiciones de la producción vitivinícola europea, reforzar el tejido social en numerosas zonas rurales y garantizar que el conjunto de la producción respete el medio ambiente.

3.3.-Opciones para reformar la OCM del vino.

Para reformar la OCM del vino, la Comisión estudió las siguientes opciones posibles:

-mantenimiento del *statu quo*, acompañado de algunas pequeñas adaptaciones;

-reforma de la OCM del vino según los principios de la reforma general de la PAC;

-desregulación total del sector.

4.-ÚNICA OPCIÓN POSIBLE: REFORMA EN PROFUNDIDAD DE LA OCM DEL VINO.

La Comisión considera que esta opción constituye la respuesta más apropiada si se tienen en cuenta las particularidades del sector. El marco reglamentario y la estructura productiva se modificarán con el fin de dotar a la UE de un sector vitivinícola sostenible y competitivo.

5.-DOS VARIANTES

Para esta reforma se han tenido en cuenta dos orientaciones posibles:

-La variante A (una sola etapa): en este caso se suprimirían simultáneamente los derechos de plantación y el régimen de arranque, bien inmediatamente, o bien el 1 de agosto de 2010 a más tardar. Esta opción daría una respuesta inmediata a las dificultades actuales, pero exigiría una adaptación rápida y difícil del sector.

-La variante B (dos etapas): por el contrario, este enfoque se caracteriza por un período de adaptación estructural, que prevé la reactivación temporal del régimen de arranque. En una primera etapa se restablecería el equilibrio del mercado y en una segunda etapa se aumentaría la competitividad, sobre todo mediante la supresión de los derechos de plantación. El sistema de restricciones de derechos de plantación se prorrogaría hasta 2013. Se incentivaría a los productores menos competitivos para que vendieran sus derechos de plantación rápidamente, ya que la prima de arranque se fijaría en un nivel atractivo durante el primer año, estableciéndose un baremo decreciente para los años siguientes. Los productores competitivos tendrían, de este modo, la posibilidad de aumentar su producción.

6.-CARACTERÍSTICAS COMUNES A LAS DOS VARIANTES

6.1.-Supresión de las medidas de gestión del mercado.

Se suprimirían las medidas de gestión del mercado tales como la destilación de crisis, la ayuda al almacenamiento privado y la ayuda a los mostos. Se abandonaría igualmente la destilación de crisis o se sustituiría por otro mecanismo de seguridad que se vería apoyado por una dotación nacional y por la introducción de medidas más previsoras.

6.2.-Política de calidad e indicaciones geográficas.

La política de calidad ganaría en claridad, simplicidad y transparencia, si se adoptaran las medidas siguientes:

-la revisión en profundidad del marco reglamentario para aproximarlo a las normas internacionales, en particular a las disposiciones del Acuerdo sobre los aspectos de los derechos de propiedad intelectual relacionados con el comercio (ADPIC); la Comisión propone crear dos categorías de vino: vinos sin indicación geográfica y vinos con indicación geográfica; esta última estaría dividida a su vez en dos subcategorías: la de vinos con indicación geográfica protegida (IGP) y la de vinos con denominación de origen protegida (DOP);

-la confirmación, la adaptación, la promoción y la valorización en todo el mundo del concepto de vino de calidad basado en su origen geográfico;

-el refuerzo del papel de las organizaciones interprofesionales para que puedan controlar y gestionar la calidad de los vinos producidos en su territorio.

6.3.-Prácticas enológicas.

En lo que respecta a las prácticas enológicas, la Comisión propone lo siguiente:

-asumir la tarea, hasta ahora responsabilidad del Consejo, de autorizar nuevas prácticas enológicas o de modificar las actuales;

-reconocer las prácticas enológicas de la Oficina Internacional de la Viña y el Vino (OIV) y examinar en qué medida pueden incorporarse en un reglamento de la Comisión;

-autorizar la utilización en la UE de prácticas enológicas ya aprobadas a nivel internacional para la fabricación de vinos que vayan a exportarse a dichos destinos;

-suprimir el requisito relativo al grado alcohólico natural mínimo de los vinos, que ya no tiene razón de ser debido a la limitación propuesta en lo que respecta al aumento artificial del grado alcohólico natural;

-garantizar un nivel mínimo de protección del medio ambiente durante el proceso de producción.

6.4.-Aumento artificial del grado alcohólico natural.

Se hace necesario adoptar una decisión con relación a la ayuda al mosto, tras la reciente reforma del sector del azúcar, que agrava el problema de la utilización de azúcar en lugar de mosto para elevar el grado alcohólico del vino. La solución más ventajosa parece ser la supresión total de la ayuda y prohibir al mismo tiempo la utilización de sacarosa.

6.5.-Etiquetado.

La Comisión propone simplificar las normas de etiquetado a través de un marco jurídico único aplicable a todas las diferentes categorías de vinos y a sus menciones. En particular, sería posible, incluso para los vinos de mesa sin IG, indicar en la etiqueta el nombre de la variedad de vid y del año de cosecha. Este marco se definiría en función de las necesidades expresadas por los consumidores y sería coherente con la política de calidad del vino.

6.6.-Promoción e información.

La Comisión se compromete en una política de promoción e información sobre el vino europeo en el mercado de los terceros países. Asimismo, puede plantearse la realización de campañas informativas en la Unión sobre el consumo responsable y moderado del vino.

6.7.-Medio ambiente.

La Comisión tiene previsto incorporar exigencias fundamentales de respeto del medio ambiente por parte del sector vitivinícola, ya que las prácticas vitivinícolas pueden causar problemas relacionados con la erosión y la contaminación del suelo, la utilización de productos fitosanitarios y la gestión de residuos.

6.8.-Organización Mundial del Comercio (OMC).

La nueva OCM del vino debería ser compatible con las normas de la Organización Mundial del Comercio (OMC). Así pues, se suprimirán las medidas de intervención («compartimiento ámbar») que distorsionan el

comercio actual, y se dará preferencia a las medidas del «compartimiento verde». La prohibición actual de vinificar el mosto importado y de mezclar los vinos comunitarios con vinos no comunitarios se examinará en el mismo sentido.
Estos 6 puntos engloban los temas de reflexión tratados en la Comunicación de la Comisión del 22 de junio de 2006.
Además entre julio y noviembre de 2006 se celebraron debates en el Consejo.
En diciembre de 2006, el Comité Económico y Social Europeo y el Comité de las Regiones adoptaron sendos informes sobre las opciones de reforma del sector vitivinícola propuestas en la Comunicación de la Comisión.
El 15 de febrero de 2007, el Parlamento Europeo adoptó su informe de propia iniciativa sobre la Comunicación, en el que se perfilan algunas conclusiones que se han tenido en cuenta en el Reglamento.

La ultima regulación viene reflejada en el Reglamento (CE) Nº 479/2008 del Consejo, de 29 de abril de 2008, por el que se establece la organización común de mercado vitivinícola, se modifican los Reglamentos (CE) Nº 1493/1999, (CE) Nº 1782/2003, (CE) 1290/2005 y (CE) Nº 3/2008 y se derogan los Reglamentos (CEE) Nº 2392/86 y (CE) Nº 1493/1999.
El presente Reglamento ha ido precedido de una evaluación y una consulta encaminadas a conocer y determinar las necesidades del sector vitivinícola.
En noviembre de 2004 se publicó el informe de la evaluación externa que se había encargado. El 16 de febrero de 2006, la Comisión como antesala legislativa organizó un seminario con el fin de dar a las partes interesadas la oportunidad de expresar sus opiniones.
Antes de la aparición del Reglamento (CE) Nº479/2008, en la propuesta del mismo, se reflejan los motivos específicos de su aparición, en el documento de la Comisión COM (2007) 372 final- 2007/0138 (CNS).
Dicho documento COM incluye la antesala del acto jurídico comunitario. En el se observa, como para preparar el terreno para la reforma de la organización común del mercado vitivinícola, la Comisión financio una evaluación posterior del régimen vigente, que fue realizada por un grupo de profesores universitarios europeos.
Además, al realizar las previsiones a medio plazo del mercado vitivinícola, la Comisión presentó sus supuestos, metodología y resultados a un comité técnico compuesto por profesores universitarios de Francia, España, Italia y Alemania, especializados en los aspectos económicos de este sector.
Las principales preocupaciones manifestadas fueron las siguientes:
– la urgente necesidad de una reforma profunda habida cuenta del análisis económico, diagnóstico de los problemas y objetivos de la reforma presentados por la Comisión;
– los riesgos sociales y económicos que puede entrañar un arranque demasiado rápido y demasiado amplio;
– la urgente necesidad de mejorar la comercialización y promoción del vino;
– el riesgo que puede correr la calidad en caso de levantarse la prohibición de importar mostos para vinificación y de mezclar vinos de la EU y vinos importados.
Y los objetivos de la reforma eran los siguientes:
– aumentar la competitividad de los viticultores de la UE; mejorar la fama que tiene el vino de calidad de la UE de ser el mejor del mundo; recuperar antiguos mercados y conquistar otros nuevos en la UE y a escala mundial;
– crear un régimen vitivinícola que funcione con normas claras y sencillas, que resulten eficaces para equilibrar la oferta y la demanda;
– crear un régimen vitivinícola que preserve las mejores tradiciones vitivinícolas de la UE, potencie el tejido social de numerosas zonas rurales y garantice que toda producción respeta el medio ambiente.
Asimismo, la nueva política vitivinícola de la UE ha de tener debidamente en cuenta las crecientes preocupaciones de la sociedad por la salud y la protección de los consumidores, la necesidad de compatibilidad con la Organización Mundial del Comercio (OMC) y de coherencia con la PAC reformada (primer y segundo pilar) y la conformidad con las perspectivas financieras.

Por último, hay que señalar que esta propuesta fue elaborada a la luz de la propuesta de Reglamento del Consejo por (CE) Nº 479/2008, por el que se establece una organización común de mercados agrícolas, presentada por la Comisión.

Las medidas propuestas en el documento COM fueron las enumeradas a continuación:

1.-La Comisión reconoce tanto los problemas como el potencial del sector y sus particularidades y, de acuerdo con el análisis pormenorizado que se hace en la evaluación de impacto, considera que es necesario mantener una organización común del mercado vitivinícola especifica, que, sin ninguna duda, debe reformarse a fondo.

2.-Lo que se persigue es adaptar la estructura productiva y el marco normativo para lograr un sector vitivinícola europeo sostenible y competitivo con perspectivas a largo plazo, garantizando al mismo tiempo una utilización de los medios presupuestarios lo más rentable posible. Para ello habrá que suprimir desde el principio todas las medidas que hayan demostrado ser ineficaces; es decir, las ayudas a la destilación de subproductos, de alcohol de boca y de vino procedente de uvas de doble uso, así como las ayudas al almacenamiento privado y las restituciones por exportación. Las ayudas al mosto vinculadas al aumento artificial del grado alcohólico natural, que se introdujeron para compensar los costes adicionales que se producen en comparación con los del aumento artificial con azúcar, se suprimirán por coherencia con la prohibición de utilizar azúcar para aumentar artificialmente el grado alcohólico natural.

3.-Una característica importante de esta amplia reforma es que tendrá que compatibilizar la nueva organización común del mercado vitivinícola con la OMC. Así, habrá que eliminar las actuales medidas de intervención que distorsionan el comercio (el «compartimento ámbar») y, cuando se mantengan medidas de apoyo internas, se dará preferencia a las del «compartimento verde».

4.-El planteamiento propuesto comprende dos fases: en la primera, de 2008 a 2013, se quiere restablecer el equilibrio del mercado a la vez que se ayuda a abandonar el sector con dignidad a quienes no puedan competir. A lo largo de ese período se adoptarán nuevas medidas para mejorar la competitividad, entre las cuales, y ya en una segunda fase, la supresión de los derechos de plantación a partir del 1 de enero de 2014.

5.-Posteriormente, a partir del 1 de enero de 2014, se podrá plantar libremente vides para mejorar la competitividad. Lo que se persigue con ello es que los productores vitivinícolas competitivos puedan ampliar su producción con el fin de recuperar antiguos mercados y conquistar otros nuevos en la UE y en terceros países. Ahora bien, las nuevas realidades del mercado y las nuevas competencias de los Estados miembros con respecto a la utilización de las denominaciones de origen protegidas o indicaciones geográficas, por ejemplo, la delimitación de superficies, la fijación de rendimientos máximos y otras normas más estrictas aplicables a la producción, transformación y etiquetado, junto con el fin del recurso sistemático a la red de seguridad que son las destilaciones, limitarán de hecho el número de hectáreas y evitarán el exceso de producción. Toda nueva decisión vinculada a la producción reflejará plenamente la capacidad de los productores para encontrar salidas económicas para sus productos.

6.-Prácticas enológicas más adaptables gracias a lo siguiente:

– traspaso del Consejo a la Comisión de la competencia para aprobar nuevas prácticas enológicas o modificar las existentes, incluida la adopción del acervo, salvo el aumento artificial del grado alcohólico natural y la acidificación;

– evaluación por la Comisión de las prácticas enológicas adoptadas por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) y posterior incorporación en un reglamento de la Comisión;

– autorización del empleo en la UE de prácticas enológicas que ya se hayan aprobado en otros países para la elaboración de vino que vaya a exportarse a esos destinos;

– supresión de los requisitos mínimos que debe reunir el vino en lo relativo al alcohol natural.

7.-La política de calidad se hará más clara, sencilla, transparente y, por lo tanto, más efectiva gracias a lo siguiente:

– establecimiento de un marco claro para los vinos con una indicación geográfica (IG) que sea coherente con la política horizontal de calidad (Reglamento (CE) nº 510/2006 del Consejo); los vinos con una indicación geográfica se dividirán en vinos con una indicación geográfica protegida (IGP) y vinos con una

denominación de origen protegida (DOP); se establecerá un procedimiento para el registro y la protección de las indicaciones geográficas;
– mantenimiento de la prohibición del sobreprensado de las uvas con el fin de garantizar la calidad del vino; se aplicará en virtud del principio de subsidiariedad;
– ampliación de la función de las organizaciones interprofesionales con el fin de controlar y gestionar la calidad del vino producido en sus territorios; se refuerzan asimismo los instrumentos de control, en concreto para la producción de vinos varietales.
8.-La Comisión propone simplificar las disposiciones sobre etiquetado estableciendo un marco jurídico único que se aplicará a todas las categorías de vino y a las indicaciones relacionadas con ellas. Así se satisfarán las necesidades de los consumidores y se logrará una mayor coherencia con la política de calidad del vino. Ello implica lo siguiente:
– trasladar las competencias del Consejo a la Comisión;
– utilizar un instrumento jurídico único para todos los vinos, complementando como convenga las disposiciones de la Directiva horizontal sobre etiquetado (2000/13/CE) para satisfacer las necesidades particulares del sector vitivinícola en lo relativo al etiquetado obligatorio y facultativo;
– mejorar la flexibilidad de la política de etiquetado, teniendo en cuenta las políticas de la OMC; para ello habrá que suprimir la distinción entre las normas de etiquetado de los vinos con denominación de origen o indicación geográfica protegida y sin ella, y, lo que es más importante, facilitar la indicación de la variedad de vid y la cosecha de los vinos sin denominación de origen o indicación geográfica protegida que cumplan unos requisitos sobre trazabilidad apropiados;
– garantizar la información y protección de los consumidores, proporcionándoles datos precisos sobre el origen del producto; para ello se necesitan unas normas apropiadas de etiquetado en materia de trazabilidad.
9.-Propiciar un mejor conocimiento de los vinos europeos por el consumidor.
La Comisión tiene la intención de aplicar con energía una política responsable de promoción e información. Deben aprovecharse todas las disposiciones de la normativa comunitaria y establecerse otras nuevas con los fines siguientes:
– realizar nuevos proyectos de promoción fuera de la UE utilizando las dotaciones nacionales, para lo que se contará con un ambicioso presupuesto de 120 millones de euros;
– llevar a cabo proyectos de promoción mejorados utilizando fondos de desarrollo rural de las organizaciones de productores que opten por regímenes de calidad;
– financiar en la UE nuevas campañas de información sobre el consumo responsable y moderado del vino, para lo que se utilizará el marco jurídico horizontal de promoción aplicando un porcentaje de cofinanciación aumentado (fijado en el 60 %); también se mejorarán las actuales campañas de información sobre la clasificación de las indicaciones geográficas europeas; con este fin, se modificará el Reglamento (CE) nº 2826/2000 del Consejo y se pondrán a disposición más fondos.
10.-Intercambios comerciales con terceros países.
Teniendo en cuenta que las negociaciones de la OMC no han concluido aún y que se desconoce cuáles serán sus resultados, la propuesta de reforma no modifica en absoluto el marco jurídico que se aplica actualmente al comercio exterior, salvo en lo relativo a las restituciones por exportación.
Estos 10 puntos incluyen la propuesta del Reglamento (CE) Nº 479/2008 del Consejo. El cual se aplicara a partir del pasado 1 de agosto de 2008, con algunas salvedades puntuales. Tal reglamento, sera obligatorio en todos sus elementos y de aplicación directa en cada uno de los estados miembros.
Las definiciones definitivas incluidas en este acto jurídico comunitario, son entre otras:
"denominación de origen": el nombre de una región, de un lugar determinado o, en casos excepcionales, de un país, que sirve para designar un producto referido en el artículo 33, apartado 1 del reglamento, que cumple los requisitos siguientes:
i)su calidad y sus características se deben básica o exclusivamente a un entorno geográfico particular, con los factores naturales y humanos inherentes a él,
ii) las uvas utilizadas en su elaboración proceden exclusivamente de esa zona geográfica,
iii) la elaboración tiene lugar en esa zona geográfica,

iv) se obtiene de variedades de vid de la especie Vitis vinifera;
"indicación geográfica": una indicación que se refiere a una región, a un lugar determinado o, en casos excepcionales, a un país, que sirve para designar un producto referido en el artículo 33, apartado 1, que cumple los requisitos siguientes:
i)posee una calidad, una reputación u otras características específicas atribuibles a su origen geográfico,
ii) al menos el 85 % de la uva utilizada en su elaboración procede exclusivamente de esa zona geográfica,
iii) la elaboración tiene lugar en esa zona geográfica,
iv) se obtiene de variedades de vid de la especie Vitis vinifera o de un cruce entre esta especie y otras especies del género Vitis.
"Campaña vitícola": la campaña de producción de los productos a que se refiere el presente Reglamento; comienza el 1 de agosto de cada año y finaliza el 31 de julio del año siguiente.
"Arranque": eliminación total de las cepas que se encuentren en una superficie plantada de vid.
"Plantación": colocación definitiva de plantones de vid o partes de plantones de vid, injertados o no, con vistas a la producción de uva o al cultivo de viñas madres de injertos.
"Sobreinjerto": el injerto efectuado sobre una vid ya injertada con anterioridad.
"Uva fresca": el fruto de la vid utilizado en vinificación, maduro o incluso ligeramente pasificado, que puede ser estrujado o prensado con medios corrientes de bodega e iniciar espontáneamente una fermentación alcohólica.
"Mosto de uva fresca "apagado" con alcohol": el producto:
a) con un grado alcohólico adquirido igual o superior al 12 % vol. e inferior al 15 % vol.;
b) obtenido mediante adición a un mosto de uva no fermentado, con un grado alcohólico natural no inferior al 8,5 % vol. y procedente exclusivamente de variedades de uva de vinificación que sean clasificables conforme a lo dispuesto en el artículo 24, apartado 1 del reglamento:
i) bien de alcohol neutro de origen vínico, incluido el alcohol procedente de la destilación de uvas pasas, con un grado alcohólico adquirido no inferior al 96 % vol.,
ii) o bien de un producto no rectificado procedente de la destilación de vino, con un grado alcohólico adquirido no inferior al 52 % ni superior al 80 % vol.
"Zumo de uva": el producto líquido no fermentado, pero capaz de fermentar:
a) obtenido por métodos adecuados que lo hagan apto para ser consumido tal cual;
b) obtenido a partir de uva fresca o de mosto de uva o por reconstitución; si se obtiene por reconstitución, debe reconstituirse a partir de mosto de uva concentrado o de zumo de uva concentrado.
Se admite un grado alcohólico adquirido en el zumo de uva que no exceda del 1 % vol.
"Zumo de uva concentrado": el zumo de uva sin caramelizar obtenido por deshidratación parcial de zumo de uva, realizada por cualquier método autorizado, excepto el fuego directo, de modo que el valor numérico indicado por el refractómetro, utilizado según un método que se determinará, a la temperatura de 20 oC no sea inferior al 50,9 %.
Se admite un grado alcohólico adquirido en el zumo de uva concentrado que no exceda del 1 % vol.
"Lías de vino":
a) el residuo que se deposita en los recipientes que contienen vino después de la fermentación, durante el almacenamiento o después de un tratamiento autorizado;
b) el residuo obtenido mediante filtración o centrifugación del producto indicado en la letra a);
c) el residuo que se deposita en los recipientes que contienen mosto de uva durante el almacenamiento o después de un tratamiento autorizado;
d) el residuo obtenido mediante filtración o centrifugación del producto indicado en la letra c).
"Orujo de uva": el residuo del prensado de uva fresca, fermentado o sin fermentar.
"Piqueta": el producto obtenido:
a) mediante fermentación de orujo fresco de uva macerado en agua;
b) por agotamiento con agua de orujo de uva fermentado.
"Vino alcoholizado": el producto:
a) con un grado alcohólico adquirido igual o superior al 18 % vol. e inferior al 24 % vol.;

b) obtenido exclusivamente mediante adición de un producto no rectificado, procedente de la destilación del vino y cuyo grado alcohólico volumétrico adquirido máximo sea del 86 % vol., a vino que no contenga azúcar residual;
c) con una acidez volátil máxima de 1,50 gramos por litro, expresada en ácido acético.
"Vino base":
a) el mosto de uva;
b) el vino;
c) la mezcla de mostos de uva y/o de vinos que tengan características distintas,

destinados a obtener un determinado tipo de vinos espumosos.

"Grado alcohólico volumétrico adquirido": número de volúmenes de alcohol puro, a la temperatura de 20ºC, contenidos en 100 volúmenes del producto considerado a dicha temperatura.

"Grado alcohólico volumétrico en potencia": número de volúmenes de alcohol puro, a la temperatura de 20ºC, que pueden obtenerse por fermentación total de los azúcares contenidos en 100 volúmenes del producto considerado a dicha temperatura.

"Grado alcohólico volumétrico total": suma de los grados alcohólicos volumétricos adquirido y en potencia.

"Grado alcohólico volumétrico natural": grado alcohólico volumétrico total del producto considerado antes de cualquier aumento artificial del grado alcohólico natural.

"Grado alcohólico adquirido expresado en masa": número de kilogramos de alcohol puro contenido en 100 kilogramos del producto.

"Grado alcohólico en potencia expresado en masa": número de kilogramos de alcohol puro que pueden obtenerse por fermentación total de los azúcares contenidos en 100 kilogramos del producto.

"Grado alcohólico total expresado en masa": suma del grado alcohólico adquirido expresado en masa y del grado alcohólico en potencia expresado en masa.

CATEGORÍAS DE PRODUCTOS VITÍCOLAS

1. Vino.

Es el producto obtenido exclusivamente por fermentación alcohólica, total o parcial, de uva fresca, estrujada o no, o de mosto de uva.

El vino debe tener:

a) tanto si se han efectuado las operaciones señaladas en la letra B del anexo V como si no, un grado alcohólico adquirido no inferior al 8,5 % vol., cuando proceda exclusivamente de uva cosechada en las zonas vitícolas A y B a que se refiere el anexo IX, y no inferior al 9 % vol. en las restantes zonas vitícolas;

b) no obstante el grado alcohólico adquirido mínimo aplicable en general, un grado alcohólico adquirido no inferior al 4,5 % vol., si está acogido a una denominación de origen protegida o a una indicación geográfica protegida, tanto si se han efectuado las operaciones señaladas en la letra B del anexo V como si no;

c) un grado alcohólico total no superior al 15 % vol.; a título excepcional:

- el límite máximo del grado alcohólico total podrá llegar al 20 % vol. para los vinos de determinadas zonas vitícolas de la Comunidad, a determinar con arreglo al procedimiento contemplado en el artículo 113, apartado 2, que se produzcan sin aumento artificial del grado alcohólico,

- el límite máximo del grado alcohólico total podrá superar el 15 % vol. para vinos con denominación de origen protegida que se produzcan sin aumento artificial del grado alcohólico.

d) una acidez total, expresada en ácido tartárico, no inferior a 3,5 gramos por litro o a 46,6 miliequivalentes por litro, salvo las excepciones que se puedan adoptar con arreglo al procedimiento contemplado en el artículo 113, apartado 2.

El vino "retsina" es el producido exclusivamente en el territorio geográfico de Grecia a partir de mosto de uva tratado con resina de Pinus halepensis. La utilización de resina de Pinus halepensis solo se permite para obtener vino "retsina" en las condiciones definidas por la legislación griega en vigor.

Como excepción a lo dispuesto en la letra b), "Tokaji eszencia" y "Tokajská esencia" se consideran vinos.

2. Vino nuevo en proceso de fermentación

Es el producto cuya fermentación alcohólica aún no ha concluido y que aún no ha sido separado de las lías.

3. Vino de licor

Es el producto:

a) con un grado alcohólico adquirido no inferior al 15 % vol. ni superior al 22 % vol.;

b) con un grado alcohólico total no inferior al 17,5 % vol., con la excepción de determinados vinos de licor con una denominación de origen o una indicación geográfica que figuren en la lista que se adopte con arreglo al procedimiento contemplado en el artículo 113, apartado 2;

c) obtenido a partir de:

- mosto de uva parcialmente fermentado,

- vino,

- una mezcla de esos dos productos, o

- mosto de uva o una mezcla de este producto con vino, en el caso de los vinos de licor con una denominación de origen protegida o una indicación geográfica protegida que figuren en la lista que se adopte con arreglo al procedimiento contemplado en el artículo 113, apartado 2 del reglamento;

d) que tenga un grado alcohólico natural inicial no inferior al 12 % vol., con la excepción de determinados vinos de licor con una denominación de origen o una indicación geográfica protegida que figuren en la lista que se adopte con arreglo al procedimiento contemplado en el artículo 113, apartado 2 del reglamento;

e) al que se hayan añadido:

i) solos o mezclados:

- alcohol neutro de origen vínico, incluido el alcohol producido por destilación de pasas, con un grado alcohólico adquirido no inferior al 96 % vol.,

- destilado de vino o de pasas, con un grado alcohólico adquirido no inferior al 52 % vol. ni superior al 86 % vol.,

ii) así como, en su caso, uno o varios de los productos siguientes:

- mosto de uva concentrado,

- una mezcla de uno de los productos señalados en la letra e), inciso i), con uno de los mostos de uva señalados en el primer y cuarto guiones de la letra c);

f) en el caso de determinados vinos de licor con una denominación de origen protegida o una indicación geográfica protegida que figuren en la lista que se adopte con arreglo al procedimiento del artículo 113, apartado 2 del reglamento, al cual se hayan añadido, no obstante lo dispuesto en la letra e):

i) bien productos enunciados en la letra e), inciso i), solos o mezclados, o

ii) uno o varios de los productos siguientes:

- alcohol de vino o alcohol de pasas con un grado alcohólico adquirido que no sea inferior al 95 % vol. ni superior al 96 % vol.,

- aguardiente de vino o de orujo de uva con un grado alcohólico adquirido que no sea inferior al 52 % vol. ni superior al 86 % vol.,

- aguardiente de pasas con un grado alcohólico adquirido que no sea inferior al 52 % vol. e inferior al 94,5 % vol.,

iii) y, en su caso, uno o varios de los productos siguientes:

- mosto de uva parcialmente fermentado procedente de uva pasificada,

- mosto de uva concentrado obtenido por aplicación directa de calor que se ajuste, exceptuando por esta operación, a la definición de mosto de uva concentrado,

- mosto de uva concentrado,

- una mezcla de uno de los productos señalados en la letra f), inciso ii), con uno de los mostos de uva señalados en el primer y cuarto guiones de la letra c).

4. Vino espumoso

Es el producto:

a) obtenido mediante primera o segunda fermentación alcohólica:

- de uvas frescas,

- de mosto de uva,

- de vino;

b) que, al descorchar el envase, desprende dióxido de carbono procedente exclusivamente de la fermentación;

c) que, conservado a una temperatura de 20ºC en envases cerrados, alcanza una sobrepresión debida al dióxido de carbono disuelto igual o superior a 3 bares;

d) en el que el grado alcohólico volumétrico total del vino base destinado a su elaboración es de 8,5 % vol. como mínimo.

5. Vino espumoso de calidad

Es el producto:

a) obtenido mediante primera o segunda fermentación alcohólica:

- de uvas frescas,

- de mosto de uva,

- de vino;

b) que, al descorchar el envase, desprende dióxido de carbono procedente exclusivamente de la fermentación;

c) que, conservado a una temperatura de 20ºC en envases cerrados, alcanza una sobrepresión debida al dióxido de carbono disuelto igual o superior a 3,5 bares.

d) en el que el grado alcohólico volumétrico total del vino base destinado a la elaboración de vino espumoso de calidad es de 9 % vol. como mínimo.

6. Vino espumoso aromático de calidad

Por vino espumoso aromático de calidad se entenderá el vino espumoso de calidad:

a) obtenido, recurriendo, cuando constituya el vino base, únicamente a partir de mosto de uva o mosto de uva parcialmente fermentado procedentes de determinadas variedades de uva de vinificación que figure en una lista que se elaborará con arreglo al procedimiento contemplado en el artículo 113, apartado 2. Los vinos espumosos aromáticos de calidad tradicionalmente producidos utilizando vinos al constituirse el vino base, se determinarán con arreglo al procedimiento contemplado en el artículo 113, apartado 2;

b) con un exceso de presión debido al dióxido de carbono en solución no inferior a 3 bares si se mantiene a una temperatura de 20ºC en contenedores cerrados;

c) cuyo grado alcohólico volumétrico adquirido no puede ser inferior a 6 % vol.;

d) cuyo grado alcohólico volumétrico total no puede ser inferior a 10 % vol.

Las normas específicas relativas a otras características o condiciones adicionales de elaboración y circulación se determinarán con arreglo al procedimiento contemplado en el artículo 113, apartado 2.

7. Vino espumoso gasificado

Es el producto:

a) obtenido a partir de vino sin denominación de origen protegida ni indicación geográfica protegida;

b) que, al descorchar el envase, desprende dióxido de carbono procedente total o parcialmente de una adición de este gas;

c) que, conservado a una temperatura de 20ºC en envases cerrados, alcanza una sobrepresión debida al dióxido de carbono disuelto igual o superior a 3 bares.

8. Vino de aguja

Es el producto:

a) obtenido a partir de vino que tenga un grado alcohólico volumétrico total no inferior al 9 % vol.;

b) con un grado alcohólico adquirido no inferior al 7 % vol.;

c) que, conservado a una temperatura de 20ºC en envases cerrados, alcanza una sobrepresión debida al dióxido de carbono endógeno disuelto no inferior a 1 bar ni superior a 2,5 bares;

d) que se presente en recipientes de 60 litros o menos.

9. Vino de aguja gasificado

Es el producto:

a) obtenido a partir de vino;

b) con un grado alcohólico adquirido no inferior al 7 % vol. y un grado alcohólico total no inferior al 9 % vol.;

c) que, conservado a una temperatura de 20ºC en envases cerrados, alcanza una sobrepresión debida al dióxido de carbono disuelto, añadido total o parcialmente, no inferior a 1 bar ni superior a 2,5 bares;

d) que se presente en recipientes de 60 litros o menos.

10. Mosto de uva

Es el producto líquido obtenido de uva fresca de manera natural o mediante procedimientos físicos. Se admite un grado alcohólico adquirido que no exceda del 1 % vol.

11. Mosto de uva parcialmente fermentado

Es el producto procedente de la fermentación de mosto de uva, con un grado alcohólico adquirido superior al 1 % vol. e inferior a las tres quintas partes de su grado alcohólico volumétrico total.

12. Mosto de uva parcialmente fermentado procedente de uva pasificada

Es el producto procedente de la fermentación parcial de mosto de uva obtenido a partir de uvas pasificadas, con un contenido total de azúcar antes de la fermentación de 272 gramos/litro como mínimo y con un grado alcohólico natural y adquirido no inferior al 8 % vol. No obstante, no se considerarán mostos de uva parcialmente fermentados procedentes de uva pasificada determinados vinos que tienen esas características que se especificarán con arreglo al procedimiento contemplado en el artículo 113, apartado 2.

13. Mosto de uva concentrado

Es el mosto de uva sin caramelizar obtenido por deshidratación parcial de mosto de uva, efectuada por cualquier método autorizado, excepto el fuego directo, de modo que el valor numérico indicado por el refractómetro, utilizado según un método que se determinará con arreglo al artículo 31, a la temperatura de 20ºC no sea inferior al 50,9 %

Se admite un grado alcohólico adquirido que no exceda del 1 % vol.

14. Mosto de uva concentrado rectificado

Es el producto líquido sin caramelizar:

a) obtenido por deshidratación parcial de mosto de uva, efectuada por cualquier método autorizado, excepto el fuego directo, de modo que el valor numérico indicado por el refractómetro, utilizado según un método que se determinará con arreglo al artículo 31, a la temperatura de 20 oC no sea inferior al 61,7 %;

b) que haya sido sometido a un tratamiento autorizado de desacidificación y de eliminación de componentes distintos del azúcar;

c) que tenga las siguientes características:

- pH no superior a 5 a 25º Brix,

- densidad óptica, a 425 nanómetros bajo un espesor de 1 cm, no superior a 0,100 en mosto de uva concentrado a 25 oBrix,

- contenido en sacarosa no detectable por el método de análisis que se determine,

- índice Folin-Ciocalteau no superior a 6,00 a 25 oBrix,

- acidez titulable no superior a 15 miliequivalentes por kilogramo de azúcares totales,

- contenido en anhídrido sulfuroso no superior a 25 miligramos por kilogramo de azúcares totales,

- contenido en cationes totales no superior a 8 miliequivalentes por kilogramo de azúcares totales,

- conductividad a 25º Brix y a 20ºC no superior a 120 microsiemens por centímetro,

- contenido en hidroximetilfurfural no superior a 25 miligramos por kilogramo de azúcares totales,

- presencia de mesoinositol.

Se admite un grado alcohólico adquirido que no exceda del 1 % vol.

15. Vino de uvas pasificadas

Es el producto:

a) elaborado sin aumento artificial del grado alcohólico natural, a partir de uvas secadas al sol o a la sombra para su deshidratación parcial;

b) con un grado alcohólico total de al menos 16 % vol. y un grado alcohólico adquirido de al menos 9 % vol.

c) con un grado alcohólico natural de al menos 16 % vol. (o un contenido de azúcar de 272 gramos/litro).

16. Vino de uvas sobremaduradas

Es el producto:

a) elaborado sin aumento artificial del grado alcohólico natural;

b) con un grado alcohólico natural superior al 15 % vol.;

c) con un grado alcohólico total no inferior al 15 % vol. y un grado alcohólico adquirido no inferior al 12 % vol.

Los Estados miembros pueden estipular un período de envejecimiento para este producto.

17. Vinagre de vino

Es el vinagre:

a) obtenido exclusivamente por fermentación acética de vino;

b) con una acidez total, expresada en ácido acético, no inferior a 60 gramos por litro.

BIBLIOGRAFIA.

-Buján, J. (2002). Guía de la Nueva Cultura del Vino. Ed. Rubes editorial, Barcelona.

- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2008). Introducción a la Ley del Viña y el vino.

-Tratado constitutivo de la Comunidad Europea. Tercera parte. Políticas de la Comunidad. TÍTULO II. Agricultura.

-Propuesta de REGLAMENTO DEL CONSEJO por el que se establece la organización común del mercado vitivinícola y se modifican determinados Reglamentos (presentada por la Comisión) COM (2007) 372 final 2007/0138 (CNS) {SEC(2007) 893} {SEC(2007) 894}.

-Dictamen del Comité Económico y Social Europeo sobre la Propuesta de Reglamento del Consejo por el que se establece la organización común del mercado vitivinícola y se modifican determinados Reglamentos COM (2007) 372 final — 2007/0138 (CNS)

-Reglamento (CE) nº 479/2008 del Consejo, de 29 de abril de 2008, por el que se establece la organización común del mercado vitivinícola, se modifican los Reglamentos (CE) nº 1493/1999, (CE) nº 1782/2003, (CE) nº 1290/2005 y (CE) nº 3/2008 y se derogan los Reglamentos (CEE) nº 2392/86 y (CE) nº 1493/1999 (DO L 148 de 6.6.2008).

-Corrección de errores del Reglamento (CE) n o 479/2008 del Consejo, de 29 de abril de 2008 , por el que se establece la organización común del mercado vitivinícola, se modifican los Reglamentos (CE) nº 1493/1999, (CE) nº 1782/2003, (CE) nº 1290/2005 y (CE) nº 3/2008 y se derogan los Reglamentos (CEE) nº 2392/86 y (CE) nº 1493/1999 (DO L 148 de 6.6.2008).

-Ley 24/2003, de 10 de julio, de la Viña y del Vino. (BOE 11 de julio de 2003).

ESTUDIO DE LOS PARAMETROS TECNOLÓGICOS EN LA PREHIDRÓLISIS DEL BAGAZO PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL

Autores: Lic. Hernández Corvo Y. , MSc. Medina Estévez M., Lic. Hernández R.

Institución: UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba-9
Email: investc9@enet.cu Telef: 047 425654

RESUMEN

En los últimos años como consecuencia del aumento de los precios del petróleo y las exigencias ecológicas ha crecido el interés por la producción de etanol como combustible. Esta producción ha despertado gran interes en el mundo entero a partir de materiales lignocelulósicos que se obtienen como subproductos agrícolas y forestales, debido a su bajo costo y alta disponibilidad. El bagazo presenta propiedades que lo agregan en la lista de materias primas disponibles.

En el presente trabajo se estudian diferentes condiciones de operación para realizar la prehidrólisis del bagazo con el objetivo de hidrolizar las hemicelulosas y posterior separación de la lignina, obteniéndose de esta forma un licor rico en xilosa y una fibra con alto contenido de celulosa que por posterior hidrólisis y fermentación pasa a etanol. Se varían aleatoriamente los parámetros temperatura, tiempo e hidromódulo y así se obtiene un producto con las características óptimas para la posterior fermentación. Este se caracteriza realizando diferentes análisis que permiten ajustar los parámetros tecnológicos para la obtención del licor final.

Palabras Claves: Bagazo, Prehidrólisis, Etanol

Abstract

In the last years like consequence of the petroleum prices increase and ecological demand the interest for the ethanol production as fuel. This production has revived great interest in the whole world in starting from lignocelulosic materials are obtained as agricultural and forest by-products, due to its low cost and high readiness. The bagasse presents properties that add it in the list of raw matters available.

In this work was studied different conditions of operation for to carry out the bagasse prehydrolisis with the objetive of hydrolizer the hemicellulose and later lignin separation, finally was obtained the liquor rich in xylose. Was changed the parameters temperature, time and hydromodule with objetive of obtain the product with optimum characteristics for the later fermentation. This product was characterized carrying out different analysis that allow to adjust the tecnologycal parameters for the obtaining of the final liquor.

Key Words: Bagasse, Prehydrolisis, Ethanol

INTRODUCCION

El aumento en los últimos años de la producción de etanol en el mundo está vinculado al desarrollo de nuevas tecnologías que permitan obtener etanol a partir de materiales lignocelulósicos como alternativa interesante desde el punto de vista de costos y disponibilidad de la materia prima **(Oliva, 2004; Catá, 2004; Di Pardo, 2003).** El etanol combustible es una alternativa para la sustitución parcial o total de la gasolina en el transporte automotor **(Singh y otros, 1984).**

En el mundo se realizan investigaciones para desarrollar la producción a escala comercial de etanol a partir de biomasas lignocelulósicas. Los materiales que más se han investigado son la madera y los residuos forestales, papel reciclado y residuos de la industria papelera, bagazo de caña, los desechos agrícolas, así como los residuos sólidos urbanos. En el caso del bagazo y otros residuos de la industria azucarera son materiales que por su alto contenido de glúcidos, su bajo costo y su disponibilidad podrían ser la mejor opción para la producción de etanol en Cuba.

La conversión de materiales lignocelulósicos a etanol requiere dos etapas fundamentales: hidrólisis de la celulosa del material lignocelulósico a azúcares reductores fermentables y la fermentación de los azúcares a etanol **(Jeewon, 1997).** Este proceso consta de las siguientes etapas:

1. Pretratamiento, cuya función es hacer más susceptible y accesible el material para la etapa posterior.
2. Prehidrólisis, que permite liberar las hemicelulosas que contiene el material.
3. Hidrólisis, que libera la glucosa presente en los materiales lignocelulósicos.
4. Fermentación de las hexosas y pentosas para obtener etanol.
5. Separación y concentración del etanol.

En este trabajo se pretende realizar un diseño de experimentos 2^3 que permita estudiar diferentes condiciones de operación en la prehidrólisis del bagazo con el objetivo de hidrolizar las hemicelulosas y posterior separación de la lignina, obteniéndose de esta forma un licor rico en xilosa y así encontrar las mejores condiciones de operación.

MATERIALES Y METODOS

El equipamiento utilizado para la realización del trabajo experimental es el siguiente:

1. Digestor Rotatorio

Los experimentos correspondientes a la etapa de prehidrólisis se realizaron en un **digestor rotatorio** ubicado en la planta piloto de pulpa en Cuba 9 .A continuación se describen las características del equipo.

Tabla I. Características técnicas del digestor

Características	
Capacidad	**18 L**
Medio de calentamiento	**Resistencia eléctrica**
Control de temperatura	**Hasta 200^{o}C**
Material	**Acero inoxidable**

2. Carro Lavador

Se utilizó con el objetivo de recoger la muestra del prehidrolizado y filtrarlo para asegurar que no queden restos de fibra en el mismo. La siguiente tabla reporta las características del equipo.

Tabla II. Características técnicas del carro lavador

Características	
Capacidad	**10 L**
Malla	**60 mesh**
Forma	**rectangular**
Material	**Acero inoxidable**

Figura I. Digestor Rotatorio y carro lavador.

Los licores de prehidrólisis fueron obtenidos a partir de un bagazo integral a granel por el sistema Cuba 9, cuyas características se reflejan a continuación en la **Tabla III.** Esta caracterización fue realizada mediante la aplicación de métodos de análisis químicos convencionales.

Tabla III. Características del bagazo integral

Componentes	Composición (%)
Celulosa	**46,4**
Pentosanos (Hemicelulosas)	**23,9**
Lignina	**23,6**
Extractivos	**2,4**
Cenizas	**3,7**

Para los experimentos se tomó como base de cálculo 1 kg de bagazo (base seca). Este presenta un 68 % de humedad, por lo que el volumen de líquido total a adicionar al digestor (en este caso agua) depende del hidromódulo fijado y del contenido de agua que contiene el bagazo. El hidromódulo utilizado, es una de las variables independientes y expresa la relación entre el líquido total y el sólido total. Al producto obtenido de la prehidrólisis se le realizaron los análisis correspondientes a la determinación del contenido de lignina y pentosanos a la fibra y pH, xilosa y furfural al licor.

Para realizar la prehidrólisis se estudia un diseño de experimento 2^3 y se ajustan los parámetros de operación prefijados en el **digestor rotatorio.** Estos parámetros son: temperatura, hidromódulo y tiempo. Finalizado este proceso el licor de prehidrólisis es vertido en un carro lavador. Posteriormente las muestras se trasladan al laboratorio para realizar los análisis correspondientes.

Al producto obtenido se le realizan los siguientes análisis:

- Determinación de humedad: El contenido de humedad es la cantidad de agua que contiene el sólido (en este caso la fibra de bagazo) en equilibrio con el agua que se encuentra en la atmósfera
- Determinación de la lignina insoluble: Este método consiste en tratar la muestra con ácido sulfúrico para hidrolizar los carbohidratos y solubilizarlos, dejando la lignina insoluble, la cual es filtrada y pesada. Posteriormente, en el filtrado ácido se determina la porción de la lignina que se ha solubilizado.
- Determinación de xilosa en el licor de prehidrólisis: Las muestras fueron sometidas a procesos de neutralización y filtración antes de ser determinadas las concentraciones por cromatografía líquida de alta eficiencia ***(HPLC)*** en la que se emplearon patrones de xilosa de grado cromatográfico de 98%-99% de pureza, con un detector de índice de refracción.
- Determinación del furfural en el prehidrolizado: Para las determinaciones de la concentración de furfural e hidroximetilfurfural en los prehidrolizados, las muestras fueron neutralizadas y filtradas, realizándose la determinación por un método espectrofotométrico en equipo ***UNICAM 8700***, realizándose la lectura a 276nm.
- Determinación de celulosa en la fibra: Se basa en la nitración de la lignina para aislar la celulosa, mediante extracciones posteriores de toda la sustancia no celulósica.
- Determinación de pH en el licor: Este método es empleado para la determinación de pH en muestras líquidas. Las medidas de pH de un extracto indica la presencia de iones básicos o ácidos, los cuales pueden contribuir a la potencial degradación de la xilosa en el prehidrolizado.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se realizó un diseño de experimentos 2^3 para la realización de la prehidrólisis, con el objetivo de estudiar las condiciones experimentales en la obtención del licor óptimo para la posterior fermentación, siendo los parámetros variables la temperatura (150 y 180 ^oC); tiempo (60 y 90 min) e hidromódulo (6 y 8), las condiciones bajo las cuales se desarrollan se muestran en la siguiente tabla.

Tabla IV. Diseño de experimentos

Corridas	Temperatura (^oC)	Tiempo (min)	Hidromódulo
1	**150**	**60**	**6**
2	**180**	**60**	**6**
3	**150**	**90**	**6**
4	**180**	**90**	**6**
5	**150**	**60**	**8**
6	**180**	**60**	**8**
7	**150**	**90**	**8**
8	**180**	**90**	**8**

Finalizado el proceso de prehidrólisis, se obtiene la fibra y el licor, que entre los componentes de este último se encuentran: xilosa, glucosa, arabinosa, galactosa, compuestos fenólicos y furfural, entre otros, siendo el furfural un inhibidor de la fermentación alcohólica de estos azúcares. Es por esto que el licor óptimo para la final obtención de etanol debe tener valores máximos de xilosa y mínimos de lignina y furfural.

A continuación se muestra una tabla con los resultados obtenidos de los análisis realizados a la fibra y el licor de las 8 corridas experimentales.

Tabla V. Resultados de los análisis realizados en cada experimento.

Corridas	Concentración de xilosa (g/L)	Concentración de furfural (g/L)	% de lignina en la fibra	% de celulosa en la fibra	% de hemicelulosa en la fibra
1	30,59	2,40	22.8	44.5	22
2	**38,24**	**2,12**	**23.4**	**46.4**	**20**
3	28,13	2,51	22.7	45.0	22.5
4	36,87	2,20	23.1	45.4	21
5	28,22	2,46	22.7	45.0	22
6	37,42	2,15	23.4	45.4	21
7	27,4	2,61	22.4	44.0	23
8	36,05	2,36	22.8	45.4	20.5

Concentración de xilosa

Los resultados obtenidos experimentalmente de concentración de xilosa **(Tabla V)** son similares a los reportados en la literatura **(Lasser, 2002)**. La temperatura, parámetro de operación prefijado (150-180 ^0C), tiene un efecto notable en los valores de concentración de xilosa obtenidos, al aumentar la temperatura, aumenta la concentración de xilosa en el licor de prehidrólisis. En la literatura aparecen reportados valores

superiores de temperatura de trabajo (200-240 ^{0}C) y esto implica mejores resultados, pero no se pudo trabajar a temperaturas más elevadas por limitaciones en el equipamiento disponible.

Porciento de Hemicelulosa

Para el análisis de los resultados del porciento de hemicelulosa se tomó como patrón de referencia los resultados descritos por Martín **(Martín, 2002)**. Este plantea que de la hemicelulosa prehidrolizada, el mayor contenido en cuanto a concentración entre las pentosas, lo presenta la xilosa, aunque existen otros monosacáridos como: arabinosa, galactosa, manosa, entre otros. Los resultados finales demuestran que las pentosas no xilosas se encuentran en muy baja concentración, pudiendo ser despreciadas.

Se quiere destacar la gran relación existente entre la temperatura con respecto al porciento de hemicelulosa, demostrándose la necesidad de trabajar a altas temperatura para obtener mejores resultados de hemicelulosa conllevando a un rendimiento más elevado en cuanto a concentración de xilosa. No obstante, el incremento de temperatura está limitado por un factor práctico, la disponibilidad de equipamiento y uso energético, ya que la mayor temperatura incrementa el consumo de energía para el calentamiento.

Porciento de Celulosa

La celulosa es un monosacárido de tipo hexosa, que por hidrólisis puede producir glucosa, la que por fermentación es transformada en etanol. Como quiera que las condiciones para la transformación de los compuestos de 5 y 6 carbonos no coinciden, lo más recomendable es que la celulosa en el hidrolizado sea la menor posible.

Los resultados obtenidos de la celulosa también fueron comparados con la literatura **(Láser, 2002)** resultando satisfactorios pues cumplieron con el intervalo de porcentajes entre 95-100% de recuperación de la celulosa en la fibra, con relación al contenido de celulosa en el bagazo inicial, demostrando la gran significación que presenta la misma con la temperatura.

Porciento de Lignina

La lignina es un agente inhibidor de la fermentación pues afecta el ataque microbiano **(Martín, 2002)**. En cuanto a rendimiento de lignina, los resultados obtenidos fueron los esperados pues la lignina presente en la fibra mantuvo un porcentaje mayor de 95%, con relación al contenido de lignina en el bagazo inicial obteniéndose en la corrida 2, que en este caso es la óptima, un valor del 99%, demostrando que la lignina solubilizada fue del 1%, valor que no afecta para etapas posteriores.

Furfural e hidroximetilfurfural

El furfural y el hidroximetilfurfural son unos de los subproductos obtenidos durante el proceso de prehidrólisis del bagazo para la obtención de monosacáridos que posteriormente se fermentarán a etanol. Las concentraciones obtenidas de ellos están en un intervalo aceptable en comparación con las obtenidas por otros investigadores. (2-2,5 g/L), **(Martín, 2002).** Partiendo de que las temperaturas de ebullición de estos compuestos no sobrepasan de los 170ºC y la temperatura de operación óptima del digestor es 180ºC, alrededor del 90% de ellos se evaporan al desgasificar el equipo, además desde el punto de vista medio ambiental no provocan ningún efecto negativo. **(Martín, 2002)**.

Es necesario señalar que a partir de los parámetros prefijados con los cuales se trabajó en estos experimentos, fundamentalmente la temperatura, permiten que el agua se comporta como un ácido débil por lo cual la conversión de xilosa a furfural o hidroximetilfurfural (en el caso de la celulosa) sea inevitable, puesto que los monosacáridos en caliente y medio muy ácido, sufren una deshidratación que conducen a la formación de un anillo pentagonal de furfural o hidroximetilfurfural, según parta de pentosas o hexosas.

CONCLUSIONES

- Se realizó un diseño de experimento 2^3 que permitió estudiar los parámetros de operación óptimos para la obtención del licor con las características adecuadas.
- Se obtuvo un licor con las condiciones óptimas para su utilización en etapas posteriores con el objetivo de obtener etanol.
- Se obtuvo una fibra prehidrolizada rica en celulosa que por posterior hidrólisis se convierte en glucosa y esta a su vez fermentable a etanol.

RECOMENDACIONES

Continuar realizando la prehidrólisis del bagazo utilizando otros valores diferentes de los parámetros de operación prefijados en este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- Catá, S., Y., González, E.; Pedraza, G., J.; Oquendo, F., H. (2004). Congreso Internacional de los Derivados de la caña de Azúcar. Diversificación 2004. Junio, C. Habana.
- DiPardo, J. (2003). Forecasts. Diciembre. (eia.doe.gov).
- Jeewon L. (1997). Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY. 56: 1-24.
- Laser M, Schulman D, Allen SG, Lichwa J, Antal Jr MJ, Lynd LR (2002). A comparison of liquid hot water and steam pretreatments of sugar cane bagasse for bioconversion to ethanol. Bioresource Technol.
- Martín, C. (2002). Estudio de la inhibición de la fermentación de hidrolizados de bagazo de caña de azúcar para la producción de etanol. Tesis Doctoral, Facultad de Mecánica y Química, Universidad de Matanzas, Cuba.
- Oliva, C., Y.; Lopetry, M.; González S., E.; Pedraza, G., J. (2004). Congreso Internacional de los Derivados de la caña de Azúcar. Diversificación 2004. Junio, C. Habana.
- Singh, A., Das, K., Sharma, K.D. (1984) Ind. Eng. Eng. Chem. Prod. Res. Dev. 23, 257-262.

ESTUDIO DE LA ETAPA DE PREHIDRÓLISIS DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL

MSc. Medina Estevez M., Ing Correa Ferrán D., Lic. Hernández Corvo Y., Ing. Pérez Díaz D.

UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba 9; Quivicán, La Habana; sadc9@enet.cu

Resumen

El presente trabajo estará encaminado a estudiar el proceso de obtención de etanol a partir de residuos lignocelulósicos y en especial la etapa de prehidrólisis del bagazo de la caña de azúcar. De esta forma se obtendrán los parámetros tecnológicos que permitan garantizar las condiciones óptimas de trabajo y aumentar el rendimiento de la etapa. Además se podrá contar con un modelo matemático que describa el comportamiento del material en estudio bajo diferentes condiciones de operación.

Estos resultados, permitirán disponer de toda la información requerida para acometer los estudios de inversión de plantas industriales, lo cual contribuirá a la solución de las necesidades crecientes de energía de la humanidad, de forma amigable con el medio ambiente.

Palabras Clave: prehidrólisis, xilosa (xilano), furfural

Abstract

The present work will be guided to study the process of obtaining ethanol from lignocellulosic residues and especially the prehydrolisis stage of sugar cane bagasse. This way the technological parameters will be obtained that allow to guarantee the good conditions of work and to increase the yield of the stage. A mathematical model that describes the behavior of the material under different operating conditions will be available.

These results, will allow to have all the information required to carry out the studies of investment of industrial plants, which will constitute a contribution to the solution of the growing necessities of energy, in a friendly way with the environment and to the increment of the quality of life in the world.

Key words: prehydrolisis, xylan, furfural

Introducción

En el mundo se lleva a cabo gran cantidad de estudios y proyectos para desarrollar la producción a escala comercial de etanol a partir de biomasas lignocelulósicas. Los materiales que más se han investigado son la madera y los residuos forestales, papel reciclado y residuos de la industria papelera, bagazo de caña, los desechos agrícolas, así como los residuos sólidos urbanos.

En el presente trabajo se estudia el proceso de obtención de etanol a partir del bagazo de caña de azúcar y en especial la etapa de prehidrólisis de este material lignocelulósico. De esta forma obtener los parámetros tecnológicos que permiten garantizar las condiciones óptimas de trabajo y aumentar el rendimiento de la etapa. Además se dispondrá de un modelo matemático que describa el comportamiento del material en estudio bajo diferentes condiciones de operación.

La conversión de materiales lignocelulósicos a etanol incluye dos etapas fundamentales: hidrólisis de la celulosa del material lignocelulósico a azúcares reductores fermentables y la fermentación de los azúcares a etanol. Este proceso consta de las siguientes etapas:

1. Pretratamiento, cuya función es hacer más susceptible y accesible el material para la etapa posterior.
2. Prehidrólisis, que permite liberar las hemicelulosas que contiene el material.
3. Hidrólisis, que libera la glucosa presente en los materiales lignocelulósicos.
4. Fermentación de las hexosas y pentosas para obtener etanol.
5. Separación y concentración del etanol.

Uno de los principales problemas vinculados a la producción de etanol a partir de biomasas lignocelulósicas, es el pretratamiento e hidrólisis de la materia prima. De su efectividad dependerá que se obtengan altos rendimiento durante la conversión de los azúcares a etanol. Es por eso que pretendemos con este estudio:

1. Realizar un diseño de experimentos que permita estudiar el comportamiento de la etapa de prehidrólisis del bagazo por agua caliente.
2. Encontrar las mejores condiciones de operación en el intervalo de valores estudiados.

Estos resultados pueden ser utilizados para acometer los estudios de inversión de plantas industriales, lo cual constituirá una contribución a la solución de las necesidades crecientes de energía de la humanidad, de forma amigable con el medio ambiente.

Materiales y Métodos

Los licores de prehidrólisis fueron obtenidos a partir de bagazo integral almacenado a granel por el sistema Cuba 9, cuyas características se reflejan en la Tabla I**.** Esta caracterización fue realizada mediante la aplicación de métodos de análisis químicos convencionales, obtenidos a partir de un muestreo realizado a una pila de un metro de altura de bagazo integral localizada en el patio del centro. Se tomó un kilogramo a diferentes alturas de la pila con el fin de obtener muestras lo más representativas posible.

Tabla I. Composición del bagazo integral

Componentes	Composición (%)
Celulosa	46,4
Pentosanos(Hemicelulosas)	23,9
Lignina	23,6
Extractivos	2,4
Cenizas	3,7

Los experimentos se realizaron en un digestor rotatorio ubicado en la planta piloto de pulpa en Cuba 9. A continuación se describen las características del equipo.

Tabla II. Características técnicas del digestor

Características	
Capacidad	18 L
Medio de calentamiento	Resistencia eléctrica
Control de temperatura	Hasta 200^{o}C
Material	Acero inoxidable

Figura 1. Digestor rotatorio

Para realizar el diseño de experimentos se realizó un plan factorial 2^3 ya que se desea estudiar el efecto de tres variables a dos niveles, en la etapa de prehidrólisis del bagazo para la obtención de etanol. El mismo está compuesto de 8 corridas. La matriz del plan factorial se presenta a continuación.

Tabla III. Diseño de experimentos

Corridas	X_1 Temperatura (^oC)	X_2, Tiempo (min)	X_3, Hidromódulo
1	150	60	6
2	180	60	6
3	150	90	6
4	180	90	6
5	150	60	8
6	180	60	8
7	150	90	8
8	180	90	8

Los niveles de los factores se escogieron en dependencia del conocimiento previo acumulado en la materia y del estudio teórico de la operación de prehidrólisis.
Para los experimentos se tomó como base de cálculo 1 kg de bagazo (base seca). El hidromódulo utilizado, es una de las variables independientes y expresa la relación entre el líquido total alimentado a la etapa y el sólido total.
El bagazo alimentado al digestor presenta un 68 % de humedad, por lo que el volumen de líquido total a adicionar al digestor (en este caso agua) depende del hidromódulo fijado y del contenido de agua que contiene el bagazo.

Para los cálculos de la cantidad de bagazo (base húmeda) y de agua, se tuvieron en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$Fh = Fs / s \quad (2.1)$$
$$s = 1 - h \quad (2.2)$$
$$H = Lt / Fs \quad (2.3)$$
$$Lt = H * Fs \quad (2.4)$$
$$Ab = Fh - Fs \quad (2.5)$$
$$Aa = Lt - Ab \quad (2.6)$$

Donde:
Fh: Flujo bagazo (Base húmeda)
Fs: Flujo bagazo (Base seca)
s: Sequedad
h: Humedad
H: Hidromódulo
Lt: Líquido total (incluye el agua contenida en el bagazo, agua adicional y productos químicos)
Ab: Agua contenida en el bagazo
Aa: Agua adicional

Con este diseño se pretende obtener un producto lo más rico posible en celulosa (en el caso de la fibra) y xilosa (en el licor) y con mínimo contenido de lignina y fulfural. Éstos últimos son compuestos indeseados pues son inhibidores de la fermentación.

Durante la prehidrólisis tiene lugar la reacción de formación de azúcares ajustando los parámetros de operación prefijados en el digestor rotatorio**.** Estos parámetros son: temperatura, hidromódulo y tiempo (tabla III). La solución obtenida recibe el nombre de prehidrolizado, el cual es un líquido amarillo verdoso,

que entre sus componentes se encuentran: xilosa, glucosa, arabinosa, galactosa y otros. Bajo la categoría de otros se encuentran componentes que se forman durante el proceso como: ácido acético, compuestos fenólicos y furfural, siendo el furfural un inhibidor de la fermentación alcohólica de estos azúcares. Posteriormente las muestras obtenidas de cada experimento, se trasladan a los laboratorios para determinar las concentraciones de azúcares así como el % de lignina soluble y concentración de furfural.

Resultados y Discusión

Resultados Experimentales

Concentración de xilosa

Se debe señalar que hay parte de la xilosa que no puede ser recuperada pues su pérdida depende de varios factores:

- Filtración del prehidrolizado
- Neutralización del prehidrolizado
- Concentración del prehidrolizado
- Conversión a furfural.

Los resultados obtenidos experimentalmente de concentración de xilosa (Tabla IV) son similares a los reportados en la literatura **(Lasser, 2002)**. La temperatura, parámetro de operación prefijado (160-180 ^{0}C), tiene un efecto notable en los altos valores de concentración obtenidos (77-80%). Aunque en la literatura aparecen reportados valores superiores de temperatura de trabajo (200-240 ^{0}C) lo que implica conversiones mayores (80-85%), no se pudo trabajar a temperaturas más elevadas por limitaciones en el equipamiento disponible.

Contenido de Hemicelulosas

Para el análisis de los resultados del porcentaje de hemicelulosa se tomó como patrón de referencia los resultados descritos por Martín **(Martín, 2002)**. Este plantea que de la hemicelulosa prehidrolizada, el mayor contenido en cuanto a concentración entre las pentosas, lo presenta la xilosa, aunque existen otros monosacáridos como: arabinosa, galactosa, manosa, entre otros. Los resultados finales demuestran que las pentosas no xilosas se encuentran en muy baja concentración, pudiendo ser despreciadas.

Un dato significativo en estos experimentos es que un porcentaje de hemicelulosa presente en la fibra no pudo ser hidrolizado, aspecto que afecta los rendimientos de concentración de xilosa, pues la hemicelulosa que no se solubilizó, es decir, que permaneció en la fibra, contiene xilosa, y por tanto el rendimiento de xilosa en el hidrolizado se afecta. (Tabla IV).

Se quiere destacar la gran relación existente entre la temperatura con respecto al porcentaje de hemicelulosa perdida, demostrándose la necesidad de trabajar a altas temperatura para obtener mejores resultados de hemicelulosa conllevando a un rendimiento más elevado en cuanto a concentración de xilosa. No obstante, el incremento de temperatura está limitado por un factor práctico, la disponibilidad de equipamiento y uno energético, ya que la mayor temperatura incrementa el consumo de energía para el calentamiento. En la tabla IV se reportan los porcentajes de hemicelulosa perdida.

Contenido de Celulosa

La celulosa es un monosacárido de tipo hexosa, que por hidrólisis puede producir glucosa, la que por fermentación es transformada en etanol. Como quiera que las condiciones para la transformación de los compuestos de 5 y 6 carbonos no coinciden, lo más recomendable es que la celulosa en el hidrolizado sea la menor posible.

Los resultados obtenidos de la celulosa también fueron comparados con la literatura **(Láser, 2002)** resultando satisfactorios pues cumplieron con el intervalo de porcentajes entre 95-100% de recuperación de la celulosa en la fibra, demostrando la gran dependencia que presenta la misma con la temperatura.

Contenido de Lignina

La lignina es otro de los agentes inhibidores de la fermentación pues afecta el ataque microbiano **(Martín, 2002)**. En cuanto a rendimiento de lignina, los resultados obtenidos fueron los esperados pues la lignina presente en la fibra mantuvo un porcentaje mayor de 95% **(Lind, 2006)**, obteniéndose en la corrida 2, que en este caso es la óptima, un valor del 99% (Tabla IV), demostrando que la lignina solubilizada fue del 1%, valor que no es significativo para etapas posteriores.

Furfural e hidroximetilfurfural

El furfural y el hidroximetilfurfural son unos de los subproductos obtenidos durante el proceso de prehidrólisis del bagazo para la obtención de monosacáridos que posteriormente se fermentarán a etanol. Las concentraciones obtenidas de ellos están en un intervalo aceptable en comparación con las obtenidas por otros investigadores. (2-2,5 g/L), **(Martín, 2002).** Partiendo de que las temperaturas de ebullición de estos compuestos no sobrepasan de los 170ºC **(Manual de Derivados de la caña de Azúcar**, **2003)**, y la temperatura de operación óptima del digestor es 180ºC, alrededor del 90% de ellos se evaporan al desgasificar el equipo, además desde el punto de vista medio ambiental no provocan ningún efecto negativo. **(Martín, 2002)**.

En las posteriores etapas del proceso: Neutralización, Decantación, Intercambio Iónico, entre otras, los valores de concentración de furfural decrecerán progresivamente.

Es necesario señalar que a partir de los parámetros prefijados con los cuales se trabajó en estos experimentos, fundamentalmente la temperatura, permiten que el agua se comporte como un ácido débil por lo cual la conversión de xilosa a furfural o hidroximetilfurfural (en el caso de la celulosa) sea inevitable, puesto que los monosacáridos en caliente y medio muy ácido, sufren una deshidratación que conducen a la formación de un anillo pentagonal de furfural o hidroximetilfurfural, según parta de pentosas o hexosas.

Tabla IV. Resultados del Diseño de Experimento

Corridas	Temperatura (° C)	tiempo (min.)	Hidromódulo	Concentración de xilosa (g/L)	Concentración de furfural (g/L)	% de lignina en la fibra	% de celulosa en la fibra	% hemicelulosa en la fibra
1	160	60	6	30,59	2,40	97	96	22
2	**180**	**60**	**6**	**38,24**	**2,12**	**99**	**100**	**20**
3	160	90	6	28,13	2,51	96.5	97	22.5
4	180	90	6	36,87	2,20	98	98	21
5	160	60	8	28,22	2,46	96,5	97	22
6	180	60	8	37,42	2,15	99	98	21
7	160	90	8	27,4	2,61	95	95	23
8	180	90	8	36,05	2,36	97	98	20.5

Tabla V. Réplicas del Diseño de Experimento

Corridas	Temperatura (° C)	tiempo (min.)	Hidromódulo	Concentración de xilosa (g/L)	Concentración de furfural (g/L)	% de lignina en la fibra	% de celulosa en la fibra	% de hemicelulosa en la fibra
9	180	60	8	37,52	2,17	98	99	21
10	160	60	6	31,01	2,42	98	97	21
11	160	90	6	28,57	2,53	97	96	22
12	180	90	8	36,2	2,38	98	98	21
13	180	90	6	36,93	2,22	98	98	21
14	160	60	8	28,32	2,48	97	97	21
15	160	90	8	27,47	2,62	96	95	22
16	**180**	**60**	**6**	**38,4**	**2,14**	**99**	**100**	**20**

Análisis Estadísticos

La dependencia de la concentración de xilosa con las variables temperatura, tiempo e hidromódulo se ajustó con STATGRAPHICS versión Centurión XV al modelo siguiente:

$$Conc(xilosa) = -30{,}9888 - 0{,}63375 * Hidromódulo + 0{,}4245 * Temperatura - 0{,}0504167 * tiempo$$

Para temperatura ^{o}C, tiempo en minutos e hidromódulo en %.

Los parámetros que muestran la bondad del ajuste realizado y presentado en la ecuación anterior se presentan en la Tabla VI.

Tabla VI. Parámetros estadísticos del modelo de xilosa

Parámetros	Valores
R^2	99,2081%
R^2 (ajustado para g/L)	99,0101 %
Error Estándar	0,4496
Error absoluto medio	0,3156
Estadístico Durbin-Watson	2,21665 (P=0,7023)

Las variables prefijadas: la temperatura, el tiempo y el hidromódulo presentan el valor de P inferior a 0,05 indicando que son significativamente diferentes de cero al 95% de nivel de confianza. (Tabla VII) No obstante, aunque el tiempo es una variable significativa, se decidió incluir en el modelo ya que físicamente un aumento del mismo convertiría el producto de interés en sustancias indeseables para procesos posteriores y en particular la fermentación.

Tabla VII. Valores de Probabilidad

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
CONSTANTE	-30,9888	2,14456	-14,4499	0,0000
Hidromódulo	-0,63375	0,11240	-5,63806	0,0001
Temperatura	0,4245	0,01124	37,765	0,0000
Tiempo	-0,0504167	0,007493	-6,72787	0,0000

El estadígrafo R-cuadrado ajustado para los grados de libertad, el cual es el más adecuado para la comparación de números diferentes de variables independientes, es alto, lo que indica una buena correlación entre las variables y la respuesta. Se reporta el error estándar de la estimación el cual plantea la desviación normal de los residuos.

El error absoluto de la media (MAE) indica el promedio del valor de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si existe alguna correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en los datos del diseño; puesto que el P-valor es superior a 0,05 (Tabla VI), significa que no hay indicios de correlación en la serie de residuos (Figura 2).

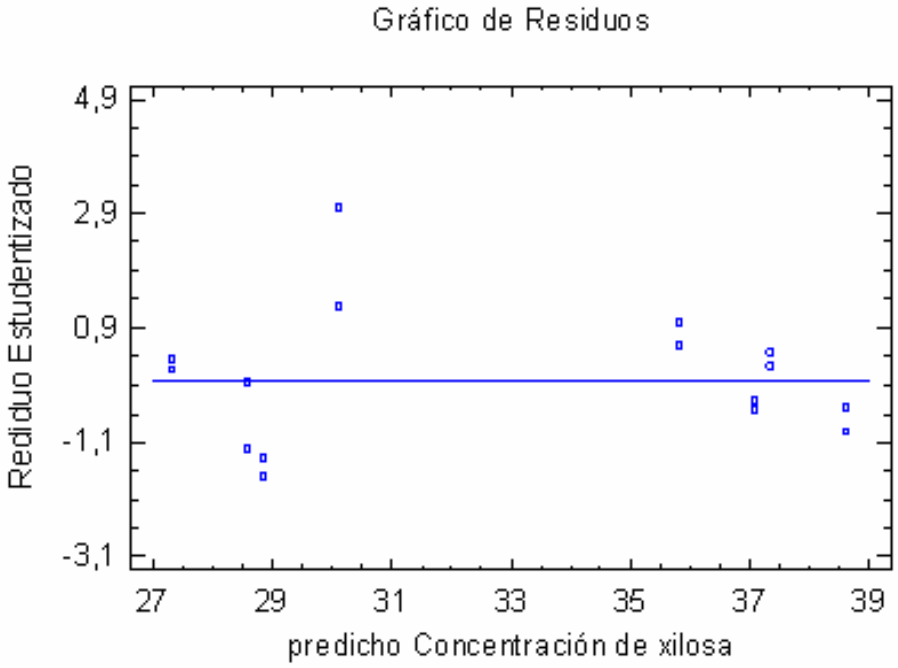


Figura 2. Residuos para la Concentración de xilosa

Por otra parte se analizó como influyen las variables de operación prefijadas (Temperatura, tiempo e hidromódulo) en la concentración de xilosa (Ver Figura 3). Se demuestra que la misma presenta una notable dependencia con dichos parámetros, resaltando con gran significación la temperatura.

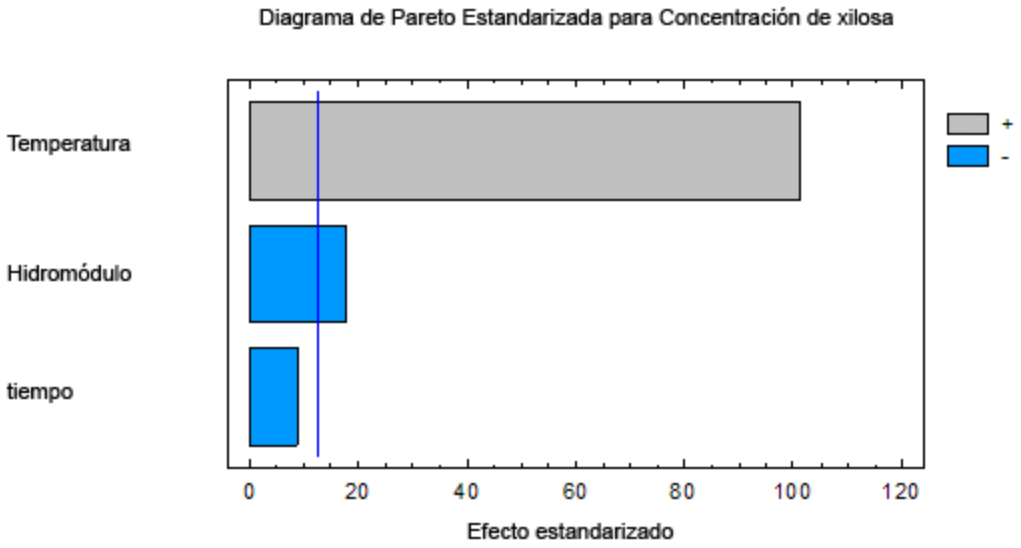


Figura 3. Dependencia de los parámetros de operación

Optimización del diseño

Los resultados de la variables de operación descritas con anterioridad fueron optimizados utilizando el software STATGRAPHICS versión Centurión XV. Para la optimización se emplearon como criterios los estadígrafos ¨t¨ de Student y ¨F¨de Fisher con un 95% de confianza.

Tabla VIII. Valores puntuales referentes al Diseño de Experimentos

Factores	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	160	180	**180**
tiempo	60	90	**60**
Hidromódulo	6	8	**6**

Como puede apreciarse en la Tabla IV**,** la corrida No. 2, coincide con los valores de las variables optimizadas presentadas en la Tabla VIII**,** con la mayor concentración de xilosa, con la menor concentración de furfural y mayor porcentaje de lignina en la fibra. Los resultados obtenidos en esta tabla fueron comparados con otros diseños de experimentos realizados con anterioridad **(Lasser, 2002)** obteniéndose una gran similitud en cuanto a eficiencia de los resultados antes mencionados.

Evaluación Económica

En este epígrafe nos hemos dedicado a evaluar el gasto por concepto de producción de 1kg de xilosa en Planta Piloto de Cuba-9 solo con fines experimentales y no comerciales. Este valor permitirá darnos idea de los valores que más están incidiendo en el gasto de producción y sobre los cuales podremos incidir en estudios futuros y a mayores escalas.

Para el análisis económico se han considerado 20 días de trabajo, con una productividad de 0.05 Kg./día. El gasto de salario considera un operador con calificación de obrero durante 24 días laborables. Se tuvo en cuenta los insumos necesarios para la producción de 1 kg de Xilosa en la Planta Piloto de pulpa: Bagazo Integral y Agua. Los precios de estas materias primas fueron suministrados por el Dpto. de precios del MINAZ.
Dentro de los servicios que esta producción requiere se encuentran el agua tratada y la energía eléctrica.
Los índices de consumo de los materiales empleados fueron calculados tomando como referencia el valor óptimo de concentración de xilosa obtenida (Tabla IV).
Máxima concentración de xilosa: 38,24 g/l
Cantidad de bagazo integral alimentado al digestor: 1 kg (base seca)
Cantidad de agua tratada alimentada al digestor: 3,87 L
Cantidad de licor de prehidrólisis obtenido: 5 L
Cantidad de xilosa extraída:
38,24 g/L * 5L = 191,2 g
Ïndice de consumo de Bagazo Integral:
1 kg / 0,1912 kg = 5,23 kg de bagazo/kg de xilosa
Índice de consumo de Agua Tratada:
3.87 L / 0,1912 kg = 20,24 L de agua tratada/kg de xilosa
A continuación se muestra la ficha de costo unitaria correspondiente a la obtención de un kg de xilosa en Planta Piloto.

Tabla IX. Ficha de costo para 1kg de xilosa

	PRODUCTO O SERVICIO	CODIGO	0
	Xilosa	U/M	kg

		VOLUMEN CONSIDERADO PARA PRECIO INTERNO:			1,0
FILA	ELEMENTOS DEL COSTO	COSTO TOTAL	DE ELLO: DIVISAS DIRECTAS		COSTO EN MONEDA NACIONAL
01	Materias Primas y Materiales	115,60	92,09		23,51
02	Combustibles	0,00	0,00		0,00
03	Energía	65,66	65,66		0,00
04	TOTAL CONSUMO MATERIAL	181,26	157,75		23,51
05	Salarios y Seguridad Social	457,37			457,37
06	Amortización	44,11			44,11
07	Otros Gastos Monetarios	57,90	0,00		57,90
08	TOTAL DE COSTOS	740,64	157,75		582,89

La desagregación del consumo material se detalla a continuación:

Tabla X. Desagregación del consumo de materiales

DESCRIPCION	ORIGEN (I) (N)	CODIGO CUP	U/M	NORMA DE CONSUMO	PRECIO INTERNO	IMPORTE A PRECIO INTERNO	PRECIO CIF O FIN. DIV. A PRODUCC. NACIONAL	COSTO EN DIVISAS DIRECTAS	COSTO EN MONEDA NACIONAL
(1)	(2)	(3)	4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
BAGAZO INTEGRAL	N	1.57E+09	TM	5.230	8.050	42.10	7.40	38.70	3.400
AGUA TRATADA	N	4.92E+09	M3	20.240	0.362	7.33	0.234	4.74	2.591
PIEZAS DE REPUESTO IMPOR	I	7.22E+09				44.74		35.80	8.95
OTROS MATERIALES	I	1E+10				21.42		12.85	8.57
SUBTOTAL MAT. PRIM. Y MATERIALES						115.60		92.09	23.51
Vapor Producido	N	2.11E+09	T	0	26.33	0.00	19.56	0.000	0.00
GAS OIL	I	2.25E+09	L	0.0	0.2869	0.00	0.2869	0.00	0.00
GASOLINA MOTOR	I	2.25E+09	L	0.0	0.2868	0.00	0.2868	0.00	0.00
SUBTOTAL COMBUSTIBLE						0.00		0.00	0.00
ENERGIA ELECTRICA	N	2.1E+09	KWH	811	0.0810	65.66	0.08100	65.66	0.00
TOTAL						181.26		157.75	23.51

Como resultado se ha obtenido un costo total para la producción de 1kg de xilosa de 740,64 en Moneda Total, de ellos en Moneda Convertible 157,75, considerando una equivalencia de 1 USD = 1 CUC y en Moneda Nacional 582,89.

En el diagrama de pastel representa la desagregación de los elementos del costo de producción, donde se aprecia que el salario y la seguridad social, así como, las materias primas, son las partidas del costo que más inciden en el mismo.

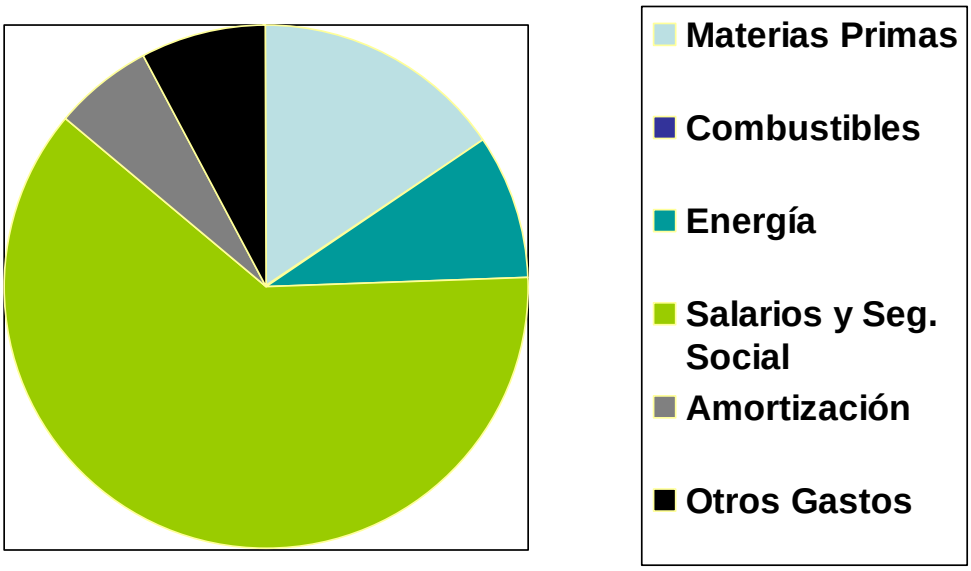


Figura 4. Diagrama de pastel de los elementos del costo

Conclusiones

- Se realizó un diseño de experimentos factorial 2^3 prefijando los parámetros de operación: temperatura, tiempo e hidromódulo, que permitió estudiar el comportamiento de la etapa de prehidrólisis del bagazo de caña de azúcar por pretratamiento con agua caliente.
- Se obtuvieron los parámetros óptimos de operación del digestor en la etapa de prehidrólisis a partir del bagazo de caña de azúcar mediante técnicas de optimización apoyados en el software STATGRAPHICS versión Centurión XV.
- Se estudió una tecnología a escala de planta piloto, para el tratamiento del bagazo de caña donde se lograron altos rendimientos de azúcares así como valores mínimos de sustancias inhibidoras de posteriores procesos.

Recomendaciones

- Optimizar etapas posteriores con el fin de obtener mayores rendimientos en la producción de etanol.
- Desarrollar otras alternativas de investigación como: utilización de bagazo desmedulado, trabajo a mayores temperaturas, entre otras, que pudiesen aportar mejores resultados en la etapa de prehidrólisis del bagazo.

Referencias Bibliográficas

1. **Ann. US Pat. 6333181** .Producción de etanol de lignocelulosa.
2. **Berg C (2001)** World Fuel Ethanol. Analysis and Outlook. www.agraeurope.co.uk/FOLstudies/ FOL-Spec04.html
3. **Cardona C, Sánchez O, Ramírez J, Alzate L (2004)** Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. Rev. Col. Biotecnol. 6: 78-89.
4. **Cundiff, J.S**. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, 1992, pp. 189-200.
5. **Dey, P.M. and Brinson, K. (1984)** Plant cell walls. Adv. Carb. Chem. Biochem. 42, 265-282.
6. **Farone, W.A.; Cuzens, J.E. (1996b)** *Method of Separating Acids and sugars Resulting from Strong Acid Hydrolysis*. U.S. Patent No. 5,580,389. December 3, 1996.
7. **García, J.L., Suárez, M., Domenech, F., Blanco, G. & Santiesteban**, C. (2000). Alcohol. En: L.O. Gálvez (editor), Manual de los derivados de la caña de azúcar. Tercera Edición. La Habana, Cuba, p. 197-206.
8. **Laser M, Schulman D, Allen SG, Lichwa J, Antal Jr MJ, Lynd LR (2002)** A comparison of liquid hot water and steam pretreatments of sugar cane bagasse for bioconversion to ethanol. Bioresource Technol.
9. **Linden, J.C., Schroedrer, H.A., Teixeira, L.C.** (2000) Simultaneous saccharification and cofermentaion of peracetic acid-pretreated biomass. *Appl. Biochem. Biotechnol*., 84-86, 11-127.
10. **Lynd L. R (1996)** Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment and policy. Annu Rev Energy Environ 21:403-465
11. **Lynd L. R, Weimer PJ, van Zyl WH, Pretorious IS (2002)** Microbial celluloseutilization: Fundamentals and biotechnology. Microbiol. Mol. Biol. R. 66: 506-577.
12. **Lynd, L. R. (2003)** Cellulosic Ethanol Fact Sheet National Commission on Energy PolicyForum: The Future of Biomass and Transportation Fuels. June 13, 2003 Washington, DC
13. **Martín, C**. (2002). Estudio de la inhibición de la fermentación de hidrolizados de bagazo de caña de azúcar para la producción de etanol. Tesis Doctoral, Facultad de Mecánica y Química, Universidad de Matanzas, Cuba.
14. **Mateos Moreno Isabel (2006)** Aprovechamiento De Residuos Agrarios ttp://www.eeci.net.
15. **Mesa, J. & González, L**. (2003). Balance de CO2 en la obtención de energía renovable a partir de caña de azúcar. http://www.monografías.com.
16. **Palmqvist E, Hahn-Hägerdal B (2000a)** Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. I: inhibition and detoxification. Bioresource Technol. 74: 17-24.
17. **Palmqvist E, Hahn-Hägerdal B (2000b)** Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. II: inhibitors and mechanisms of inhibition. Bioresource Technol. 74: 25-33.
18. **Pandey, A., Zoclo**, C.R. (2000) Economic utilization of crop residues for value addition: a futuristic approach. *J. Sci. Ind. Research***.,** 59, 12-22.
19. **Pimentel, D**. (2001). Ethanol fuels: Energy, economics and environmental impact. Int. Sugar J., 103, 491-494.
20. **Söderström J, Pilcher L, Galbe M, Zacchi G (2003)** Two-step steam pretreatment of softwood by dilute H2SO4 impregnation for ethanol production. Biomass Bioenerg. 24: 475-486.
21. **Sun Y, Cheng J (2002)** Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. Bioresource Technol. 83: 1-11.
22. **Triana O. y col. (1990)** Atlas Anatómico y morfológico del bagazo de caña. 1990, GEPLACEA Serie : Diversificación, GEPLACEA/PNUD .
23. **Van Zessen E. y col (2003)** Lignocellulosic, a second opinión.. Energy Research Center of the Neatherland ECN may 2003 NOVEM Pub. Center
24. **Virginia Tech. (2006)** www.utnews.vt.edu April 3, 2006
25. **Wiekenkamp S. (2006)** SunOpta Inc. swiekenkamp@sunopta.com Website: www.sunopta.com

26. **Zumalacárreui, L.,Pérez, O., Lombardi, G., Ramos, P., Zumalacáregui, B**. (2008) Beneficios ambientales de la caña de azúcar para la producción de etanol combustible. Ingeniería y Competitividad. Colombia (Enviada en enero 2008).

ETANOL Y ALIMENTOS: ESQUEMAS INTEGRADOS DE RECONCILIACION

Manuel Díaz de los Ríos, Gustavo Saura y Agustín Cabello

ICIDCA
Email: manuel.diaz@icidca.edu.cu

RESUMEN

En el trabajo se ilustran diversas alternativas de producción de etanol a partir de caña de azúcar que garantizan una armonía con la producción de alimentos. Se presentan esquemas de producción combinada de etanol y alimentos para un central de 100000 tcd asociado a una destilería autónoma y para otro donde el 50% de la caña se destina a la producción de azucar. Se evidencia que los ingresos brutos por la producción de alimentos pueden representar entre el 21% y el 44% de los ingresos totales.

Palabras clave: Etanol, Alimentos

ABSTRACT

Different alternatives for ethanol production in equilibrium with food production are presented in this paper. Two Schemes of combined production of ethanol and food for 10000 tcd sugar mill, one of them with an autonomy distilleries and another where the 50% of the cane is directed to the sugar production are showed. It is evidences that the food incomes ranges from 21% to 44% of the total.

Key words: Ethanol, food

INTRODUCCION

El actual crecimiento internacional de la producción de etanol ha sido objeto de diversas críticas y cuestionamientos por personalidades internacionales, organizaciones y medios de prensa por sus posibles incidencias en la seguridad alimentaría de las naciones. De acuerdo con Schuetz,G. , 2008 los Biocombustibles, donde el etanol ocupa un lugar preponderante, pueden incidir en las cuatro dimensiones fundamentales que caracterizan la seguridad alimentaria: Disponibilidad, Acceso, Estabilidad y Utilización.

Uno de los principales puntos de conflicto radica en el uso de las tierras y recursos requeridos para la agricultura, por lo que países como Brasil y Colombia, quienes también comparten responsabilidades con la protección del Amazonia, pulmón del planeta, han formulado diversos trabajos sobre el ordenamiento territorial para garantizar que el desarrollo de sus programas alcoholeros no encuentren puntos de divergencia con las políticas alimentarias ni con la protección del medio ambiente (Caldas, J, 2008; Infante, A., 2008).

Tal vez la contradicción más importante se evidencia cuando se analiza el problema desde el aspecto materia prima, ya que una de las direcciones actuales de producción parte de la utilización de diversos granos básicos

para la alimentación animal y humana, fundamentalmente el maíz. La desenfrenada producción de etanol a partir de maíz en los Estados Unidos es, sin lugar a dudas, el factor más importante en la elevación de los precios de los alimentos, incluso en los propios Estados Unidos. Como dijera Lester Brawn (Brawn, L.R, 2008): "lo irónico es que los pagadores de impuestos, que subsidian la conversión de los granos en etanol, están financiando la elevación de los precios de sus propios alimentos". De esta forma, los precios de la carne, pollo, leche y huevos en los propios EE.UU han crecido en los últimos años entre un 10-100% (Pimentel, D., 2008).

De aquí que muchos países han encaminado sus políticas sobre Biocombustibles hacia el empleo de materias primas que no compitan con la producción de alimentos, tal como el sorgo dulce para la producción de etanol y diversas fuentes de aceites vegetales, no utilizables para la alimentación humana, en el caso de la obtención de Biodiesel.

La producción de etanol a partir de caña de azucar no ha escapado a estas controversias a pesar de que el azucar, por constituir un alimento puramente energético, no tiene el mismo impacto en la alimentación animal y humana que la producción de granos y cereales. Además, en el balance energía generada/ energía consumida la producción de etanol a partir de caña se ubica en una posición indiscutiblemente ventajosa con relación al etanol de maíz, quien es sistemáticamente cuestionado por diversos investigadores.

El presente trabajo esta dirigido a demostrar la potencialidad de la caña de azucar en la implementación de esquemas de producción de etanol que garanticen una adecuada armonía con la producción de alimentos e incluso que la potencien.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La obtención de etanol a partir de caña de azúcar puede ser implementada de forma tal que la producción de alimentos se encuentre equilibrada con la misma; de hecho, el esquema productivo establecido por la mayoría de los centrales en Brasil parte de este equilibrio al emplear los jugos primarios, o jugos mas ricos, en la producción de azúcar mientras los jugos secundarios y de filtros son destinados hacia la producción de etanol. Esta tecnología garantiza que el 50% de los azucares presentes en la caña sean empleados en la producción de azúcar, se eleve la calidad de la misma con un mínimo de insumos para su purificación, además de potenciar los excedentes de bagazo para la generación de electricidad. Sin embargo, la producción de etanol a partir de caña de azúcar permite formular alternativas que potencian la producción de alimentos a la par que contribuyen a la preservación del medio ambiente; la producción de levadura forrajera a partir de las vinazas de destilería constituye una modalidad que contribuye a estos objetivos.

En la siguiente figura se presenta el caso de una destilería autónoma que un mínimo desvío de jugos y bagazo garantiza niveles de producción de alimentos que garantizan ingresos de consideración para el complejo agroindustrial.

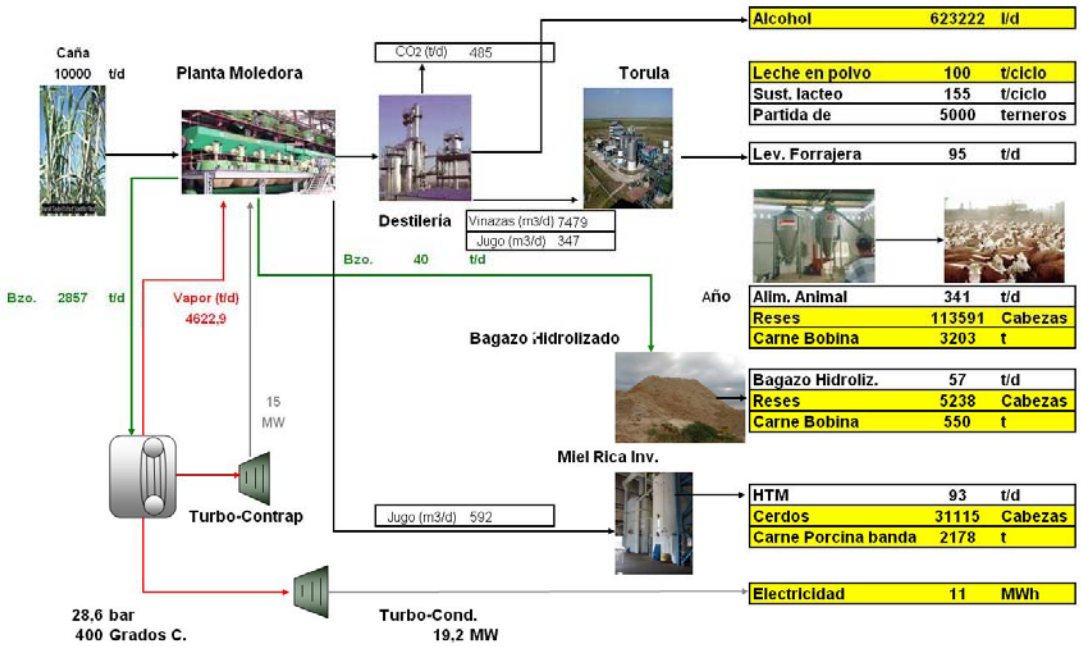


Figura 1: Potencial de producción de alimentos en una destilería de 700000 l/d

En el esquema se evidencia que una planta moledora de 10000 t/d podría producir entre 700-850 mil l/d de etanol en dependencia de la calidad de la caña empleada, cuyas vinazas, consideradas con un DQO medio de 35 kg/m^3, permitirían producir no menos de 80 t/d de levadura forrajera, las que unidas a la levadura Sacharomycces permitirá obtener hasta 100 t/d de levadura con 45% de proteína mínima.

Tal producción de levadura constituye un excelente potencial para la producción de piensos balanceados, donde las formulaciones de sustituto lácteo constituye una fuente para la liberación de leche fresca con destino a la población. Otras formulaciones de piensos y alimentos alternativos como el bagazo hidrolizado permitirían alimentar más 110 mil cabezas de ganado que aportarían unas 3700 t de carne en banda.

La producción de algunas cantidades de mieles ricas, tanto en esquemas combinados de azúcar/etanol, como en destilerías autónomas donde se desvíen menos del 10% de los jugos para la producción de miel rica invertida (HTM) facilitaría la implementación de cebaderos porcinos. El esquema ilustrado permite obtener unas 2180 t/año de carne porcina con algo más de 90 t/d de HTM.

Para evaluar el impacto de la producción de alimentos sobre los ingresos del complejo se han considerado precios medios del mercado internacional actual para la carne de res en banda (1800 usd/t), carne de cerdo en banda (1600 usd/t), leche en polvo (4500 usd/t) y electricidad (0,1 usd/kWh). En la figura 2 se muestra un balance de los ingresos brutos de dicho complejo agroindustrial donde se aprecia que los ingresos por la producción de alimentos podría representar el 21% del total, mientras que la generación de electricidad aportaría un 7% de los ingresos. Otros esquemas productivos donde se potencie la producción de leche o carne de cerdo son también factibles.

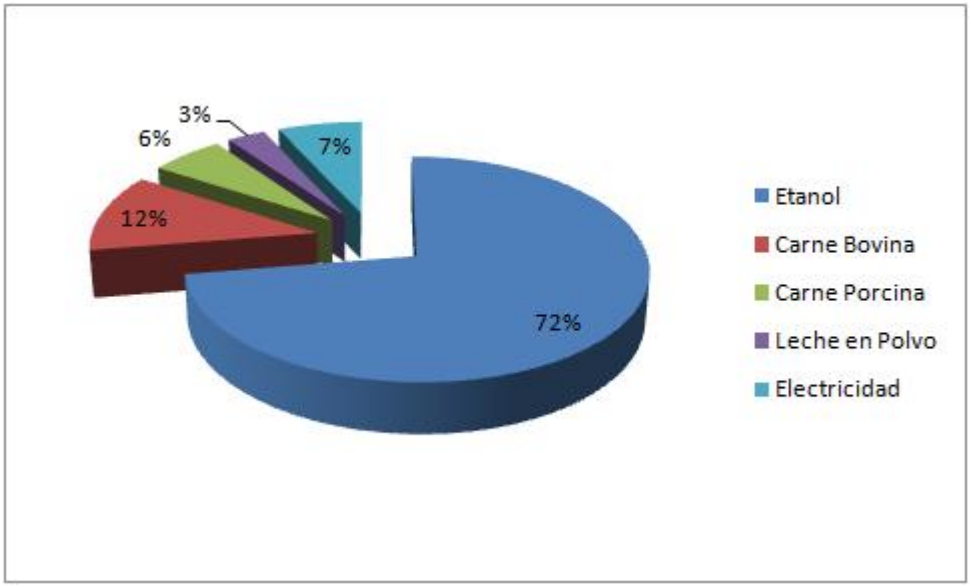


Figura 2: Distribución de ingresos netos en el complejo agroindustrial

Ahora bien, si se considera un esquema semejante para un ingenio de igual capacidad de molienda que dedica los jugos del primer molino hacia la producción de azúcar, mientras que solo emplea los jugos diluidos y de filtros en la producción de etanol entonces el balance alimento / etanol quedara definitivamente desplazado hacia la producción del primero. Los resultados para un complejo de este tipo se ilustran en la figura 3.

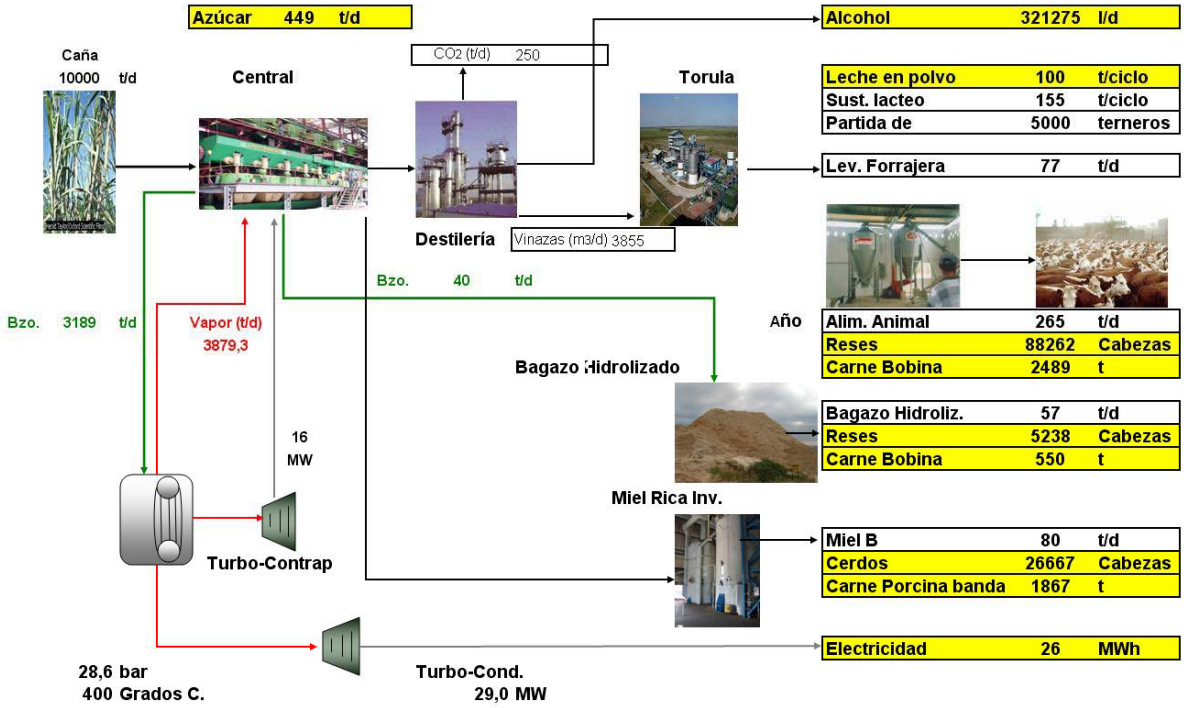


Figura 3: Potencial de producción de alimentos en un central de 10000 tcd con destilería.

Para este caso se ha considerado un precio del azúcar de 220 usd/t. En la figura 4 se observa que la producción de etanol reporta solo un 39% de los ingresos, la generación de electricidad el 17% mientras la producción de alimentos, considerando la suma del aporte del azúcar, la leche y las carnes reportan el 44%. En este esquema el aporte en ingresos de los alimentos superan al de la producción de etanol.

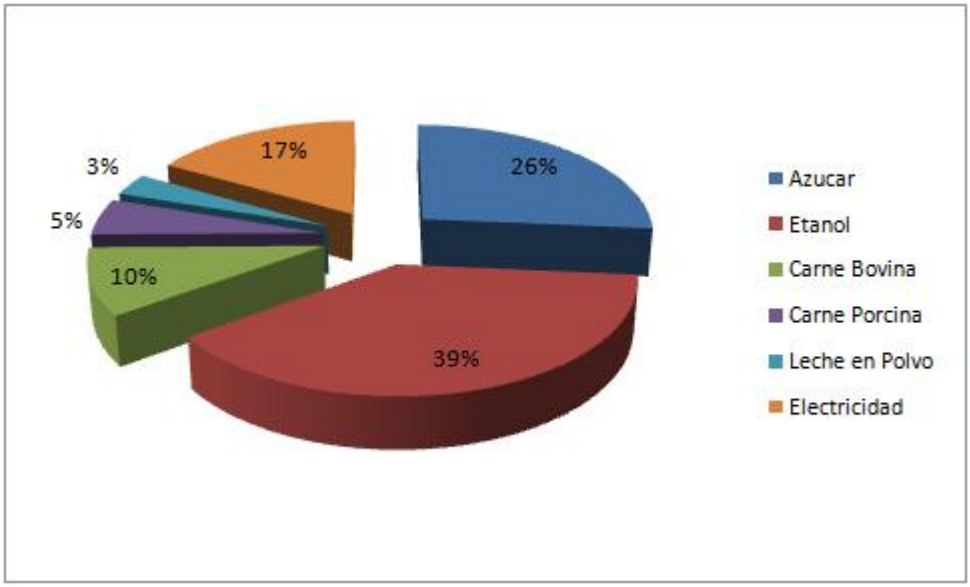


Figura 4: Distribución de ingresos netos en el complejo agroindustrial II

Esquemas con algunas de estas características están siendo evaluados para su implantación en Cuba y Venezuela de forma que a la par de satisfacer las necesidades de Biocombustibles se puedan obtener importantes cantidades de alimentos de alto valor agregado que compensen el uso de las tierras para este propósito.

CONCLUSIONES

Se evidencia que la producción de etanol a partir de caña de azúcar puede ser alcanzada en esquemas que armonizan con la producción de alimentos y con soluciones compatibles con el medio ambiente y que en dependencia de los intereses y necesidades del país o la región se pude priorizar una u otra dirección.

REFERENCIAS

Schuetz, G., “Seguridad alimentaría producción de energía”, III Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles, Boca Chica, Republica Dominicana, 2008.
Caldas, J. “Experiencias en el ordenamiento territorial para Biocombustibles”, III Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles, Boca Chica, Republica Dominicana, 2008.
Infante, A., “la política y la estrategia en Colombia para el desarrollo sostenible de los biocombustibles”, III Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles, Boca Chica, Republica Dominicana, 2008.
Brawn, L.R. http://www.earth-policy.org/Updates/2008/Update69.htm, 2008.
Pimentel, D., Energies, 1, 35-37, 2008. ISNN 1996-1073

PRODUCCIÓN DE LEVADURA FORRAJERA A PARTIR DE VINAZAS DE DESTILERÍA. UNA SOLUCIÓN AMBIENTAL

Gustavo Saura Laria[1], Miguel A. Otero Rambla, Julio A. Martínez-Valdivieso, Norge Garrido Carralero, Indira Pérez Bermúdez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana CP 11000, Cuba
E-mail: gustavo.saura@icidca.edu.cu

[1] Autor para la correspondencia

RESUMEN

Se presenta el esquema de la producción de etanol según se concibe en la actualidad. Se hace hincapié en la generación de residuales líquidos, las vinazas de alto poder contaminante y la necesidad de su tratamiento, a partir de su composición. Se enfatiza en las ventajas de las levaduras como fuente de proteínas y sus usos potenciales en la alimentación animal.
Se establece la estructura tecnológica de la producción y se compara el producto final con su similar a partir de melazas y la harina de soja como fuente de proteína forrajera por antonomasia. Se describe el equipamiento principal para esta producción y se muestra el layout de una planta para el tratamiento de las vinazas generadas por una destilería de 700 mil L/día.

Palabras clave: *Proteína de levadura, tratamiento de residuales, vinazas, alimento animal*

ABSTRACT

The scheme of ethanol production according to today standards is presented. The emission of wastewaters, the distillery slops with a high pollution power and the necessity for their treatment is emphasized, from their chemical composition. The advantages of yeast as source of proteins and its use as feedstock are stressed.
The technological structure of this production is presented and the product is compared with its similar from molasses and soy meal, the protein feedstock by antonomasia. The main equipment for this production is described and plant layout for an installation to process the slops generated by a 700 000 L/day is shown.

Key words: *Yeast protein, wastewater treatment, distillery slops, animal feedstocks*

INTRODUCCIÓN

La agroindustria azucarera a partir de la caña de azúcar, es una de las fuentes de más impacto en la contaminación del manto freático en los países subtropicales que operan esta industria (Strapasson 2006). En su favor es preciso decir también, que ha sido una de las industrias que mayor cantidad de empleos genera anualmente en nuestra región, en tanto la caña es uno de los cultivos comerciales más extendidos y a la vez, uno de los que con mayor eficiencia utiliza la energía solar para su conversión en biomasa.

Azúcar y etanol, son básicamente los únicos productos de la industria azucarera, y ambos precisan enormes cantidades de agua en su proceso de producción, por lo que generan una cantidad correspondiente de residuales líquidos de alto poder contaminante. En la producción de etanol, las aguas residuales están compuestas por las aguas de enfriamiento de los condensadores y de la fermentación, así como por los residuos líquidos de las torres de destilación. Entre las aguas residuales producidas por los complejos productores de azúcar y etanol, destacan como las más contaminantes, éstas últimas –vinazas- debido a su elevado contenido de sustancias orgánicas sean biodegradables o no.

Las vinazas se producen a una tasa de 11 a 16 por m^3/m^3 de etanol destilado. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) de las vinazas, varía según la eficiencia de fermentación y destilación, pero en general oscila entre 30 y 65 Kg/m^3.

Para reducir el impacto ambiental de las vinazas, se han implementado estrategias en la mayoría de los casos, con sistemas biotecnológicos a fin de cumplimentar las regulaciones ecológicas actuales para efluentes líquidos. De igual manera inciden en su manejo y disposición, las regulaciones introducidas para los gases de efecto invernadero por iniciativas como el protocolo de Kyoto (Solís 2006).

Se han propuesto diferentes soluciones para el tratamiento y disposición de las vinazas como son: la fertirrigación y su variante de enmienda orgánica, la producción de biogás, la desalinización y concentración, incineración y recirculación al proceso de producción de etanol (Otero *et al* 2006); sin embargo, la revalorización de las vinazas a través de la producción de proteína microbiana, convierte este residual en un subproducto valioso, pues incide favorablemente en la economía del proceso integral (Otero *et al* 2003; Martínez *et al* 2004, Otero *et al* 2006), genera una valiosa fuente de proteínas de alta calidad y contribuye al manejo sostenible de los ecosistemas.

Los estudios sobre la bioconversión de las vinazas de destilación en proteína microbiana comenzaron en Cuba en la década de 1970 (Šillinger y Almazán 1970). La reducción de la carga orgánica y al mismo tiempo la obtención de un producto valioso y escaso es la gran ventaja de este proceso (Otero *et al* 2003).

La mayoría de las especies de levadura son capaces de propagarse en medios compuestos por vinazas como componente mayoritario, sin embargo, la especie *Candida utilis* está particularmente dotada para estos fines, porque además de hacerlo eficientemente, posee un alto contenido de proteínas, excelente perfil de aminoácidos esenciales y un gran poder de adaptación a los cambios de las condiciones de crecimiento y multiplicación (Otero *et al* 1979, Otero *et al* 1983, Spencer *et al* 1997).

A pesar de estas potencialidades, la producción de levadura a partir de vinazas requiere la suplementación nutricional del medio de propagación pues de otra forma la estabilidad del sistema por la pobreza del mismo en nutrientes esenciales. Sin embargo, estas variaciones pueden ser compensadas por medio de la adición de siropes concentrados del propio proceso azucarero, *e.g.*, melazas, mieles B, etc.; o en su lugar, promotores de crecimiento microbiano de amplia disponibilidad en el mercado actual (Martínez *et al* 2005, Otero *et al* 2007).

Debe destacarse que la levadura, como fuente de proteínas de alta calidad para la alimentación animal, tiene la indiscutible ventaja de no depender de las condiciones climáticas para su desarrollo, como es el caso de otras fuentes naturales, *e.g.* soja, harina de pescado, etc. En adición, mientras que una Ha de tierra produce entre 6 y 8 ton de frijol de soja en 6 meses, una fábrica de levadura forrajera como las existentes en Cuba produce en un área de 3 Ha entre 20 y 25 toneladas de levadura por día.

Dos de los usos más atractivos de esta levadura es la producción de piensos enriquecidos con proteína verdadera para diferentes propósitos de producción animal y la elaboración de sustituto lácteo con la concomitante liberación de leche para el consumo humano.

En cuanto a la factibilidad tecnológica del proceso, desde 1999-2000 operan establemente en Cuba tres instalaciones industriales para la producción de levadura forrajera a partir de vinazas de destilación, las que han producido más de 20 mil toneladas de levadura hasta la fecha (Otero *et al* 2002, Saura *et al* 2002, Otero *et al* 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las técnicas de propagación *batch* y continuo, los procedimientos analíticos y microbiológicos, así como los microorganismos empleados desde la etapa de laboratorio hasta la implementación industrial de esta producción, han sido abundantemente referenciados en la literatura producidas por nuestro grupo de trabajo en los últimos años, incluidos los más importantes en la bibliografía que acompaña este trabajo.

DISCUSIÓN

La Fig 1 muestra un proceso típico de producción de etanol carburante, por mucho el de mayor volumen de producción, en la actualidad.

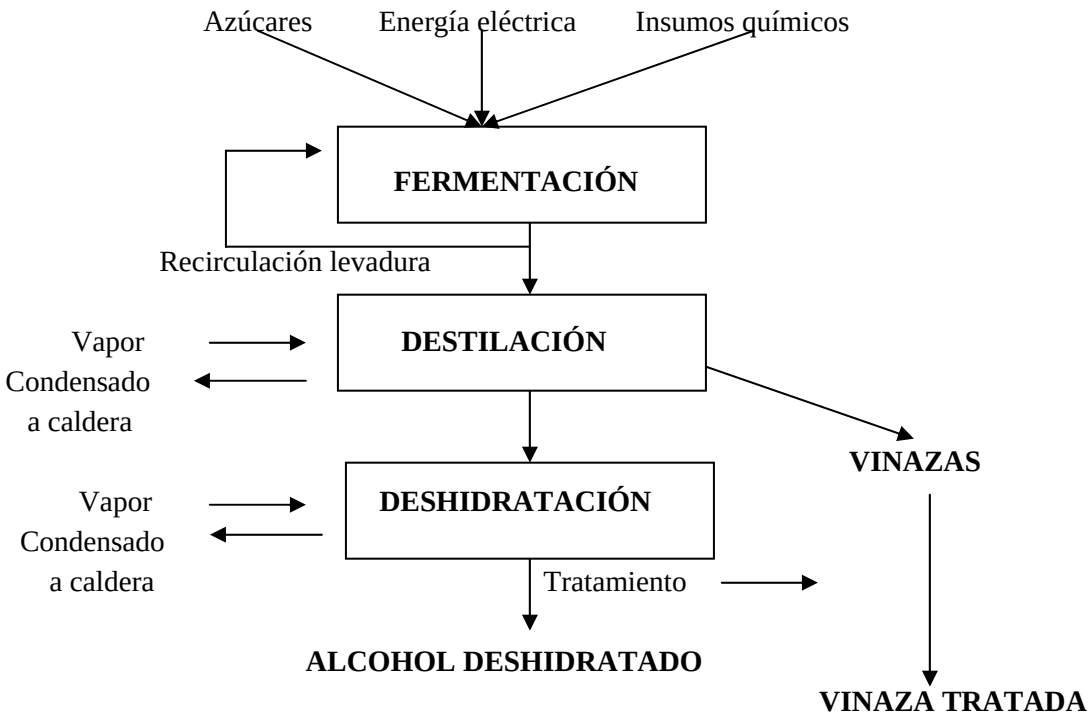


FIGURA 1 ESQUEMA DE LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL CARBURANTE

El tratamiento de las vinazas puede llevarse a cabo por diferentes métodos y tecnologías en la actualidad, algunos más extendidos que otros, pero eventualmente todos viables desde el punto de vista técnico.
Se pueden mencionar entre ellos:

- Fertirrigación
- Producción de biogas
- Incineración
- Concentración y desalinización
- Como agua de dilución, y
- Producción de levadura forrajera.

La selección de una u otra alternativa, depende en gran medida de las condiciones locales.

Rangos de concentración en vinazas típicas

La Tabla muestra el rengo de composición de las vinazas típicas correspondientes a las destilerías cubanas. Los valores de vinazas de jugo son el resultado de tres campañas de producción consecutivas en la destilería Heriberto Duquesne en Villa Clara.
Existen diferencias sustanciales de potenciales nutrientes para el crecimiento de levadura entre ambas vinazas y esto debe tenerse en cuenta en el momento de formular el medio de propagación.

TABLA 1 RANGO DE CONCENTRACIONES DE LOS COMPONENTES DE LAS VINAZAS TÍPICAS Y OTRAS PROPIEDADES

Indicador	**Vinazas de melazas**	**Vinazas de jugos**
Sólidos totales, kg/m^3	70-80	25
DQO, kg/m^3	60-65	30-35
DBO (20ºC), kg/m^3	48	18-20
Nitrógeno, kg/m^3	0.70	0.43-0.50
Fósforo (P_2O_5), kg/m^3	0.30	0.25
pH	4.6	4.1-4.5
Cenizas, %	1.7-3.5	1.5-3.0

¿Por qué levadura forrajera?

La producción de levaduras presenta varias ventajas como tratamiento de las vinazas de destilación de alcohol con relación al resto de las opciones.
La biomasa de levadura posee un contenido de proteínas muy similar a la de la soja, pero con una mayor calidad en la misma por su elevada proporción de L-lisina. Son microorganismos en extremo flexibles y capaces de crecer en una variada gama de sustratos carbonados. La levadura *Candida utilis* (forrajera) puede metabolizar varios de los componentes presentes en las vinazas como: etanol residual, glicerol y el resto de los azúcares no consumidos en la producción de etanol, sin que le afecte significativamente la concentración de ácidos orgánicos presentes en las mismas (Otero et al 2007).

Usos de la levadura forrajera

La levadura se puede emplear en la alimentación de diferentes especies de animales.

- En bovinos en dieta de seca, la levadura aporta 2.7 kg/día. Si se alterna con el pastoreo, estas cantidades se reducen sustancialmente
- Para terneros lactantes, se puede preparar sobre la base de levadura un sustituto lácteo (57% del mismo es levadura), liberando así cantidades significativas de leche fresca.
- En cerdos en ceba, las cantidades de levadura que se pueden suministrar ascienden a 380-400 g de proteína/día.

- En aves hasta 18 % de proteína en la ración según el propósito.

Estructura tecnológica de la producción de levadura forrajera a partir de vinazas

La Fig 2 muestra la estructura de la producción de levadura de vinazas.

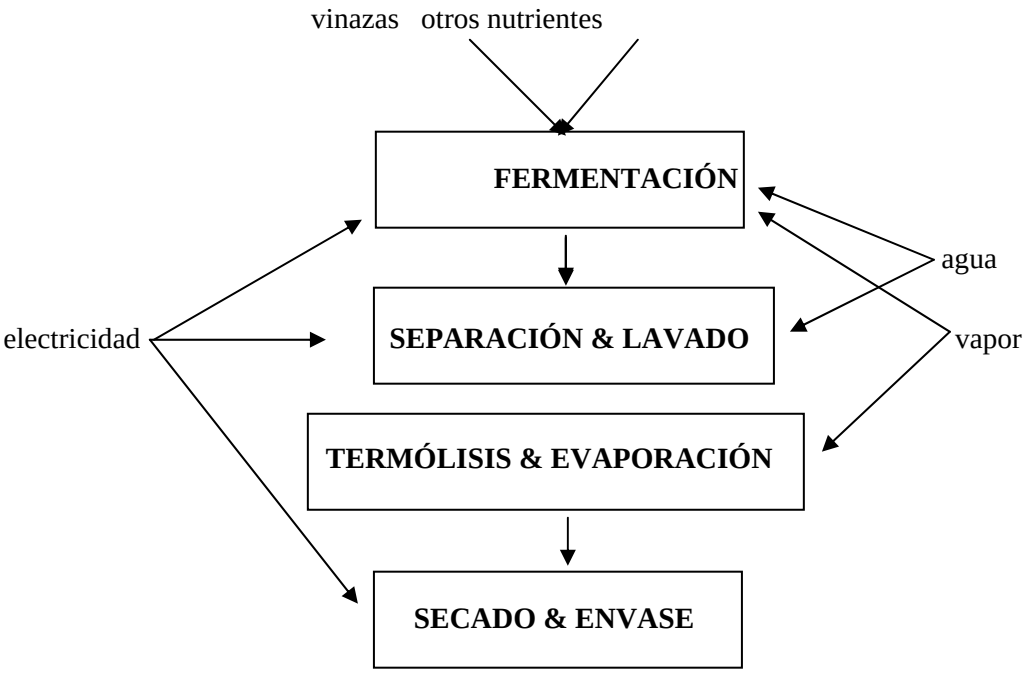


FIG 2 ESTRUCTURA DE PRODUCCIÓN DE LA LEVADURA DE VINAZAS

Instalaciones que utilizan esta tecnología en la actualidad

La tecnología, desarrollada íntegramente en el ICIDCA, se encuentra implementada en 3 fábricas en Cuba de 5000 t/año de capacidad cada una. El proceso permite la remoción directa de más del 60 % de la DQO presente en el medio y produce 1 ton de levadura por cada 60 m^3 de vinazas (a partir de melazas).
El esquema tecnológico puede diseñarse para priorizar el agotamiento más intensivo del residuo, o la producción de proteína en función de las prioridades locales.
La Tabla 2 ofrece la composición de la levadura de vinazas y su comparación con la levadura de melazas y la harina de soja, fuente de proteína forrajera tradicional.

TABLA 2 COMPOSICIÓN DE LEVADURA (*TORULA*) DE VINAZAS Y SU COMPARACIÓN CON LA LEVADURA DE MELAZAS Y HARINA DE SOJA

COMPONENTE	**LEVADURA VINAZAS**	**LEVADURA MELAZAS**	**HARINA DE SOJA**
Proteína bruta	45.0	47.0	44.0
Extracto etéreo	1.2	1.5	2.3
Fibra bruta	0.63	0.57	6.3
Aminoácidos			
Arginina	2.04	1.98	3.45
Histidina	1.71	1.89	1.41
Isoleucina	1.95	2.00	1.98
Leucina	3.90	4.06	3.29
Lisina	**4.07**	**4.05**	2.90
Metionina + Cistina	1.08	0.99	1.15
Fenilalanina + Tirosina	3.24	3.89	3.63
Treonina	2.19	2.13	1.71
Triptófano	1.07	1.12	0.90
Valina	2.29	2.27	2.15

Es de destacar que la levadura, tanto de vinazas como de melazas, posee un perfil de aminoácidos muy similar al de la harina de soja. Sin embargo el contenido de lisina 40% superior al de esta última.
Para instalaciones típicas de 15-100 t/día, el equipamiento requerido lo compone

- Cultivador
- Prefermentador
- Sopladores
- Fermentadores
- Separadoras
- Evaporadores
- Sistema de secado

Esta tecnología es de complejidad media y requiere equipamiento e instalaciones especiales. El costo del equipamiento depende de la capacidad que se pretenda instalar, la disponibilidad de servicios auxiliares y si se trata de equipamiento nuevo o de segunda mano.
La Tabla 3 muestra algunas características de una instalación típica.

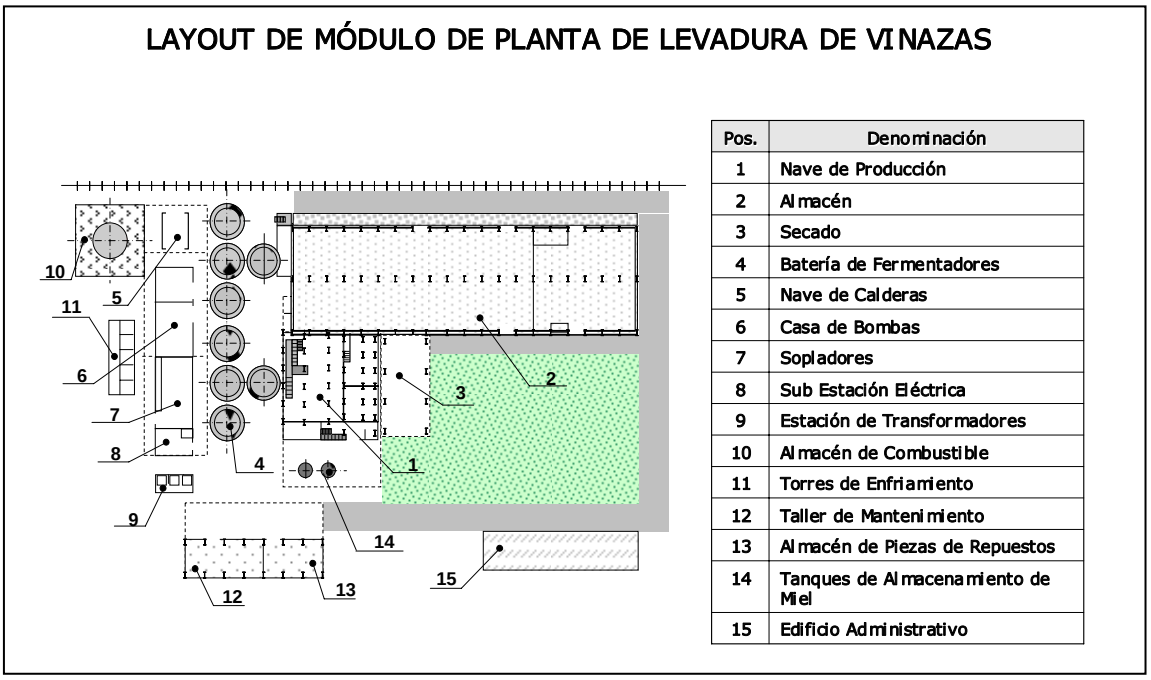
TABLA 3 CAPACIDADES ESTÁNDAR DE UN COMPLEJO DESTILERÍA DE ALCOHOL-FÁBRICA DE LEVADURA FORRAJERA

Sustrato*	Melazas		Jugos	
Instalación	Destilería	Fab. levadura	Destilería	Fab. levadura
Producción	50000 L/día	25 t/día	50000 L/día	25 t/día[2]
Vinazas, L/día	600000	No	600000	No
DQO Vinazas, kg/m^3	150-180**	10-15[1]	40-45**	10-15[1]

*fuente de azúcares utilizada en la destilería; ** para sistemas con recirculación de levadura; [1] residual integral de la fábrica; [2] no se contempla la levadura recuperada

Distribución en planta

La Fig 3 muestra la distribución del equipamiento para una planta procesadora de las vinazas de una destilería de 700 mil L de etanol destilado/día



Pos.	Denominación
1	Nave de Producción
2	Almacén
3	Secado
4	Batería de Fermentadores
5	Nave de Calderas
6	Casa de Bombas
7	Sopladores
8	Sub Estación Eléctrica
9	Estación de Transformadores
10	Almacén de Combustible
11	Torres de Enfriamiento
12	Taller de Mantenimiento
13	Almacén de Piezas de Repuestos
14	Tanques de Almacenamiento de Miel
15	Edificio Administrativo

FIG 3 DISTRIBUCIÓN DE L EQUIPAMIENTO DE UNA FÁBRICA DE LEVADURA FORRAJERA A PARTIR DE VINAZAS DE DESTILERÍA. CAPACIDAD DE LA DESTILERÍA 7000 000 L/día

La Fig 4 ofrece la vista aérea de un planta modular de levadura forrajera a partir de vinazas para una destilería típica en Cuna de 50 000 L/día de etanol destilado.
de destilería para una produce

FIG 4 VISTA AÉREA DE UNA PLANTA MODULAR DE LEVADURA PARA EL PROCESAMIENTO DE LAS VINAZAS DE UNA DESTILERÍA TÍPICA DE 50 000 L/día

CONCLUSIONES

Las vinazas de destilación de alcohol pueden ser tratadas de manera eficiente por medio de la propagación de levadura forrajera independientemente de que provengan de melazas o de jugos directamente.
Para una destilería típica de Cuba, de 50 000 L/día de etanol destilado, se pueden producir alrededor de 25 t de levadura para alimento animal y reducir el poder contaminante de las vinazas en 50-60%.
El ICIDCA brinda servicios en esta esfera desde las pruebas a escala de laboratorio con vinazas de producción local, hasta el diseño de planta, apoyo en la selección equipamiento, arrancada y puesta en marcha y entrenamiento de personal. Una vez implementado el proyecto oferta servicios de scale down para la solución de problemas tecnológicos.

REFERENCIAS

Martínez, J.A.; Almazán, O.; Saura, G. y Otero, M.A. (2004), Production of fodder yeast from stillage in Cuba: an environmental approach *Zuckerindustrie* 129, 92-95

Martínez, J.A.; Otero, M.A.; Saura, G. y Valdés, I.F. (2005), Utilization of yeast nutrient QZ-350 as substitute of cane molasses in fodder yeast production *Wrap up Meeting of Project PGTF INT04/K04*, México DF, Marzo 8-10

Otero, M.A.; Bernal, G.L., Almazán, O.A. (1983), Proteína unicelular. Microorganismos, substratos y reactores (Gálvez, L.O. ed.) Editora Científico Técnica, La Habana, Cuba

Otero, M.A.; Klibansky, M.M.; García, A.; Estévez, R.E. y Almazán, O. (1979), Evaluación de cepas industriales de *Candida utilis* *Sobre los deriv* 13 (1-3), 69

Otero, M.A.; Martínez, J.A. y Saura, G. (2006), Las vinazas de destilería. ¿Un subproducto de la producción de etanol más que un residual? 49 Conferencia de la ATAC, Santiago de Cuba, noviembre 1-4

Otero, M.A.; Saura, G.; Martínez, J.A.; Almazán, O.A. (2007), Fodder yeast production: a new approach for distillery vinasses treatment *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, 26, (1127-1133)

Otero, M.A.; Saura, G.; Martínez, J.A.; Fundora, N.; Reyes, E.; Vasallo, M.C.; y Almazán, O.A. (2003), Propagation of yeast biomass from distillery wastes. Process and product evaluation *Int Sugar J* 105 (1249), 36-39

Otero, M.A.; Saura, G.; Valdés, I.; Peña, M.A.; Martínez, J.A. y Pascual, A. (2002), Análisis operacional de un complejo destilería-fábrica de levadura en el Complejo Agroindustrial A. Guiteras. Parte I *Sobre los deriv* 36 (1), 28-32

Saura, G.; Otero, M.A.; Valdés, I.; Peña, M.A.; Martínez, J.A. y Pascual, A. (2002) Análisis operacional de un complejo destilería-fábrica de levadura en el Complejo Agroindustrial A. Guiteras. Parte II *Sobre los deriv* 36 (2), 7-10

Šillinger, V. y Almazán, O. (1970), Uso de las vinazas de destilación para la producción de levadura forrajera *Memorias de la 39 Conferencia de la Asociación Cubana de Técnicos Azucareros (ATAC)*, pp. 422

Solís, H. (2006), Créditos de Carbono: Una fuente de recursos financieros con el Mercado MDL Taller Internacional sobre producción y usos del etanol, Diversificación 2006, La Habana, junio 19-21

Spencer, J.F.T.; Spencer, D.M. y Figueroa, L.I.C. (1997), *Yeast as living objects: yeast nutrition*. *In*: Yeasts in Natural and Artificial Habitats (Spencer, J.F.T. y Spencer, D.M. eds), Springer Verlag, Berlin

Strapasson, A. (2006), Etanol y medioambiente Taller Internacional sobre producción y usos del etanol, Diversificación 2006, La Habana, junio 19-21

ALIMENTO ANIMAL

CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE LA CEPA *Leuconostoc citreum* B/110-1-2, AMPLIAMENTE UTILIZADA EN LA PRODUCCIÓN DE DERIVADOS DE LA DEXTRANA EMPLEADOS EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Reinaldo Fraga Vidal[1], Aidín Martínez[1], María Teresa Fernández[1], Isabel Goire[1], Viviana Carabeo[1], Pierre Escalier[2], Sandrine Morel[2], Magali Remaud-Simeon[2], Pierre Monsan[2]

[1]Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Apartado Postal 4026 CH-10 CP: 11000, Ciudad de La Habana, Cuba; reynaldo.fraga@icidca.edu.cu

[2]Département de Génie Biochimique et Alimentaire INSA 135, ave. de Rangueil 31077 Toulouse Cedex 4, France.

RESÚMEN

Las cepas de *Leuconostoc* spp. pertenecientes a la colección de cultivos microbianos del ICIDCA están destinadas al diseño de procesos fermentativos a partir de los cuales se logre la producción de polímeros de glucosa (dextrana y gluco-oligosacáridos). Estos, por su amplio y versátil uso tienen una gran demanda y constituyen una alternativa muy interesante en la diversificación de la agro-industria azucarera cubana. La dextrana y sus derivados, como hierro-dextrana son ampliamente usados en la alimentación animal con resultados muy positivos. En el ICIDCA, en años precedentes, se desarrollaron tecnologías a escala industrial y de planta piloto para la producción de dextrana y dicho derivado empleando la cepa de *Leuconostoc citreum* B/ 110-1-2 como fuente de enzimas dextransucrasas. De manera que es determinante para el desarrollo de una industria azucarera diversificada poder contar con cepas productoras de tales polímeros que hayan sido exhaustivamente caracterizadas desde el punto de vista genético-fisiológico. En tal sentido, en el presente estudio se informa de la caracterización a nivel molecular de este aislamiento salvaje y autóctono (*Leuconostoc citreum* B/ 110-1-2). Esta se centró en la detección, localización celular y estudio de la especificidad de las diferentes enzimas dextransucrasas que esta cepa produce, así como la amplificación por técnicas de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) de fragmentos de ADN codificantes para dichas dextransucrasas. Otro aspecto fue la dilucidación de la estructura o tipos de enlaces químicos que forman las dextranas y gluco-oligosacaridos que las dextransucrasas de la cepa B/ 110-1-2 son capaces de sintetizar.

ABSTRACT

The *Leuconostoc* spp.strains belonging to the microbial culture collection of ICIDCA are destined to the design of fermentative processes from which can be possible to produce polymers of glucose (dextran and gluco-oligosaccharides). These, due to their wide and versatile use have a great demand and constitute a very interesting alternative in the diversification of the Cuban sugarcane agro-industry. Dextran and its derivatives like iron-dextran are widely used for animal feed with positive results. At ICIDCA, some years ago, it was developed a technology of dextran production at industrial level and a technology at pilot plant scale for the production of said dextran derivative using the strain of *Leuconostoc citreum* B/ 110-1-2 as the source of dextransucrase enzymes. According to this, it is determinant for the development of a diversified sugarcane industry to count with producer strains of such polymers, which have been exhaustively characterized since the genetic-physiologic point of view. In this way, in the present study we report about the characterization at molecular level of this wild type and autochthon isolate (*Leuconostoc citreum* B/ 110-1-2). The characterization was focused in the detection, cellular localization and study of the specificity of the different dextransucrase enzymes this strain produces, as well as the amplification by PCR techniques of DNA fragments encoding for such dextransucrases. Other aspect this study touch is the structure or kind of chemical linkages elucidation that form the dextran and gluco-oligosaccharides dextransucrase enzymes of the B/ 110-1-2 strain are able to synthesized.

Key words: dextransucrases, dextran, gluco-oligosaccharides, *Leuconostoc*
Palabras claves: dextransucrasas, dextrana, gluco-oligosacáridos, *Leuconostoc*

INTRODUCCIÓN

Las glucansucrasas (EC 2.4.5.1) son enzimas extracelulares producidas principalmente por la bacteria del suelo *Leuconostoc mesenteroides* (comúnmente llamadas dextransucrasas), por especies de *Streptococcus* de la flora oral (comúnmente llamadas glucosiltransferasas) y por bacterias lácticas (Sidebotham, 1974). Ellas catalizan la síntesis de polímeros de alto peso molecular de D-glucosa a partir de la sacarosa, llamados glucanos. Cuando se adicionan al medio de reacción aceptores eficientes como maltosa e isomaltosa, las glucansucrasas catalizan la síntesis de oligosacáridos de bajo peso molecular en lugar de un glucano de alto peso molecular (Koepsell y cols., 1953). Diferentes tipos de glucanos con diferentes tallas y estructuras son sintetizados dependiendo de la cepa productora de la dextransucrasa (Seymour y Knapp, 1980; Hare y cols., 1978). Presentan una cadena lineal principal compuesta de unidades D-glucopiranosil ya sea unidas principalmente por enlaces glucosídicos α(1-6) (polímero dextrana), o a través de enlaces glucosídicos α(1-3) (polímero mutana), así como alternativamente unidos a través de enlaces glucosídicos α(1-6) y α(1-3) (polímero alternan). Los glucanos también difieren en el tipo de enlace de las ramificaciones, resultando desde enlaces glucosídicos α(1-2), α(1-3), α(1-4), y α(1-6), difieren en el grado de ramificación, el largo de la ramificación y su configuración espacial (Monchois y cols., 1999).

Las dextransucrasas de *L. mesenteroides* son empleadas en la industria. La dextrana producida por el *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-512F fue uno de los primeros biopolímeros en ser producidos a escala industrial en 1948 (Groenwall y Ingelman, 1948) y en encontrar varias aplicaciones en medicina, tecnologías de separación y en biotecnología (Garvie, 1984; Soetaert y cols., 1995). Los oligosacáridos producidos por *L. mesenteroides* NRRL B-1299 con una o más unidades D-glucopiranosil enlazadas a través de enlaces glucosídicos α(1-2) (Paul y cols., 1992) son altamente resistentes a los ataques de las enzimas digestivas (Djouzi y cols., 1995) y son usados como prebióticos en cosméticos y en aplicaciones nutricionales humanas, ya que son específicamente metabolizados por la microbiota saprófita beneficiosa.

Las cepas de *Leuconostoc* spp. pertenecientes a la colección de cultivos microbianos del ICIDCA están mayormente destinadas al diseño de procesos fermentativos a partir de los cuales se logre la producción de

diferentes polímeros de glucosa (dextrana y gluco-oligosacáridos). Estos, por su amplio y versátil uso constituyen una alternativa muy interesante en la diversificación de la Agroindustria azucarera cubana. Por ejemplo, la dextrana y derivados de la dextrana como la Hierro-Dextrana son ampliamente usados en la industria farmacéutica y en la alimentación animal respectivamente, con resultados muy positivos. En el ICIDCA, en años precedentes fue desarrollada una tecnología a escala industrial de producción de dextrana (Bell y cols., 2000) y una tecnología a escala de planta piloto para la producción de la Hierro-Dextrana (Michelena y Santiesteban, 2000), ambas emplean la cepa de *Leuconostoc citreum* B/ 110-1-2 como microorganismo productor de las enzimas dextransucrasas. De manera que es determinante para el desarrollo de una industria azucarera diversificada poder contar con cepas productoras de tales polímeros que hayan sido exhaustivamente caracterizadas desde el punto de vista genético-fisiológico. Así como también contar con una adecuada caracterización de los polímeros que tales cepas producen. En tal sentido, en el presente estudio se informa de la caracterización a nivel molecular de este aislamiento salvaje y autóctono ampliamente empleado en Cuba por muchos años, en la producción de dextrana y sus derivados. Dicha caracterización se centró en la detección, localización celular y estudio de la especificidad de las diferentes enzimas dextransucrasas que esta cepa produce, así como la amplificación por técnicas de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) de fragmentos de ADN codificantes para dichas dextransucrasas. Otro aspecto que también abarcó este estudio fue la dilucidación de la estructura o tipos de enlaces químicos que forman las dextranas y gluco-oligosacaridos que las dextransucrasas de la cepa B/ 110-1-2 son capaces de sintetizar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cepas bacterianas, medios y condiciones de cultivo

La cepa de *Leuconostoc citreum* B/110-1-2 pertenece a la Colección de Cultivos Microbianos del ICIDCA. Fue mantenida a -80°C en medio fresco con glicerol al 15% (v/v). Los cultivos de la cepa B/110-1-2 fueron crecidos en frascos invaginados de 500 ml en una zaranda rotatoria a 30°C a 200 rpm con 50 ml de medio (en g/L): 40 de sacarosa, 20 de K_2HPO_4, 20 de extracto de levadura, 0.2 de $MgSO_4$ $7H_2O$, 0.01 de $MnSO_4$ H_2O, 0.01 de NaCl, 0.02 de $CaCl_2$, 0.01 de $FeSO_4$ $7H_2O$ con un pH de 6.9. La glucosa en lugar de la sacarosa se adicionó al medio para crecer el cultivo a partir del cual se realizó la purificación del ADN cromosomal.

Preparación de las fracciones que contienen las enzimas dextransucrasas

Las fracciones celulares y sobrenadantes de los cultivos contienen dextransucrasas insolubles y solubles respectivamente. Dichas fracciones se prepararon por centrifugación a 10 000 X *g* a 4 °C durante 15 min. Fueron obtenidas a partir de cultivos crecidos en medio (50 ml) suplementado con sacarosa a 40 g/L hasta que el pH del medio decayó a valores entre 5.0-4.8. Las fracciones celulares se resuspendieron en 100 ml de acetato de sodio 20 mM (pH 5.4), 2 mM $CaCl_2$ y 0.1 % $NaNO_3$. Ambas fracciones se almacenaron a -20 °C hasta el momento de realizarle los análisis.

Determinación de la actividad enzimática dextransucrasa

Las reacciones enzimáticas se ensayaron bajo condiciones estándar a 30 °C, en tampón acetato de sodio 20 mM (pH 5.4), 0.05 g de $CaCl_2$ por litro, 1 g de $NaNO_3$ por litro, y 100 g de sacarosa por litro. La actividad sucro-lítica fue determinada detectando los niveles de azucares reductores libres con el método del ácido dinitrosalicílico (DNS), (Sumner y Howell, 1935), 1 UI fue definida como la cantidad de enzima que cataliza la liberación de 1 µmol de fructosa min^{-1} bajo las condiciones ensayadas. Los valores de actividad enzimática mostrados representan el valor promedio con su respectiva desviación estándar obtenido a partir de determinaciones realizadas por triplicado.

Producción de malto-oligosacáridos y dextranas de alto peso molecular

Las reacciones aceptoras fueron realizadas a 30°C durante 24 h, en tampón acetato de sodio 20 mM (pH 5.4), 0.05 g de $CaCl_2$ por litro, 1 g de $NaNO_3$ por litro, 100 g de sacarosa por litro, 50 g de maltosa por litro y 0.5 UI por ml de dextransucrasa intracelular y asociada a la pared celular, así como 0.5 UI por ml de dextransucrasa secretada al sobrenadante del cultivo de la cepa usada en este estudio. Los polímeros de dextrana se produjeron de igual forma, excepto que al medio de reacción no se le adicionó el aceptor maltosa.

Cromatografía de intercambio aniónico de alta resolución con detección amperométrica pulsada (HPAEC-PAD)

La producción de malto-oligosacáridos fue monitoreada por análisis de HPAEC-PAD, usando una columna Dionex Carbo-Pack PA100 de 4x250 mm. Se aplicó un gradiente de acetato de sodio (de 6 a 300 mM en 28 min) en 150 mM NaOH, a un flujo de 1 ml/min. La detección se realizó un modulo Doinex ED40 con electrodo de oro y uno de referencia de pH de Ag/AgCl.

Cromatografía de alta resolución de exclusión por talla (HPSEC)

El peso molecular de las dextranas fue determinado por HPSEC. Para el análisis de las dextranas, dos columnas Shodex OH-Pack SB-805 y SB-802.5 fueron conectadas en serie, usando un eluente conteniendo 0.45 M de $NaNO_3$, 1 % de etilen glicol a un flujo de 0.3 ml/min. Las columnas fueron mantenidas a 70°C, y las muestras fueron filtradas a través de filtros con poros de 0.45 μm (Sartorius) antes de la inyección (Moulis y cols., 2006b). Fueron usadas dextranas comerciales de 2000, 530, 70, and 10 kDa como patrones de calibración, así como isomaltotriosa, sacarosa, maltosa, fructosa, glucosa, leucrosa (Sigma).

Análisis de los polímeros por espectroscopia de ^{13}C-RMN (Resonancia Magnética Nuclear)

Todos los espectros de las RMN fueron obtenidos sobre un espectrómetro Avance 500 MHz (Bruker). Los datos fueron adquiridos y procesados usando el programa informático XWINNMR versión 3.5. La temperatura fue 343 K. Los ^{13}C-RMN cuantitativos fueron obtenidos como previamente describió (Fabre y col., 2005; Dols y cols., 1998), usando una secuencia inversa tomada de la librería de secuencias de pulso del Bruker, y usando un pulso de 90°, 25000Hz de amplitud de barrido, 2.5 s relajación de retardo y 0.63 s de tiempo de adquisición. Un total de 30000 barridos fueron obtenidos. La asignación de las señales fue hecha según Seymour (Seymour y Knapp, 1980; Seymour y Knapp, 1979) y a partir de la comparación de espectros de productos y aceptores de reacciones colaterales.

Electroforesis de proteínas en geles de poliacrilamida bajo condiciones desnaturalizantes (SDS-PAGE). Zimogramas

Las electroforesis de proteínas fueron realizadas con el sistema XCell *SureLock*™ Mini-Cell, con geles NOVEX Tris-Acetato de 1.5 mm de grosor (Invitrogen), antioxidante NuPAGE (Invitrogen), tampón de corrida NuPAGE Tris-Acetato-SDS (para geles de Tris-Acetato) de Invitrogen. El agente reductor de la muestra NuPAGE (3μl) y tampón de carga de la muestra NuPAGE®LDS (4X) (7.5 μl) fueron mezclados con 20 μl de la muestra y calentado a 70° C por 10 min antes de ser cargado en el gel. Las muestras que contenían células resuspendidas fueron centrifugadas a 10 000 X *g* en una micro centrifuga antes de ser aplicadas en los geles. Aproximadamente 2 mU de enzima, determinada por el ensayo del DNS, fue aplicada en los geles y la electroforesis fue realizada durante aproximadamente una hora a 150 Volts. Posteriormente los geles fueron teñidos para detectar la actividad dextransucrasa (zimograma) por el procedimiento de

Miller y Robyt, (1986). En todas las corridas electroforéticas se incluyó el patrón de proteínas de alto peso molecular (Precision Plus Protein™ All Blue Standard, Bio-Rad, Inc.).

Extracción y purificación de ADN

El ADN cromosomal de la cepa B/110-1-2 se purificó con el kit: "Blood and Cell Culture DNA Maxi kit" (Qiagen). Los productos de la amplificación de los fragmentos de ADN obtenidos por la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) fueron purificados a partir de electroforesis de ADN preparativas en geles de agarosa al 0.8 % con el kit: "QIAquick gel extraction kit" (Qiagen). Los procedimientos generales para la manipulación del ADN fueron realizados por métodos estándares (Sambrook y Russell, 2001).

Amplificación por PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) de los fragmentos de ADN codificantes para enzimas dextransucrasas

Los cebadores fueron diseñados a partir de los extremos 5' y 3' de la secuencia de los genes *asr, dsr*S y *dsr*E depositados en bases de datos de secuencias de ADN de dominio público como el GeneBank™ (números de acceso, AJ250173, I09598 y AJ430204, respectivamente). Los fragmentos de ADN (amplicones) codificantes para enzimas dextransucrasas fueron generados por LA PCR (Long and Accurate PCR) empleando el kit: "Expand High Fidelity PCR System" (Roche Applied Science), acorde a las sugerencias del fabricante en un termociclador Perkin Elmer Gene Amp PCR System 2400 y 50 ng del ADN cromosomal de las cepas como molde, 10 μM de los cebadores directos e inversos (Tabla I). Las condiciones de amplificación fueron: 1 ciclo de 94 °C por 2 min, 10 ciclos de 94 °C por 15 seg, 50 °C por 30 seg, 68 °C por 10 min, 20 ciclos de 94 °C por 15 seg, 50 °C por 30 seg, 68 °C por 10 min más 5 seg por cada ciclo y 1 ciclo de 68 °C por 15 min.

TABLA I. Oligonucleótidos usados para la amplificación de los genes codificantes de dextransucrasas por LA PCR.

Designación	Descripción	5'-3' Secuencia[b]
asr-dir-PS	nt 195-220	***CATGG***AACAACAAGAAACAGTTACCCG
asr-inv-PS	nt 6335-6365	AGCTTGCAAAGCACGCTTATCAATCCATAGC
dsrS-dir-PS	nt 230-263	ATGCCATTTACAGAAAAAGTAATGCGGAAAAAGC
dsrS-inv-PS	nt 4809-4780	GTATGCTGACACAGCATTTCCATTATTATCAAATTGG
dsrE-dir-PS	nt 567-593	ATGAGAGACATGAGGGTAATTTGTGAC
dsrE-inv-PS	nt 9070-9045	AATTTGAGGTAATGTTGATTTATCACC

[a] nt, nucleótidos

[b] La secuencia de los oligonucleótidos están diseñadas a partir de la cadena no codificadora (-dir-PS) y de la cadena complementaria o codificadora (-inv-PS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Niveles de actividad dextransucrasa en las fracciones celulares y sobrenadantes. Zimogramas de dextransucrasas. Amplificación de fragmentos de ADN codificantes para enzimas dexransucrasas.

Las bacterias del género *Leuconostoc* son capaces de producir homopolisacáridos de glucosa, y de fructosa, respectivamente, los glucanos y los fructanos. Los glucanos son sintetizados por glucansucrasas (dextransucrasas) principalmente extracelulares que usan la sacarosa como donante de unidades de glucosa. Estas glucansucrasas pertenecen a la familia 70 de las Glucósido-Hidrolasas (EC. 2.4.1.5) (Monsan y cols., 2001). Las dextransucrasas de la cepa de *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-1299 son producidas bajo dos formas: una insoluble y otra soluble. La forma insoluble es responsable del 60-95 % de la actividad glucosiltransferasa (dextransucrasa) total producida, dicha actividad es obtenida en la fracción celular después de una centrifugación (Remaud-Simeon y cols., 1994; Kobayashi y Matsuda, 1974; Smith, 1970). La cepa de *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-1355 produce un tipo dextransucrasa (alternansucrasa) (EC. 2.4.1.140), que es una enzima predominantemente asociada a la célula y representa menos del 10 % de la actividad glucosiltransferasa total en la fracción del sobrenadante, de cultivos jóvenes activos (Zahnley y Smith, 1995). La Fig. 1 muestra los niveles de actividad dextransucrasa cuantificados en las fracciones celulares (dextransucrasas insolubles) y sobrenadantes (dextransucrasas solubles) de la cepa B/110-1-2 (Fig. 1 II-A), los mayores niveles se obtienen en la fracción del sobrenandante del cultivo, lo cual concuerda con la localización extracelular de la mayoría de las dextransucrasas producidas por las bacterias ácido-lácticas pertenecientes a los géneros: *Leuconostoc*, *Streptococcus*, y *Lactobacillus* (Sidebotham, 1974; Mooser, 1992). De hecho, en los más de 30 genes codificadores de dextransucrasas que han sido aislados hasta el momento, ha sido posible identificar producto de los análisis de sus secuencias aminoacídicas, que el dominio N-terminal (amino-terminal) comienza con un péptido señal bien conservado, encargado de la secreción de la enzima al medio extracelular (Monchois y cols., 1998). La única excepción es la dextransucrasa DSR-A del *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-1299 (Monchois y cols., 1996).

En la Fig. 1 se muestran también los resultados de los zimogramas de las dextransucrasas logrados por medio de electroforesis de proteínas bajo condiciones desnaturalizantes (Fig. 1 II-B y II-B') y a su vez estos resultados son relacionados con la detección de fragmentos de ADN amplificados (amplicones) que potencialmente codifican para enzimas dextransucrasas. En la cepa B/110-1-2, tanto en la fracción celular como en el sobrenadante (Fig. 1 II-B y II-B') se detectó una banda homogénea con actividad dextransucrasa, correspondiente a una enzima con una masa molecular aproximada de 170 kDa. La principal dextransucrasa producida por *L. mesenteroides* NRRL B-512F es una proteína de 170 kDa (DSR-S) que corresponde al producto del gen (*dsr*S) descrito por Wilke-Douglas y cols., (1989). El tamaño del ARNm (ARN mensajero) de la dextransucrasa de la cepa B-512F se corresponde con el tamaño del gen *dsr*S por lo que fue posible concluir que el mismo está localizado en un operón monocistrónico y que la región codificadora del mismo es un fragmento de ADN de aproximadamente 4.6 kb (Quirasco y cols., 1999; Monchois y cols., 1997). Sin embargo, en este estudio no se pudo amplificar ningún fragmento de ADN de talla similar (4.6 kb) en la cepa B/110-1-2 (Fig. 1 II-C), a pesar de que en los zimogramas de ambas fracciones (celular y sobrenadante) se detectó una dextransucrasa con una masa molecular aproximada de 170 kDa (Fig. 1 II-B y II-B'), esto es probablemente debido a que los cebadores empleados para amplificar los potenciales genes codificantes para enzimas dextransucrasas eran homólogos (no degenerados) (ver acápite de Materiales y Métodos) y a la alta especificidad de la PCR.

A partir de la cepa B/110-1-2 fue posible amplificar un fragmento de ADN de aproximadamente 8.5 kb (Fig. 1 II-C, línea 2), cuya talla es muy similar a la del gen *dsr*E, que codifica para la dextransucrasa de mayor peso molecular que ha sido aislada y caracterizada hasta el momento (Bozonnet y cols., 2002). Aunque en los zimogramas de las fracciones celulares y sobrenadantes de la cepa B/110-1-2 (Fig. 1 II-B y II-B') no se observa ninguna dextransucrasa de masa molecular aproximada de 313 kDa (correspondiente a la dextransucrasa DSR-E), en otros ensayos, aún con un nivel de expresión muy bajo, si fue posible detectarla (dato no mostrado). También a partir de la cepa B/110-1-2 fue posible amplificar un fragmento de ADN de

aproximadamente 6.5 kb (Fig. 1 II-C, línea 3), cuya talla es similar a la del gen *asr*, que fue aislado a partir de la cepa de *L. mesenteroides* NRRL B-1355 y que codifica para la única alternansucrasa (dextransucrasa) descrita hasta el momento (Arguello-Morales y cols., 2000). Esta enzima tiene una masa molecular de aproximadamente 230 kDa y como se mencionó anteriormente en este acápite, es una enzima asociada a la célula (Zahnley y Smith, 1995). En los zimogramas realizados con las fracciones celulares de las cepas B/110-1-2 (Fig. 1 II-B) se aprecia una banda de una dextransucrasa cuya masa molecular de aproximadamente 230 kDa, coincide con la alternansucrasa antes mencionada.

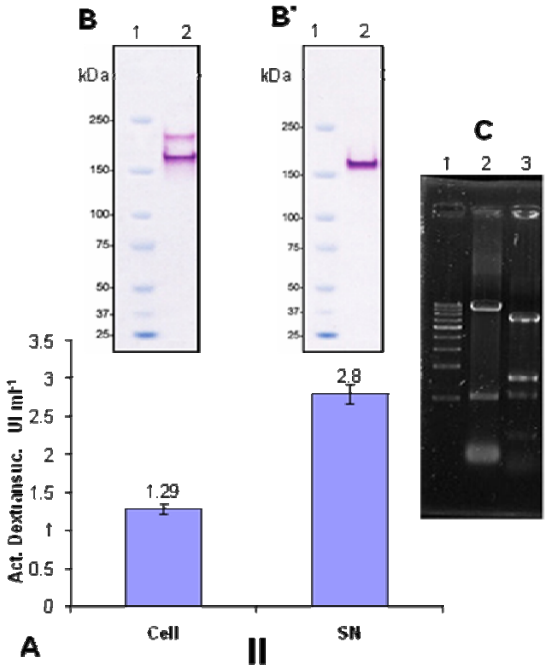


Figura 1. Actividad enzimática dextransucrasa en las fracciones celulares (Cell) y sobrenadante (SN) de la cepa *L. citreum* B/110-1-2 (II-A). Electroforesis de proteínas y zimogramas de las fracciones Cell y SN (II-B y II-B', respectivamente) de la cepa B/110-1-2, Línea 1- Patrón de proteínas de alto peso molecular en kDa (BioRad). Electroforesis de ADN de los amplicones codificantes para enzimas dextransucrasas en la cepa B/110-1-2 (II-C). Línea 1 (II-C)- 1 kb DNA step ladder (Promega), Línea 2 (II-C)- amplicón de ~8.5 kb, Línea 3 (II-C)- amplicón de ~6.5 kb.

Detección por HPAEC-PAD de los productos de las reacciones aceptoras sintetizados por las dextransucrasas de las fracciones celulares y sobrenadantes de las cepas estudiadas.

Las dextransucrasas pueden producir oligosacáridos o gluco-conjugados por medio de una reacción de transglucosilación a partir de la sacarosa como donadora de unidades de glucosa a un aceptor exógeno y esta es conocida como "reacción aceptora", la cual ocurre a expensas de la síntesis del polímero (Koepsell y cols., 1953, Richard y cols., 2003). Existe una interesante diversidad en la familia 70 de las Gluco-Hidrolasas, donde hay enzimas capaces de sintetizar todos los tipos de enlaces glucosídicos (α-1,2; α-1,3; α-1,4; α-1,6), de manera que dependiendo de la especificidad de la enzima pueden ser producidos un amplio rango de glucanos, variando en términos de talla, estructura, grado de ramificación y conformaciones espaciales (Moulis y cols., 2006b). En la Fig. 2A se aprecia la comparación de los productos de la reacción aceptora de la fracción celular de la cepa *L. citreum* B/110-1-2 con los productos de una reacción similar, a manera de control, realizada con la enzima DSR-S purificada del sobrenadante de la cepa *L. mesenteroides* NRRL B-512F, esta última vale decir, que es la dextransucrasa de la familia 70 de las Gluco-Hidrolasas que ha sido más intensamente estudiada hasta el momento y se sabe que la misma es específica para la formación de polímeros de glucosa con más del 95 % de enlaces α-1,6 (Moulis y cols., 2006a). En presencia de maltosa como molécula aceptora, la DSR-S produce una serie de análogos de isomaltodextrinas (Jones y cols., 1956), cada producto contiene una unidad de maltosa en el extremo reductor y una unidad glucopiranosil enlazada por un enlace α-1,6 al extremo no reductor, estos productos van desde el trisacárido panosa hasta sacáridos homólogos con 12 unidades de glucosa (Cote y Leathers, 2005). Continuando entonces con el análisis de la Fig. 2A, se hace evidente que los productos de la reacción aceptora sintetizados por la fracción celular de la cepa B/110-1-2 tienen tiempos de retención muy similares a los sintetizados por la DSR-S, excepto que se aprecian claramente dos picos extras, inmediatamente después de los productos con grado de polimerización 7 y 8 respectivamente. De semejante patrón cromatográfico, hasta donde sabemos no hay ningún informe hasta el momento, para cepas de *L. mesenteroides* y *L. citreum*. Resulta interesante que esta fracción posee una dextransucrasa que tiene un peso molecular similar al informado para la alternansucrasa ASR de *L. mesenteroides* NRRL B-1355 (Arguello-Morales y cols., 2000, Zahnley y Smith, 1995), sin embargo, no produce gluco-oligosacáridos del tipo producido por la ASR, sino similares a los de la dextransucrasa DSR-S de *L. mesenteroides* NRRL B-512F, aunque con ligeras variaciones.

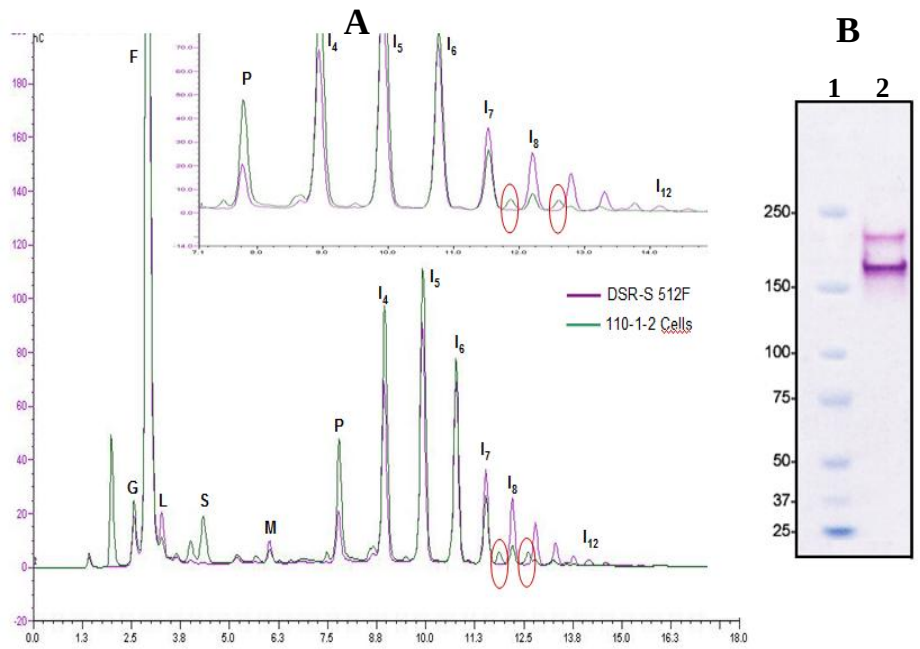


Figura 2. Análisis por HPAEC-PAD de los productos de la reacción aceptora sintetizados por la fracción celular de la cepa *L. citreum* B/110-1-2. Los productos de la reacción aceptora sintetizados por la dextransucrasa DSR-S de la cepa *L. mesenteroides* NRRL-B-512F fueron empleados como control. Relación Sacarosa/Maltosa en g/L (200/50). G: glucosa; F: fructosa; L: leucrosa; S: sacarosa; M: maltosa; P: panosa; $I_4 - I_{12}$: isomaltooligosacáridos de DP2 a DP12 (A). Electroforesis de proteínas y zimogramas de dextransucrasas. Línea 1, Patrón de proteínas de alto peso molecular en kDa (BioRad), Línea 2, fracción celular del cultivo de la cepa B/110-1-2, respectivamente (B).

Detección por HPSEC de los productos de las reacciones de polimerización sintetizados por las dextransucrasa de las fracciones celulares y sobrenadantes.

Las dextransucrasas sintetizan glucanos de alto peso molecular a partir de sacarosa por medio de una reacción conocida como "reacción de polimerización". Dos mecanismos alternativos han sido propuestos para explicar el crecimiento de la cadena del glucano (Monchois y cols., 1999), aunque todavía se necesita de investigación adicional para alcanzar una total comprensión de los mecanismos catalíticos tanto de la síntesis de glucanos como de oligosacáridos (Monsan y cols., 2001). En la Fig. 3 son mostrados los resultados de los análisis por cromatografía de alta resolución por exclusión de talla de los productos de la reacción de polimerización sintetizados por la fracción celular de la cepa de *L. citreum* B/110-1-2 empleando tres concentraciones de sacarosa. Esta fracción produjo un polímero de alto peso molecular estimado en 2 millones de Da, así como cantidades de productos de peso molecular intermedio, de los cuales, la mayor población corresponde a oligodextranas u oligosacáridos de DP<8 (grado de polimerización menor que 8 unidades de glucosa), un comportamiento muy similar a este fue descrito previamente, por primera vez, para la alternansucrasa ASR de la cepa *L. mesenteroides* NRRL B-1355 por Moulis y cols., (2006b), estos autores además demostraron que algunos oligosacáridos estaban formados únicamente por enlaces α-1,6 y otros por enlaces α-1,6 y α-1,3 en la cadena lineal, manteniéndose la especificidad informada para este tipo de dextransucrasa. Estos oligosacáridos se sintetizaron producto del empleo por esta enzima de la sacarosa como molécula aceptora. En nuestro caso, ya se ha demostró previamente que la fracción celular de la cepa

L. citreum B/110-1-2 no produce ninguna alternansucrasa, sino una dextransucrasa con algunas características estructurales de ambas, y es precisamente este hecho, o sea, el tener características comunes lo que al perecer determina que el comportamiento de ambas sea muy similar, aunque desde luego, la especificidad de ambas en relación al tipo de enlace que producen es diferente, como se evidenciará más adelante en este estudio.

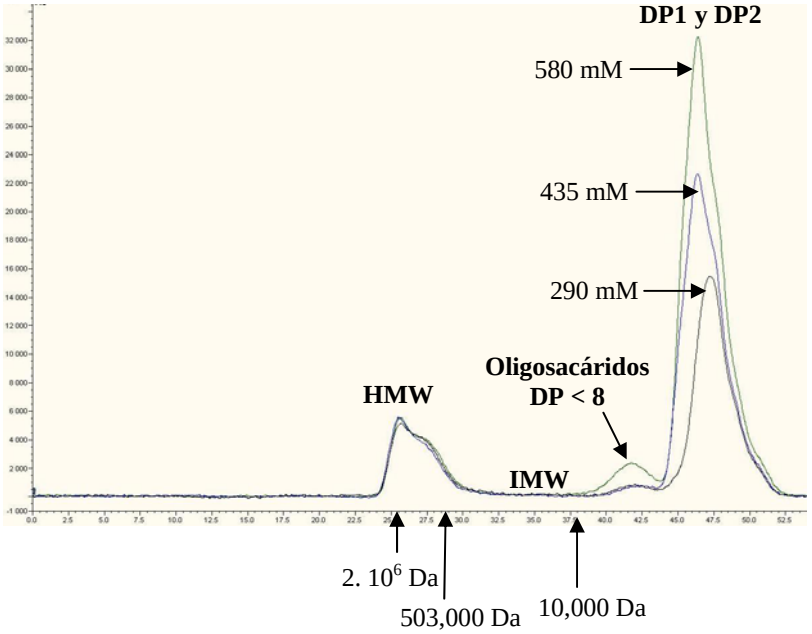


Figura 3. Análisis por HPSEC de los productos sintetizados por la fracción celular de la cepa de *L. citreum* B/110-1-2 durante una reacción de polimerización a partir de sacarosa 290 mM, 435 mM, 580 mM, respectivamente. La reacción se detuvo y analizó a las 24 horas. HMW: Polímeros de alto peso molecular, IMW: Productos de peso molecular intermedio, *DP2*: sacarosa *DP1*: monosacáridos.

Determinación de la estructura de los polímeros de alto peso molecular por análisis de resonancia magnética nuclear (^{13}C-RMN).

Los polímeros sintetizados por las glucansucrasas contienen mayormente unidades D-glucosil unidas por enlaces α-1,6; α-1,3; α-1,4 y α-1,2 (Sidebotham, 1974; Monchois y cols., 1999). La estructura de estos glucanos ha sido elucidada usando técnicas de resonancia magnética nuclear (^{13}C-RMN) (Seymour, Knapp, y Bishop, 1976; Seymour y cols., 1977; Seymour y Knapp, 1980; Misaki y cols., 1980; Cote y Robyt, 1982). En la Fig. 4 se muestra la comparación de los espectros obtenidos por ^{13}C-RMN de los polímeros sintetizados (α-D-glucanos) por la fracción celular de la cepa de *L. citreum* B/110-1-2 (Fig. 4A) y de la dextrana T-70 (70 kDa) sintetizada por la DSR-S purificada del sobrenadante de la cepa *L. mesenteroides* NRRL B-512F (Fig. 4B). Como se aprecia, el polímero de la B/110-1-2 muestra varios picos extras (encerrados en círculos), que hacen diferir este espectro del de la dextrana T-70. Este resultado confirma que la fracción celular de la cepa B/110-1-2 contiene una dextransucrasa diferente. Hasta el momento no se conoce de ningún informe sobre la síntesis de un polímero semejante producido por una cepa de *Leuconostoc citreum*, sin embargo, sí parece ser que un polímero similar fue previamente descrito por Seymour y cols., (1976) quienes trabajando con la dextrana presente en la fracción L del *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-1254 encontraron un espectro muy similar al obtenido por nosotros. En el trabajo de Seymour ellos refieren que la dextrana producida por dicha cepa presenta un caso de ramificación intermedia, representado por tres residuos D-glucosil unidos por enlaces α-D-(1,6), uno 1,4,6-tri-*O*-sustituído y un grupo D-glucosil

no reductor. Los dos picos adicionales, picos menores que aparecen en la región de 60-70 ppm se deben a los azúcares de la ramificación y los extremos no reductores. La región anomérica también muestra dos picos menores asociados con los azúcares de la ramificación y el extremo terminal no reductor. El pico mostrado dentro de la región 75-85 ppm (79.54) se asume que sea el átomo C-4 involucrado en la ramificación (Seymour y cols., 1976). También Slodki y cols., (1986), realizando estudios de cromatografía y análisis de metilación de dextranas NRRL, informaron que la cepa de *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-742 producía un polímero muy semejante al de la cepa *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-1254. Teniendo en cuenta todo lo antes analizado y el resultado de la Fig. 4A-B, podemos decir que el polímero de la cepa *L. citreum* B/110-1-2 está formado por enlaces α-1,6 y α-1,4, el cual se informa por primera vez en este estudio para una cepa de *L. citreum*.

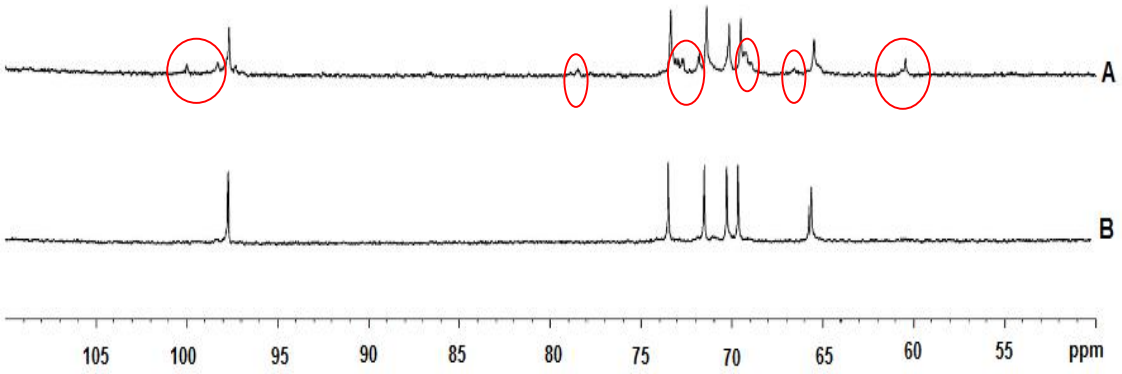


Figura 4. Espectros ^{13}C RMN de glucanos o polímeros producidos por las dextransucrasas contenidas en la fracción celular de la cepa *Leuconostoc citreum* B/110-1-2 (A) y Dextrana T-70 de 70 kDa producida a partir de la dextransucrasa DSR-S del *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-512F (B).

CONCLUSIONES

A partir de los resultados que han sido discutidos en el acápite anterior se puede notar que efectivamente se han logrado avances en el conocimiento de la cepa estudiada y en consecuencia se concluye entonces que:

La cepa de *L. citreum* B/110-1-2 muestra un patrón de dextransucrasas más homogéneo en la fracción sobrenadante ya que produjo sólo una enzima, en el rango de 170-180 kDa muy similar a la DSR-S de *L. mesenteroides* NRRL B-512F. Sin embargo, en la fracción celular los pesos moleculares de las dextransucrasas detectadas variaron desde 170-300 kDa.

La cepa *L. citreum* B/110-1-2 produce una dextransucrasa muy similar, en lo que a peso molecular se refiere, a la DSR-E de *L. mesenteroides* NRRL B-1299, lo cual constituye una novedad para *L. citreum*.

La cepa *L. citreum* B/110-1-2 produce una dextransucrasa en la fracción celular responsable de sintetizar gluco-oligosacaridos y polímeros que están formados por enlaces α-1,6 y α-1,4, esto constituye una novedad para *L. citreum*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arguello-Morales, M. A., Remaud-Simeon, M., Pizzut, S., Sarcabal, P., Willemot, R. M., Monsan, P. (2000), *FEMS Microbiology Letters*, 182, 81-85.

Bell, A. y Santiesteban, C. M. (2000), Dextran, *In*: Handbook of sugar cane derivatives, third edition (Gálvez, L.; Reselló, S.; Cabello, A.; Villamil, G.; García, A.; Martín, A.; Costales, R., *Eds*), Chapter 5.1, pp. 323-326.

Bozonnet, S., Dols-Laffargue, M., Fabre, E., Pizzut, S., Remaud-Simeon, M., Monsan, P., y Willemot, R. M. (2002), *J. Bacteriology*, 184, 5753-5761.

Cote, L. G., and Leathers, T. D. (2005), *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 32, 53-60.

Cote, L. G., and Robyt, J. F. (1982), *Carbohydrate Research*, 101, 57-74.

Dols, M., Remaud-Simeon, M., Willemot, R. M., Vignon, M. and Monsan, P. (1998), *Appl. Environ. Microbiol.* 64, 1298.

Djouzi, Z., Andrieux, C., Pelenc, V., Somarriba, S., Popot, F., Paul, F., Monsan, P. and Szylit, O. (1995), *J. Appl. Bacteriol.*, 79, 117-127.

Fabre, E., Bozonnet, S., Arcache, A., Willemot, R. M., Vignon, M., Monsan, P. and Remaud-Simeon, M. (2005), *J. Bacteriol*. 187, 296.

Garvie, E.I. (1984), Separation of species of the genus *Leuconostoc* and differentiation of the Leuconostoc from other lactic acid bacteria, *In*: Methods in Microbiology (Bergan, T., *Ed*.), Academic Press, London, Vol. 16, pp. 147-178.

Groenwall, A.J. and Ingelman, B.J.A. (1948), Manufacture of infusion and injection fluids, U.S. Patent 2, 437-518.

Hare, M. D., Svensson, S., and Walker, G. J. (1978), *Carbohydrate Research*, 66, 254-264.

Jones, R. W., Jeanes, A., Stringer, C.S., Tsuchiya, H.M. (1956), *J. Am. Chem. Soc.*, 78, 2499-2502.

Kobayashi, M. and Matsuda, K. (1974), *Biochim. Biophys. Acta*, 370, 441-449.

Koepsell, H. J., Tsuchiya, H. M., Hellman, N. N., Kazenko, A., Hoffman, C. A., Sharpe, E. S., and Jackson, R. W. (1953), *J. Biol. Chem.*, 200, 793– 801.

Michelena, G. y Santiesteban, C. M. (2000), Injectable Iron Dextran, *In*: Handbook of sugar cane derivatives, third edition (Gálvez, L.; Reselló, S.; Cabello, A.; Villamil, G.; García, A.; Martín, A.; Costales, R., *Eds*), Chapter 5.13, pp. 383-385.

Miller, A. W., and Robyt, J. F. (1986), *Anal. Biochem.*, 156, 357-363.

Misaki, A., Torii, M., Savai, T., and Goldstein, I. (1980), *Carbohydrate Research*, 84, 273-285.

Monchois, V., Willemot, R. M., and Monsan, P. (1999), *FEMS Microbiology Reviews*, 23, 131-151.

Monchois, V., Remaud-Simeon, M., Monsan, P., and Willemot, R. M. (1998), *FEMS Microbiology Letters*, 159, 307–315.

Monchois, V., Remaud-Simeon, M., Russell, R. R. B., Monsan, P., and Willemot, R. M. (1997), *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 48, 465-472.

Monchois, V., Willemot, R. M., Remaud-Simeon, M., Croux, C., and Monsan, P. (1996), *Gene*, 182, 23–32.

Monsan, P., Bozonnet, S., Albenne, C., Joucla, G., Willemot, R., Remaud-Simeon, M. (2001), *Int. Dairy J.*, 11, 675-685.

Mooser, G. (1992), *The Enzymes*, 20, 187–221.

Moulis, C., Arcache, A., Escalier, P. C., Rinaudo, M., Bouchu, A., Monsan, P., Remaud-Simeon, M., and Potocki-Veronese, G. (2006a), *FEMS Microbiol. Lett.*, 261, 203-210.

Moulis, C., Joucla, G., Harrison, D., Fabre, E., Potocki-Veronese, G., Monsan, P., Remaud-Simeon, M. (2006b), *J. Biol. Chem.*, 281, 31254-31267.

Paul, F., Lopez-Munguia, A., Remaud, M., Pelenc, V. and Monsan, P. (1992), Method of the production of K-1,2 oligodextrans using Leuconostoc mesenteroides NRRL B-1299, U.S. patent 5, 141-858.

Quirasco, M., López-Munguía, A., Remaud-Simeon, M., Monsan, P. and Farrés, A. (1999), *Appl.Environ.Microbiol.*, 65, 5504-5509.

Remaud-Simeon, M., López-Munguía, A., Pelenc, V., Paul, F., and Monsan, P., (1994), *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 44, 101-117.

Richard, G., Morel, S., Willemot, R. M., Monsan, P., and Remaud-Simeon, M. (2003), *Carbohydrate Research*, 338, 855-864.

Sambrook, J. and Russell, D. W. (2001). Molecular cloning: a laboratory manual. (3rd ed.). Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, N.Y.

Seymour, F. R. and Knapp, R. D. (1980), *Carbohydrate Research*, 81, 105-129.

Seymour, F. R. and Knapp, R. D. (1979), *Carbohydrate Research*, 74, 77.

Seymour, F. R., Slodki, M., Plattner, R., and Jeanes, A. (1977), *Carbohydrate Research*, 53, 153-166.

Seymour, F. R., Knapp, R. D. and Bishop, S. H. (1976), *Carbohydrate Research*, 51, 179-194.

Sidebotham, R. (1974), *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 30, 371–444.

Smith, E. E. (1970), *FEBS Lett.*, 12, 33-37.

Slodki, M.E., England, R.E., Plattner, R.D., Dick, W.E. (1986), *Carbohydrate Research*, 156, 199-206.

Soetaert, W., Schwengers, D., Bucholz, K. and Vandamme, E.J. (1995), A wide range of carbohydrate modi¢cations by a single microorganism: Leuconostoc mesenteroides, *In*: Carbohydrate Bioengineering (Petersen, S.B., Svensson, B. and Pederson, S., *Eds*.), Elsevier, Amsterdam, Vol. 10, pp. 351-358.

Sumner, J. y Howell, S. (1935), *J. Biol. Chem.*, 108, 51-54.

Wilke-Douglas, M., Perchorowicz, J. T., Houck, C. M., and Thomas, B. R. (1989), Methods and compositions for altering physical characteristics of fruit and fruit products, PCT Patent WO 89/12386.

Zahnley, J. C. and Smith, M. R. (1995), *Appl.Environ.Microbiol.*, 61, 1120-1123.

PERPECTIVAS DE LOS ALIMENTOS A PARTIR DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA ACTUAL COYUNTURA DE PRECIOS DE LOS ALIMENTOS

Agustín Cabello

ICIDCA, Vía Blanca 804 y C.Central, La Habana, Cuba
Agustin.cabello@icidca.edu.cu

RESUMEN

Se analizan los factores que influyen en el alza de los precios de los alimentos y su relación con la caña y el azúcar. Se enfatiza en las soluciones de producción de alimentos vía caña vinculadas con el azúcar y el alcohol y se presentan las variantes más utilizadas a nivel mundial. Se recalca la importancia de un enfoque integral de los usos de la caña incluyendo la producción de alimento animal y del mejor empleo de los alimentos producidos.

Palabras claves: caña, azúcar, alcohol, alimentos, economía.

ABSTRACT

The factors affecting the increase of the prices of foods and feeds and the relationship of them with sugarcane and sugar are analyzed. The paper focus on the alternatives to produce animal feed associated with the production of sugar and ethanol utilized worldwide. The importance of an integral approach of sugarcane as a raw material including the production of animal feed and its better destination is emphasized.

Key words: sugarcane, sugar, alcohol, foods, economy.

INTRODUCCIÓN

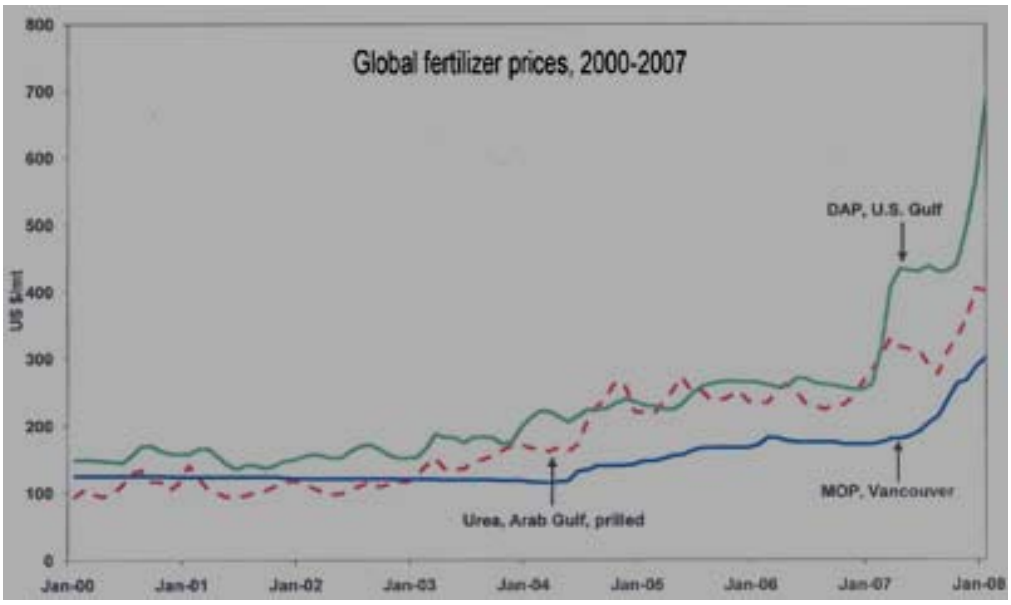
Nunca antes el uso eficiente de todas las fuentes potenciales de alimento ha sido tan importante como lo es en la actual coyuntura mundial.
El aprovechamiento de residuos contribuye de manera significativa al aumento de eficiencia de la cadena alimentaria ya que significa un mejor empleo de los recursos invertidos.
Sin embargo, el propio concepto de la palabra “residuos” (válido también para el término “subproductos” y en cierta medida para “derivados”) implica que existe un producto ó proceso principal ó básico que da origen a los mismos. En el caso de la caña ese producto es el azúcar y en algunos contextos el alcohol.
Sembrar y procesar caña en gran escala para producir solo alimento animal es un tema novedoso que requiere el análisis de muchos aspectos y responde a un enfoque distinto al de aprovechamiento de residuos que nos convoca en esta sesión.
Producir caña en pequeña escala para usarla como forraje en determinadas condiciones climáticas y económicas aunque tiene innegablemente una serie de atractivos tampoco se ajusta al marco temático de este taller.

Por otro lado, moler caña a pequeña escala para separar jugo de bagazo y darle usos diferenciados incluyendo la obtención de alimento animal y algunos derivados es hasta hoy ineficiente desde el punto de vista tecnológico y energético y requiere abundante mano de obra para un trabajo rudo y poco remunerativo. La historia de los trapiches de producir panela ó de alambiques rústicos para producir aguardiente indica que solo bajo condiciones muy específicas de mercado ó de protección del estado de esta actividad se puede competir con la industria azucarera de gran escala (Fedepanela-IICA 2001). En algunos escenarios puede ser, sin embargo, una alternativa de sobre vivencia familiar.
Por tal razón esta presentación se centrará en el procesamiento de caña en escala industrial con producción de azúcar y/o alcohol y cogeneración de electricidad. Se analizan los factores que intervienen en la relación costo: beneficio tanto del proceso convencional como de algunas alternativas menos convencionales que pueden ser de interés a la luz de la actual situación de precios de los alimentos básicos a escala mundial. Se enfatiza en la relación estrecha que hay entre la producción de alimentos y el consumo de energía y el papel de la caña y sus subproductos como productor de alimento y energía.

El alza del precio de los alimentos, sus causas y su relación con la caña

El aumento explosivo del precio de los alimentos en los últimos 2-3años es un tema que preocupa a todo el mundo y que ya está generando crisis en países pobres y dependientes de la importación de alimentos.
Las causas de este fenómeno son diversas pero todos los especialistas coinciden en señalar las siguientes como las de mayor importancia:
- El aumento hasta niveles increíbles hasta hace poco del precio de los combustibles fósiles y el concomitante interés en el uso de cereales como el maíz y de oleaginosas como la soya para producir alcohol y biodiesel respectivamente.
- El aumento del consumo de cereales y productos de origen animal de países como China con una población enorme que pueden generar una demanda superior a la oferta.
- La problemática situación de la mayor economía del mundo, Estados Unidos, y las manipulaciones especulativas acerca del dólar americano como divisa internacional en la que se cotizan los alimentos y el petróleo.
Analizar estas causas en detalle es tentador pero estaría fuera del marco de este taller. Sin embargo, es imposible dejar de mencionar el efecto dominó del aumento de los precios de los combustibles en los costos de la producción, procesamiento y comercialización de los alimentos.
En un trabajo que es un clásico en la materia Pimentel (1973) analizó en detalle el gasto de energía asociado a la producción de maíz en momentos de la primera crisis del petróleo y concluyó que la maquinaria agrícola asociada respondía por el consumo del 42% (14,5% en su fabricación y 27,5% por el combustible gastado en su operación) y el nitrógeno aplicado como fertilizante por un 32,5%. Es decir, solo estos dos renglones representan las tres cuartas partes del consumo de energía de este y otros cultivos.
Una tonelada de amoniaco anhidro, que es la base de todos los fertilizantes nitrogenados, consume en su fabricación 991 m^3 de gas natural (Funderburg 2008).
El aumento de los precios de los fertilizantes se puede apreciar en el siguiente gráfico.

Figura 1 Evolución de los precios de los fertilizantes en el período 2000-2008 (Anon. 2008)



Estos valores son en condiciones FOB por lo que hay que agregarle el valor del flete
(desde el Golfo Arábico para la urea) que se ha incrementado en la misma proporción que el costo del combustible.
Esta situación afecta la caña como a cualquier otro cultivo. De acuerdo con Álvarez (2006) en Cuba se emplearon 1,76 Kg. de N_2 /t de caña en Cuba en 1987, índice que se rebajó a 1,44 en 1993 mientras que una norma aceptable a nivel mundial sería 1,0-1,2. Esto significa que solo el nitrógeno para producir una tonelada de caña en forma de urea puesta en el puerto cuesta $1,5-2.0.
La disminución del consumo de agroquímicos por su alto precio trae aparejada una caída del rendimiento agrícola y aunque bajan los costos por hectárea aumentan los costos por tonelada.
Este propio autor reporta un consumo de combustible de 8,33 l/t de caña en el periodo1981-1990 en Cuba que se elevó a 12,08 en el 2003 que es explicable por la caída de los rendimientos agrícolas que significa un bajo aprovechamiento de la maquinaria y por ende del combustible consumido.

El mercado del azúcar

Este aumento de costos se compensa en otros cultivos con un mayor precio de mercado. En el caso del azúcar proveniente de la caña esto no se cumple en el mercado internacional mientras que en los mercados nacionales depende del interés del gobierno de mantener activo el sector por razones diversas.
A nivel internacional el azúcar presenta un balance producción: consumo que no favorece su precio como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA I BALANCE MUNDIAL DE AZÚCAR (OIA 2008) (MILES DE TONELADAS)

Producción	168438
Consumo	159129
Demanda Importación.	46027
Disponibilidad Exportación	49314
Stocks	73950
Stocks/ Consumo (%)	46,47

Esto hace que un aumento de 30% en el mercado mundial de azúcar (de 9- 12 cent. / Lb.) sea considerado espectacular cuando otros productos aumentan un 300%. También debe señalarse que la calidad del azúcar comercializada internacionalmente ha aumentado considerablemente en la medida que el azúcar de más de 99% de pureza (pol) vendido como "crudo" se ha establecido (la llamada azúcar cristal desarrollada en Brasil).

Una discusión profunda de las causas que determinan esta situación escapa a los objetivos de este trabajo y puede ser consultada en otras fuentes (Cabello 2002) pero se pueden mencionar los siguientes factores:

-La posibilidad de producirla en diferentes contextos naturales, económicos y tecnológicos (se produce azúcar en 122 países).

-La producción de azúcar es fuertemente subsidiada en países desarrollados. La tasa de proteccionismo del azúcar es la más alta comparada con los granos, las carnes de res, cerdo y pollo y los concentrados proteicos forrajeros en Europa y Estados Unidos (Petit op.cit.).

- El bajo consumo per cápita por razones culturales (China y otras regiones de Asia), de falta de capacidad de compra (África subsahariana) ó por campañas en su contra que aducen riesgos a la salud y promueven el uso de edulcorantes alternativos (países desarrollados).

Las Consecuencias

La situación antes descrita ha llevado a que algunos países tradicionalmente exportadores, como Cuba, traten de sustituir el azúcar como renglón exportable por otros de mayor rentabilidad disminuyendo sensiblemente el área dedicada a sembrar caña. En Pakistán un estudio realizado aconsejó producir azúcar solo para consumo interno (Hussain 2006). En el caso de Cuba, cuya producción de azúcar estuvo tradicionalmente destinada en altísima medida a la exportación, la reducción de la producción azucarera ha sido de 4-5 veces de 1990 a la fecha.

En el plano nacional la producción de caña puede ser muy poco atractiva en razón de los precios establecidos para el azúcar en el mercado doméstico y los injustos sistemas de pago al cañicultor. Así se reporta que en la India la rotación arroz-trigo era 2,75 veces más lucrativa que la de caña en el 2007 y este valor aumento hasta 5,94 en el 2008 (Anon. 2008 a). Álvarez (op.cit.) reporta que también en Cuba este aspecto es un factor importante de desestímulo para el productor cañero.

Esto se traduce en menos caña sembrada y menos residuos cañero-azucareros disponibles para la producción animal.

Las alternativas

La situación antes descrita ha llevado y debe llevar aún más a que la caña y la industria de procesamiento se utilicen para producir azúcar de alta calidad para exportar (high pol y very high pol) en la medida que el mercado internacional tenga demanda, azúcar para consumo nacional, electricidad a partir del bagazo y alcohol carburante a partir de jugos ó mieles de mayor riqueza que la melaza cuya disponibilidad es insuficiente cuando se produce poca azúcar.

La integración de la producción animal en este esquema es todavía incipiente y serviría para terminar de redondear un esquema ***integral*** de gran flexibilidad técnica y máxima revalorización del potencial de la caña que permita actuar sobre los principales problemas actuales de la humanidad; la alimentación, las energías renovables y la protección del medioambiente.

La cantidad de variables tecnológicas y económicas de un enfoque de uso integral de la caña es grande y sujeta a diferentes combinaciones dependiendo de condiciones de cada empresa y país. Sin considerar el uso alternativo de la tierra disponible como resultado de sembrar menos caña, en lo adelante se comentan las alternativas industriales que han alcanzado un nivel significativo de introducción:

A- Producción de azúcar de alta calidad, miel B y generación eléctrica

B- Producción de alcohol en base a jugo y generación eléctrica.

C- Producción de alcohol en base a jugo, generación eléctrica y uso del bagazo para alimento animal.

D- Producción de alcohol en base a jugo, generación eléctrica, uso del bagazo para alimento animal y producción de levadura forrajera en base a vinazas.

Variante A

Esta es una opción implementada en Cuba en los últimos años.
El azúcar de alta calidad (en términos de pol, color, humedad y cenizas) se paga con una bonificación que permite mejorar su retorno económico respecto al crudo convencional y es posible lograr su producción sin grandes inversiones si se sacrifica el rendimiento en base a caña, es decir cuando se reducen el número de extracciones ó templas a partir del jugo. Eliminando la última extracción se obtiene una buena calidad de azúcar y miel B. La producción de una tonelada de miel B significa dejar de producir 0,22 toneladas de azúcar y 0,515 toneladas de miel final ó melaza (Juceplan 1989).
Los estudios realizados por el IIP en Cuba han permitido establecer que la miel B puede sustituir como energético al maíz en una relación de 1: 0,8 (miel B: maíz) en el engorde de cerdos siempre que se compense la proteína que no aporta la miel (IIP 2001).
Conociendo los precios del azúcar, de la melaza, del maíz, de la proteína adicional que hay que suministrar al animal y de la carne de cerdo es fácil calcular la ventaja de esta opción en condiciones dadas. En la tabla II se presenta una comparación de la respuesta económica de dedicar miel B a producir carne de cerdo ó convertirla en azúcar y miel final bajo precios asumidos.

TABLA II GANANCIA ECONÓMICA NETA DEL USO DE LA MIEL "B" PARA PRODUCIR CARNE DE CERDO Ó AZÚCAR Y MIEL FINAL (CABELLO 2008)

Propósito	Ganancia ($/T)
C. de Cerdo (1350 $/T)	88.85
Azúcar/ Miel final (250/80)	59.75

Por otro lado a partir de una tonelada de caña molida se pueden generar 100 Kwh. con esquemas energéticos convencionales de los cuales 65, que equivalen a 15Kg de petróleo consumido en una termoeléctrica, se pueden entregar a la red después de cubiertas las necesidades del proceso (Cabello 2008). Nuevamente se

puede calcular el valor aportado por la caña a partir del precio del petróleo y descontando la amortización de la inversión necesaria.

Variante B

Es una variante ampliamente utilizada en Brasil donde cerca del 50% de la caña se dedica para producir alcohol de jugo.Esta variante está enfocada fundamentalmente hacia la energía ya que además del alcohol se puede generar una gran cantidad electricidad por el enorme sobrante de bagazo que se obtiene. Se calcula que la industria azucarera brasileña tiene un potencial de cogeneración eléctrica de 16GW (WADE 2004).
Adicionalmente se ahorra petróleo porque la electricidad generada descentralizadamente y cerca de los puntos de consumo tiene un nivel de perdidas por transmisión y distribución mucho menor que en las grandes plantas generadoras donde pueden alcanzar niveles de 15-20% de la electricidad generada.
Tomando como base la producción de 70litros de alcohol y 65 KW de electricidad se llega a un valor de 50Kg. de petróleo equivalente/t de caña, o sea que una Ha con un rendimiento de 70 toneladas de caña movible produce la energía equivalente a 3,5 toneladas de petróleo. Esta cantidad de energía puede ser aún mayor si se produce biogás a partir de las vinazas de la destilería lo cual es una de las alternativas que obligatoriamente hay que implementar como forma de preservar el ambiente ya que el vertimiento de vinazas sin tratar es sumamente perjudicial al ambiente.
Una consideración que generalmente no se toma en cuenta ni desde el punto de vista alimenticio ni del punto de vista energético es el aprovechamiento del CO_2 de la fermentación alcohólica que representa el 50% del azúcar consumido en la fermentación y cuya conversión en hielo seco, usando la propia electricidad obtenida de la caña, puede contribuir de forma importante a la conservación de alimentos fácilmente perecibles como la leche, las carnes y los vegetales frescos aprovechando la posible cercanía de los ingenios respecto a áreas de producción agropecuaria.
Aunque en esta variante no se producen directamente alimentos su contribución energética a la producción de estos es significativa.

Variante C

Es la misma que la variante B pero desviando algunas cantidades de bagazo para alimentación animal y se ha introducido en varios países.
En un ingenio que muela 8000toneladas de caña/día del cual se extraigan 40 ton de bagazo/ día (1,8% del total de bagazo producido) para producir un alimento integral donde el bagazo (tratado para aumentar su digestibilidad) participe en un 65% BH se producen 60 ton/día de alimento.
En la Tabla III se presenta el valor neto de una tonelada de bagazo (tratado con soda cáustica) convertida en leche de acuerdo a resultados obtenidos en condiciones tropicales con 150 vacas de mediano potencial cuyo consumo de alimento BS consistió en 46,5% de bagazo.

TABLA III GANANCIA ECONÓMICA NETA DEL USO DEL BAGAZO PARA PRODUCIR LECHE (CABELLO2008)

Precio de la leche	$/ton de Bagazo
OECD/FAO (2005-2014) 1650 $/ton	29.65
BOLSA (16/01/08) 3811 $/ton	68,48

También se ha utilizado ampliamente el bagazo hidrolizado (tratado con vapor a presión) en el engorde de bovinos. En la tabla IV se muestra la composición de una ración de engorde con un 70 % de subproductos cañeros que permite una ganancia de1 Kg. /día.

TABLA IV RACIÓN DE ENGORDE DE BOVINOS CON ALTA PROPORCIÓN DE BAGAZO (LACORTE ET AL 1987)

Componente	%BH
Bagazo hidrolizado	55,26
Caña/Cogollo	10,53
Meladura	4,21
Mijo grano	14,21
Torta de algodón	13,42
Urea	1,32
Sulfato de amonio	0,18
Minerales	0,87

El uso del bagazo para alimento animal ó para generar electricidad no compiten entre si ya que las cantidades de bagazo utilizadas para alimento son pequeñas respecto a la disponibilidad total tomando en cuenta que la transportación a largas distancias del bagazo no es económica por lo que lo más común es estabular animales en las cercanías del ingenio. Esto plantea limitaciones de espacio además de que las instalaciones de estabulación solo se utilizan en tiempo de zafra.

Variante D

Esta variante, implementada en Cuba y próximamente en Venezuela, se diferencia de la C en que reproduce proteína unicelular (levadura torula) a partir de la vinazas de la destilería lo que tiene una gran trascendencia tomando en cuenta que la caña y sus subproductos no aportan proteína y que los precios de los concentrados proteicos de uso forrajero han aumentado de forma tal que su importación se ve seriamente limitada.
La producción de levadura torula a partir de melaza en una planta independiente ha sido cuestionada por su alto costo de producción en momentos en que la tonelada de harina de soya costaba $250,00 dólares / tonelada. El alto precio actual de las harinas proteicas, la posibilidad de poder integrar energéticamente esta producción con un ingenio que produzca electricidad y vapor y de sustituir la melaza por la vinaza que es un residual que de cualquier forma es necesario tratar modifica sustancialmente esta apreciación. En la Tabla V se pone de manifiesto como se puede aumentar la eficiencia energética, y por ende, disminuir los costos cuando se integra energéticamente la fábrica con el ingenio y se utiliza vinaza como sustrato.

TABLA V. CONSUMO Y RENDIMIENTO ENERGÉTICO (Y /CAL) DE LA PRODUCCIÓN DE LEVADURA FORRAJERA BAJO DIFERENTES CONDICIONES. (CABELLO2002)

No	**Equivalente energético de los insumos (M cal)**							
	Variante	Sustrato	Nitrógeno	Fósforo	Electricidad	Petróleo	Total (Mcal /ton)	Y/ cal (cal /cal)
1	Levadura en base a miel (4 ton / ton)	5824	1737	82	2990	6300	16933	0.24:1
2	Levadura en base a miel (4 ton / ton)	5824	1737	82		6300	13943	0.28:1
3	Levadura en base a miel (4 ton / ton)	5824	1737	82			7643	0.52:1
4	Levadura en base a Vinaza / miel (1ton /ton)	1456	1737	82	2990	6300	12565	0.32:1
5	Levadura en base a Vinaza / miel (1ton /ton)	1456	1737	82		6300	9575	0.42:1
6	Levadura en base a Vinaza / miel (1ton /ton)	1456	1737	82			3275	1.22:1

Hay que señalar que actualmente se ha demostrado que se puede sustituir totalmente la melaza en la producción de levadura torula. Los otros componentes importantes del costo de la torula que no pueden disminuirse son los de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) y la depreciación de la instalación. Una planta nueva llave en mano tiene un costo de inversión en el entorno de 0,8-1 millón de dólares por tonelada de capacidad.

Por tal razón resulta muy importante conocer el valor de la proteína (harina de soya) que se sustituye así como comparar el costo de otras alternativas de tratamiento de la vinaza que son ineludibles cuando se produce alcohol, que no producen alimentos, a la hora de evaluar las ventajas de producir levadura a partir de vinazas.

De cualquier forma siempre será estratégico dirigir el uso de la levadura hacia aquellos destinos que más revaloricen el producto.

El ICA en Cuba ha desarrollado un alimento que permite sustituir en gran medida la leche que consumen los terneros y desviarla hacia el consumo humano directo (González 1990, Chongo 1983). La composición de este producto se muestra en la Tabla IV en la que se aprecia que la levadura y el azúcar constituyen el 67% de la formulación.

TABLA VI COMPOSICIÓN DE SUSTITUTO LÁCTEO

omponente	%
L. Torula	57
Azúcar	10
H. Maíz	24
Aceite Vegetal	5
Premezcla (M. y V.)	4

Esta es una vía de disponer para consumo humano de 200 litros de leche adicionales por cada animal sujeto a esta alimentación con la misma cantidad de leche que se produce ó expresado de otra forma de liberar 645 litros de leche por cada tonelada de producto. En base a sólidos esto equivale a 0,64 toneladas de leche en polvo que tienen un valor de mercado actualmente superior a $2500.00 dólares.

CONCLUSIONES

Del análisis realizado de puede concluir que para que la caña pueda contribuir de forma importante a la producción nacional de carne y leche y sustituir importaciones deberá tomarse en cuenta:
- Lograr rendimientos agrícolas altos que permitan que su costo por tonelada a sea lo más bajo posible al aumentar la eficiencia del uso del combustible en su cultivo y cosecha.
- Separar industrialmente sus 2 fracciones principales (bagazo y azúcares) para utilizarlas en las especies y propósitos que mejor puedan convertirlas y aprovechar las mieles todo el año.
- Las escalas económicas de este tipo de operación conllevan necesariamente la producción de azúcar y/o alcohol.
-La generación de energía a partir de la caña es una contribución importante a la producción de alimentos tanto a partir de la caña como de otras materias primas.
- La producción de proteína unicelular en plantas industriales a partir de vinaza de destilería y usando energía generada en el ingenio es una alternativa de interés en las actuales condiciones de precio de los concentrados proteicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, A. (2006) “Producir caña competitiva en un corto plazo”. Exposición en la Cátedra Álvaro Reynoso de la Universidad de la Habana. 23 de febrero 2006.
Anónimo (2008) “World fertilizar prices surge 200% in 2007”. www.Mongabay.com, febrero 20, 2008.
Anónimo (2008 a) “Sugarcane Price: Food Ministry seeks farm costs panel comment” www.thehindubussinessline.com mayo 09, 2008.
Cabello, A. (2002) “Los sistemas agroalimentarios actuales y la caña de azúcar. Un análisis comparativo”. Edit. ICIDCA, La Habana.
Cabello, A., Torres, A., Almazán, O. (2008) “The economical viability of animal production based on sugarcane co-products under the present prices of commodities”. Sugar Tech Vol. 10, No.1, pp 25-28.
Chongo, B., Suau, E. (1983) “Digestibilidad de nutrientes en terneros alimentados con diferentes niveles de levadura torula (Torulopsis utilis) en la leche”. Rev. Cub. Cienc. Agric. Vol.17, No.137.
Funderburg, E. (2001) “Why are nitrogen prices so high?” The Samuel Roberts Noble Foundation.Agricultural Division .April 2001(www.Noble.org/Ag).
Gonzalez, I. (1990) “Cria de terneros” www.monografias.com

Hussain, M. (2006) “Economics of Sugarcane Production in Pakistan. A Price Risk Analysis”, International Research Journal of Finances and Economics. Issue 4 ,2006
IIP (Instituto de Investigaciones Porcinas) (2001). “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”. Informe.
Juceplan (1989). Evaluación Económica Preliminar de la Conveniencia de Producir Miel B desde el Punto de Vista Industrial. Informe.
Lacorte, M.C., Burgi,R., Lacorte,A. J. F. (1987) “Bagazo de caña hidrolizado ya utilizado en gran escala en confinamiento”.En “Uso alternativo de la caña de azúcar para energía y alimento”. Colección GEPLACEA. Serie Diversificación. México D.F.
OIA (2008) “World Sugar Balances 2001/02 – 2007/08”. Reporte del 25 de febrero de 2008.
Petit, M.J. (1991) “Agricultural economics and the art of policy making”. En “Agricultural economics and policy: International challenges for the nineties”. Burger, K. (edit.), Amsterdam, Elsevier.
Pimentel, D. (1973) “Food Production and the Energy Crisis”. Science Vol. 182, no.4111, Pp.443-449
WADE (World Alliance for Decentralized Energy) (2004) “Bagasse Cogeneration: Global Review and Potential”. Reporte .Junio 2004

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS DE ENGORDE ALIMENTADOS CON DIETAS BASADAS EN MIELES ENRIQUECIDAS DE CAÑA DE AZÚCAR Y ALOJADOS EN CAMA DE BAGAZO

Elizabeth Cruz[1], Ramiro E Almaguel[1], Carmen M Mederos[1] y Carlos González[2]

[1]Instituto de Investigaciones Porcinas (IIP)
Carretera del Guatao km 1 ½. Punta Brava. La Lisa.
Ciudad Habana. C.P 19200
Email: **ecruz@iip.co.cu** **iip@enet.cu**

[2] Instituto de Producción Animal, Facultad Agronomía, Universidad Central de Venezuela
Email: **caraujo2@cantv.net**

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo contribuir al desarrollo de los sistemas de producción porcina a pequeña escala del sector campesino y cooperativo en Cuba, a través de la evaluación de la tecnología de cama profunda. Se utilizaron 72 cerdos (machos castrados y hembras) de la raza YL (Camborough) de aproximadamente 21 kg de peso vivo y 75 días de edad distribuidos en un diseño de experimentos en bloques al azar en dos tratamientos (T1, cama profunda basada en un 80% de bagazo de caña seco y un 20% de heno de gramíneas y T2, piso de concreto) con cuatro repeticiones por tratamiento. Los animales de ambos tratamientos consumieron NUPROVIM-75 con miel enriquecida de caña de azúcar. Se midieron los rasgos de comportamiento animal hasta el peso de sacrificio (100 kg) y se estudiaron las características de la canal de los cerdos. No se hallaron diferencias significativas en la conversión alimentaria (kg alimento/kg ganancia), ganancia media diaria (g/día) y peso final (kg) entre los cerdos alojados en cama profunda y piso de concreto: 3.08, 3.06; 868, 872; 101.18, 101.61, respectivamente. Se ahorraron 151 m^3 de agua. Se concluye que la tecnología de cama profunda en la crianza porcina genera un impacto económico y ambiental importante que permite la generalización de esta tecnología en el país.

Palabras claves: cama profunda, rasgos de comportamiento, bagazo de caña, miel enriquecida de caña de azúcar.

Abstract

To evaluate the deep bedding system for the swine production in Cuba to the small scale, it was carried out this experiment. Seventy two pigs (castrated males and females), YL (Camborough) cross, of approximately 21 Kg live weight and 75 days average age were used. The pigs were distributed into a random block design with two treatments (T1, deep bedding based on 80 % of sugar cane bagasse and 20 % of gramineous hay and T2, concrete floor) with four repetitions for treatment. The animals of both treatments consumed NUPROVIM-75 with enriched sugar cane molasses. The animal performance traits (up to approximately 100 kg live weight) were studied and also the pig carcass characteristics were evaluated**.** There were not significant differences for the alimentary conversion (kg/kg), daily gain (g/day) and final weight (kg) to the pigs housed in deep bedding system respecting to the pigs housed in concrete floor: 3.08, 3.06; 868, 872;

101.18, 101.61, respectively. It was saved 151 m^3 of water. It was conclude that the deep bedding system for the swine production generates an important economic and environmental impact, which allow generalizing this technology in the country.

Key words: deep bedding, performance traits, sugar cane bagasse, enriched sugar cane molasses

Introducción

En Cuba debido al incremento del número de productores que presentan dificultades para desarrollar la actividad porcina, por la ausencia de licencia ambiental para la producción de cerdos o para ampliar sus producciones, la carencia de agua en sus fincas y la necesidad de instalaciones económicas, se está afectando la producción de carne de cerdo en el país y la disponibilidad de esta fuente de proteína para la alimentación de la población.

El sistema de cama profunda es una alternativa viable en la producción porcina a pequeña escala, que sin dudas contribuye al incremento de la producción de carne de cerdo en países en desarrollo con un menor impacto ambiental, Wastell (2001), y se define bajo el concepto de proveer al animal la habilidad de seleccionar y modificar su propio micro ambiente a través del material de la cama, Hill (2000). Este sistema consiste en la producción de cerdos en instalaciones donde el piso de concreto se sustituye por una cama de 50-60 cm de profundidad que puede estar constituida por heno, cascarilla de arroz o de café, hojas de maíz, bagazo de caña, paja de trigo, paja de soya, una mezcla de varios de estos materiales bien deshidratados, entre otros, ACPA (2007). Es un sistema muy económico pues permite reciclar instalaciones en desuso o construir instalaciones nuevas empleando materiales localmente disponibles, Arango (2005), Brumm y otros (1997), Landblom y otros (2001). Genera un ahorro considerable de agua, y es además un sistema amigable con el medio ambiente por la baja emisión de residuos, la reducción considerable de malos olores y baja presencia de moscas, Krieter (2002). Con la utilización de esta tecnología las deyecciones animales sufren un compostaje "in situ", reduciendo los riesgos de contaminación y se obtiene un fertilizante orgánico de excelente calidad para su uso en agricultura, Hill (2000).

El objetivo del presente trabajo fue contribuir al desarrollo de los sistemas de producción porcina a pequeña escala del sector campesino y cooperativo en Cuba, a través de la evaluación de la tecnología de cama profunda en la ceba de cerdos.

Materiales y Métodos

Se utilizaron 72 cerdos (machos castrados y hembras) de la raza YL (Camborough) de aproximadamente 21 kg de peso vivo y 75 días de edad como promedio, distribuidos en un diseño de bloques al azar en dos tratamientos (T1, cama profunda basada en un 80 % de bagazo de caña y un 20% de heno de gramíneas y T2, piso tradicional de concreto sólido) con cuatro repeticiones por tratamiento. Los animales se alojaron en una nave techada de estructura metálica dividida en ocho corrales de 13 m^2 cada uno, cuatro corrales de piso de tierra con cama profunda (T1) y cuatro de piso de concreto sólido sin cama (T2) a razón de nueve animales por corral, para un espacio vital de 1.4 m^2. La cama se ubicó a 40 cm por debajo del nivel de la tierra para alcanzar una altura final de 55 cm, el muro contentivo hecho de bloques colocados de forma tal que se garantizó espacios libres para la entrada del aire a la cama. Se ubicaron respiraderos a 30 cm del fondo de la cama para su reventilación y garantizar la salida de gases.

Los animales de ambos tratamientos consumieron NUPROVIM- 75 (tabla I) y miel enriquecida de caña de azúcar en una dilución con agua (25:75 %) para simular un guarapo.

Tabla I. Fórmula del NUPROVIM- 75 (% BH)

	NUPROVIM-75
Harina de soya	60.54
Afrecho de trigo	30.52
Cloruro de sodio	1.81
Fosfato dicálcico	5.78
Premezcla[1]	1.15
Cloruro de colina	0.20
%PB	28.49

[1] Vitaminas y minerales según NRC (1998)

La escala de suministro de NUPROVIM durante el experimento se presenta en la tabla II.

Tabla II. Tecnología de suministro del NUPROVIM (kg/día/cerdo)

Peso vivo, kg	NUPROVIM-75
20.0 – 30.0	0.98
30.5 – 40.0	1.09
40.5 – 50.0	1.19
50.5 – 60.0	1.27
60.5 – 70.0	1.33
70.5 – 80.0	1.40
80.5 – 90.0	1.44
90.5 –100.0	1.47

El NUPROVIM-75 se ofertó a los cerdos en cantidades tales que como promedio en toda la etapa de prueba (21-100 kg de PV), consumieron 360 g de proteína bruta por día, según las recomendaciones del NRC (1998), establecidas para dietas convencionales basadas en cereales. Se suministró a los animales en forma de papilla (1 parte de NUPROVIM-75: 1.5 partes de agua) a primera hora de la mañana (8:00 a.m.). Se ofertó primero el NUPROVIM-75, siendo consumido totalmente en un tiempo máximo de cuatro horas y luego de ser consumido se ofreció ad libitum como fuente de energía, la miel enriquecida simulando un guarapo.

El alimento se ofreció en comederos lineales, y el agua a voluntad mediante bebederos automáticos tipo tetina, en el sistema de cama profunda los bebederos se ubicaron al lado de los comederos con drenaje hacia fuera de la instalación para evitar derrames de agua hacia la cama y hacia el comedero y en el piso de concreto sólido se ubicaron según lo establecido convencionalmente. Los animales de ambos tratamientos se pesaron al inicio y al final de la fase experimental.

Fueron evaluados los rasgos de comportamiento productivo: peso inicial (kg); consumo de alimento (kg/día), ganancia media diaria (g/día), conversión alimentaria (kg alimento/kg ganancia) y peso final (kg), las características de la canal de los cerdos sin la cabeza: espesor de grasa dorsal (mm) y rendimiento de la canal (%), mediante un modelo matemático de clasificación simple y se aplicó análisis de varianza acorde Steel (1997).

Se controló el volumen de agua de limpieza utilizado durante el experimento a través de un metro contador de agua modelo OSK M801424 hecho en Cuba y se cuantificó el volumen de heno de gramínea empleado en este sistema.

Resultados y Discusión

La tabla III muestra los resultados obtenidos en la evaluación de los rasgos de comportamiento de los cerdos alojados en el sistema de cama profunda y en piso de concreto sólido.

Tabla III. Rasgos de comportamiento de los cerdos alojados en cama de bagazo y piso de concreto sólido

	Cama de bagazo de caña	Piso de Concreto	± ES
PI¤, kg	21,32	21,35	0,47
Consumos diarios			
NUP 75, kg/día	1,48	1,48	0,24
Miel rica, kg/día	1,52	1,52	0,10
Materia seca, kg/día	2,67	2,67	0,08
Proteína bruta, g/día	354	354	0,72
GMD¤, g/día	868	872	12,37
Conversión alimentaria, kg alimento/kg ganancia	3,08	3,06	0,05
PF¤, kg	101,18	101,61	0,83
Días en experimento	92	92	1,79

¤PI = Peso inicial ¤GMD = Ganancia media diaria ¤PF = Peso final

Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Honeyman y Harmon (2003), pero sí con los obtenidos por Arango (2005) y Guy y otros (2002) al evaluar ambos sistemas de alojamiento para cerdos de engorde, donde no hubo diferencias significativas en conversión alimentaria, ganancia media diaria y peso final, sin embargo si encontraron diferencias significativas ($P<0,05$) en consumo diario de alimento.

Las características de la canal de los cerdos alojados en cama profunda y en piso de concreto se exponen en la tabla IV. No se hallaron diferencias significativas para el espesor de grasa dorsal y el rendimiento de la canal de los cerdos en ambos sistemas de alojamiento, comportamientos similares a los obtenidos por Honeyman y Harmon (2003) y Gentry y otros (2002). Sin embargo, Landblom y otros (2001) reportó mayores rendimientos en la canal de los cerdos alojados en el sistema de cama profunda con respecto a los cerdos criados en un sistema a campo.

Tabla IV. Características de la canal de los cerdos alojados en cama de bagazo y piso de concreto sólido

	Cama de bagazo de caña		Piso de Concreto	
	Media	**± ES**	**Media**	**± ES**
Grasa dorsal, mm	22,3	0,51	22,9	0,33
Rendimiento canal, %	72,5	0,74	71,4	0,43

Durante este ciclo de crianza se utilizaron 151 m^3 de agua para la limpieza diaria de los cerdos y corrales de piso de concreto sólido, esto representa un ahorro de 45,6 litros/animal/día al implementar el sistema de cama profunda en la crianza porcina.

Se utilizaron 3690 kg de bagazo de caña seco y 1580 kg de heno de gramínea para el montaje y mantenimiento de la cama durante el experimento, lo cual equivale a 7,8 kg de bagazo/cerdo/semana y 3,4 kg de heno/cerdo/semana.

Conclusiones

Los rasgos de comportamiento productivo de los animales con la tecnología de cama profunda son similares a los alcanzados en el sistema de crianza sobre piso de concreto sólido.

Los resultados obtenidos en la canal de los cerdos son similares en ambos sistemas de crianza.

Se ahorraron 151 m^3 de agua en el sistema de cama profunda por concepto de agua de limpieza, aspecto de suma importancia económica y ambiental ya que se incrementa la cobertura de uso de este líquido.

El sistema de crianza porcina en cama profunda evaluado genera un impacto económico y ambiental importante con respecto al sistema de crianza convencional que sienta las bases para la generalización de esta tecnología a pequeña y mediana escala en Cuba.

Referencias bibliográficas

ACPA. (2007), Camas Profundas. Crianza Porcina a pequeña y mediana escala. Revista ACPA. Producción e Industria Animal. 4, 37-40. ISSN 0138-6247.

Arango, F.E., Hurtado-Nery, V.L. and Álvarez, E. (2005), Alimentación, nutrición y producción en monogástricos**.** Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 18(4), 346.

Brumm, M., Harmon, J., Honeyman, M. and Kliebensterin, J. (1997), Hoop Structures for Grow Finishing Swine. Midwest Plan Service. Nebrasca State University Dimeglio, S. Engorde de Cerdos sobre piso de Cama Profunda. BIOFARMA S.A. Córdoba.

Gentry, J., McGlone, J., Blanton, J. and Miller, M. (2002), Alternative housing systems for pigs: Influences on growth, composition and pork quality. J.Anim. Sci. (80), 1781-1790.

Guy, J., Rowlinson, A., Chadwick, P. and Ellis, B. (2002), Growth performance and carcass characteristics of two genotypes of growing-finishing pig in three different housing systems. Animal Science Vol (74), 3 (Abstract).

Hill, J. (2000), Deep bed swine finishing. 5o Seminário Internacional de Suinocultura. Expo Center Norte, Sao Paulo, Brasil. 83-88.

Honeyman, M. and Harmon, J. (2003), Performance of finishing pigs in hoop structures and confinement during winter and summer. Journal of Animal Science 81, 1663–1670.

Krieter, J. (2002), Evaluation of different pig production systems including economic, welfare and environmental-aspects. Archiv fur Tierzucht 45(3), 223-235.

Landblom, D., Poland, W., Nelson, B. and Janzen, E. (2001), An economic analysis of swine rearing systems for North Dakota. Dickinson Research Extension Center Annual Report 2001. Consulta electrónica. En: http://www.ag.ndsu.nodak.edu/dickinso/research/2000/tocweb.htm.

Steel, R.G.W., Torrie, J.H. and Dickey, M. (1997), Principles and Procedures of Statistics. A biometrical Approach. MacGraw-Hill Book Company Incompany (third edition). New York, pp 666.

Wastell, M.E., Lubischer, P. and Penner, A. (2001), Deep Bedding - An Alternative System for Raising Pork. American Society of Agricultural Engineers. 17(4), 521-526.

PRODUCCIÓN DE COMPLEJOS ENZIMÁTICOS POR FERMENTACION EN ESTADO SÓLIDO PARA LA CONVERSIÓN ALIMENTARIA EN ANIMALES

J. A. Rodríguez*, G. Delgado*, K. Tortoló*, M. Ibáñez*, G. Michelena*.

*ICIDCA, Vía Blanca 807 esq. a Carretera Central, P.O. Box 4026, C. Habana, Cuba; georgina.michelena@icidca.edu.cu

RESUMEN

Se presentan los resultados logrados en la obtención de las enzimas fitasas, pectinasas, xilanasas y celulasas de interés en la alimentación animal, mediante la utilización de la fermentación en estado sólido (FES) sobre residuos cítricos y residuos de la cosecha cañera.
Para desarrollar este proceso se empleó una cepa mutante de esporulación tardía de *Aspergillus niger*, perteneciente al cepario del ICIDCA y se establecieron los parámetros biotecnológicos pertinentes para la producción así como las condiciones de inoculación y la cinética de producción enzimática. Se demostró la conveniencia del empleo de residuos cítricos como fuente adecuada de carbono para la producción de fitasa encontrándose además pectinasa, celulasa y xilanasa.

Palabras claves: *Enzimas, fitasas, FES ,alimento animal*

ABSTRACT

The obtention of fitases, pectinases, xillanases and cellulases by Solid State Fermentation (SEF) are presented in this work. These enzymes are interesting in the animal feeding.
The process was developed by an *Aspergillus niger* mutated strain belonging to the ICIDCA collection and biotechnical parameters were settled down as well as the inoculation conditions. The kinetics of enzymatic production was determinate. The convenience of the employment of citric residuals as appropriate source of carbon for the enzymatic complex production was demonstrated.

Key words*: Enzymes, fitases, SEF, animal feeding*

INTRODUCCIÓN

La demanda alimentaria cada vez mayor de la sociedad ha generado un desarrollo intensivo de la industria ganadera y a su vez, el incremento de la competencia dentro de esta esfera ha llevado a los productores a aumentar la eficiencia y a disminuir los costos, adoptándose nuevas tecnologías de producción, dentro de las que ha resultado promisoria la suplementación de las dietas para los animales con distintos tipos de enzimas que favorecen un mayor aprovechamiento de los nutrientes por el animal, acelerando su desarrollo y mejorando los rendimientos de sus producciones (carne, leche, huevos) (Selinger, 1996)
El empleo de las enzimas en la industria ganadera está desarrollándose de una 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 (ácido fítico y fitatos) que impiden una adecuada metabolización de los alimentos. Lo anterior promete un incremento importante en el empleo de las enzimas en la alimentación animal (Bedford, 1996; Cleophas, 1995; Han, 1988; Partridge, 1995; Dvorákova, 1997).

Enzimas tales como fitasas, proteasas amilasas, lipasas, celulasas, xilanasa, fosfatasas, pectinasas y otras han sido empleadas en diferentes formulaciones de dietas para monogástricos provocando una mayor absorción de los nutrientes por el animal con los subsiguientes efectos beneficiosos en su desarrollo y comportamiento productivo.

Desde inicios de la década de los 90, entre las distintas enzimas a utilizar en alimentación de monogástricos, se han destacado las fitasas, fundamentalmente en aves y en cerdos, debido a que hidroliza y solubiliza el fósforo fítico presente en la dieta como fitato o ácido fítico que de esta forma no es asimilable, favorece la asimilación del calcio, magnesio, cobre y otros minerales así como de determinados componentes proteícos presentes en la dieta al evitar el efecto quelante del fitato o del ácido fítico, favorece una mejor conversión del fósforo, mejora la conversión y la ganancia en peso y el comportamiento productivo de los animales, entre otras.

Es conveniente destacar que lo anteriormente expuesto está en conjunción con la creciente preocupación social por la eliminación de las fuentes de contaminación al medio ambiente provocada por los procesos de cría intensiva de animales debido a la deposición de grandes cantidades de excretas con altos contenidos de fósforo no asimilado, favoreciendo la eutrifización de las aguas y alteraciones de las composiciones de los suelos [17a]. En la actualidad en algunos países desarrollados se han implantado legislaciones obligando a los ganaderos a incorporar de forma obligatoria aditivos alimentarios ricos en fitasas en las dietas (Patridge, 1995).

Debido al interés creciente por el empleo de fitasas como aditivo en dietas de animales monogástricos, se ha observado un incremento en su comercialización por distintas firmas europeas entre las que se destacan: Natupho(de la BASF, USA), AG, (Alemania); Finase(de la Alko Biotechnology Ltd). , Finlandia), Fitasa Novo(de la Novo Nordisk) y Allzyme Phytas del Alltech (USA). Estos productos se obtienen a partir de células modificadas genéticamente y la tecnología se basa en procesos de fermentación en fase sumergida (Dvorákova, 1997). Este trabajo muestra el trabajo experimental realizado para la producción de fitasa y otras enzimas utilizadas en la alimentación animal mediante procesos fermentativos en estado sólido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Microorganismo

Se empleó una cepa mutante de *Aspergillus niger W-2* de esporulación escasa y tardía perteneciente al cepario del ICIDCA.

Inóculo

Para la preparación del inóculo se parte de un crecimiento en cuña del microorganismo, obtenido después de 7 días de incubación a 30 ^{0}C en medio Malta–Agar. De aquí se toman dos asadas para inocular un erlenmeyer de 250 ml de medio Czapeck. El medio inoculado se incubó de forma estática durante 48 horas y del crecimiento obtenido bajo estas condiciones se obtuvo el inóculo a emplear en el proceso de fermentación en estado sólido.

Condiciones y sistema de fermentación

El experimento se realizó en un sistema de columnas tipo Rambault empacando en cada columna alrededor de 20 gramos de sustrato húmedo a fermentar. La razón de inoculación siendo 1/10 (v/p). Además se empleó como fuente de nitrógeno urea al 2.7% (base seca). el proceso se desarrolló a temperatura ambiental, se

suministró aire saturado en agua, a un flujo de un litro de aire por kilogramo de sustrato húmedo por minuto, (v/kg.m.). La humedad inicial fue fijada a 61% a través de los balances de materiales en el sistema.
Determinación de humedad: Se determinó por desecación en una balanza Sartorius de rayos infrarrojos.

Determinación de las actividades enzimáticas

Actividad fítica : En un tubo de ensayo de 20 ml se mezclan 1 ml de ácido fítico (fitato de sodio Sigma) 1,5 mM preparado en buffer acetato 0,2 M (pH=4,8) y 0,5 ml de extracto crudo de enzima. Se incuba a 60 ^{0}C durante 10 minutos. Posteriormente se adiciona 1 ml de ácido tricloroacético (TCA) al 10%. El fósforo inorgánico liberado se determina según Harland.[(2)]

Actividad pectinolítica : Se mezcla 0.9 ml de una solución de pectina al 0.9% en agua destilada con 0.1 ml de extracto crudo enzimático a pH 4.5 y se incuba 15 min a 50^{0}C. La reacción se detiene con 1 ml de DNS, se incuba a 100^{o}C durante 5 min. Se añaden 10 ml de agua destilada y se lee a 550 nm.
Actividad celulolítica (endo -ß 1-4 glucanasa) : Se incuban 0.5 ml de CMC al 0.5% en buffer citrato 0.055 M a pH 4.8 con 0.5 ml de extracto enzimático 50^{o}C durante 30 min. La reacción se detiene con 1 ml de solución de 3-5 dinitro-salicílico a 100^{o}C durante 5 min. Se añade 5 ml de agua y se lee a 540 nm.
Actividad xilanolítica: Se mezclan 0.5 ml de extracto crudo enzimático con 0.5 ml de xilano al 1% en buffer citrato a pH 4.8, incubándose durante 30 minutos en baño termostatado a temperatura de 50ºC . La reacción se detiene con 2 ml de ácido 3-5 dinitrosalicilico, completando el volumen a 3 ml con agua destilada; posteriormente se incuba a 100ºC durante 5 minutos. Se añaden 5 ml de agua destilada y se lee a 540 nm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinética de la producción de fitasa

El estudio de la cinética del crecimiento fue realizado midiendo el oxígeno consumido durante el proceso fermentativo. De manera general puede plantearse que el O_2 consumido en todo proceso fermentativo esta balanceado en función de la cantidad de oxígeno empleado para el crecimiento microbiano y la cantidad empleada para el mantenimiento celular, lo cual es representado por la ecuación del balance del O_2 consumido:

$$\frac{\Delta O_2}{\Delta t} = \frac{\Delta X}{\Delta t} . \frac{1}{Y_{x/o}} + mX$$

donde:

O_2 : oxígeno consumido (gr)
t : intervalo de tiempo considerado (h)
X : biomasa (g)
$Y_{x/o}$: rendimiento en base al oxígeno consumido (g biomasa/g O_2 consumido
m : coeficiente de mantenimiento (g O_2 consumido/ g biomasa/ h)

En al figura 1 se muestra el patrón del consumo O_2 durante el proceso.

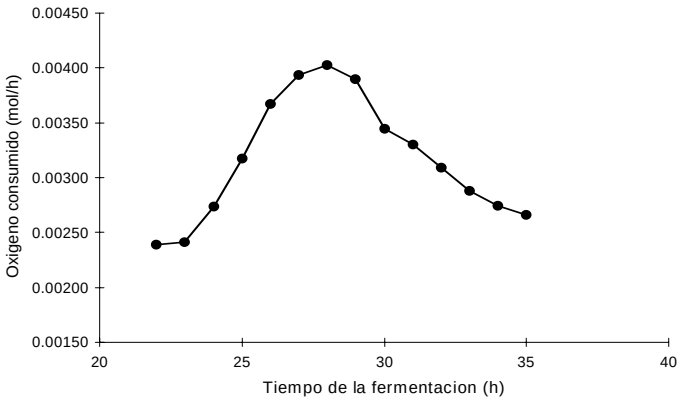


Figura 1. Patrón del O_2 consumido durante la fermentación sólida de cáscara cítrica con la cepa *Aspergillus niger* W2.

La cinética de síntesis de fitasa se muestra en la figura 2.

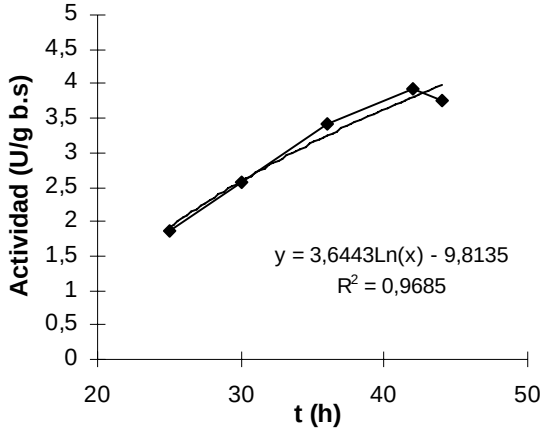


Figura 2. Síntesis de fitasa durante la fermentación en estado sólido de cáscara cítrica con la cepa *Aspergillus niger* W2.

Como puede observarse ocurre síntesis de fitasa a partir de las 23 horas de fermentación, ajustándose su comportamiento a un modelo logarítmico con un mecanismo de reacción de primer orden en función del producto, indicando la siguiente expresión ajustada:

$$dA/dt = 0{,}05A$$

La actividad especifica alcanzada fue de 39.3 U/g biomasa/g material b.s y la productividad de 0.19 U/g.h bajo las condiciones experimentales del proceso estudiado. De los datos anteriores podemos concluir que la síntesis de fitasa está asociada al crecimiento microbiano.

En la figura 3 se presenta el patrón cinético de síntesis de todas las enzimas de interés (fitasa, xilanasa, pectinasa y celulasa) y su relación con el crecimiento microbiano, determinado a través de la síntesis de proteína. Se puede observar el carácter asociado de la enzima fitasa, confirmando lo antes expuesto, sin embargo la síntesis del resto de las enzimas se acelera gradualmente en la medida que se hace necesario para el microorganismo el uso como nutrientes de los polisacáridos pectina, xilano y celulosa, lo cual provoca la inducción de los complejos enzimáticos correspondientes, manifestándose un comportamiento parcialmente asociado al crecimiento para la síntesis de estas enzimas.

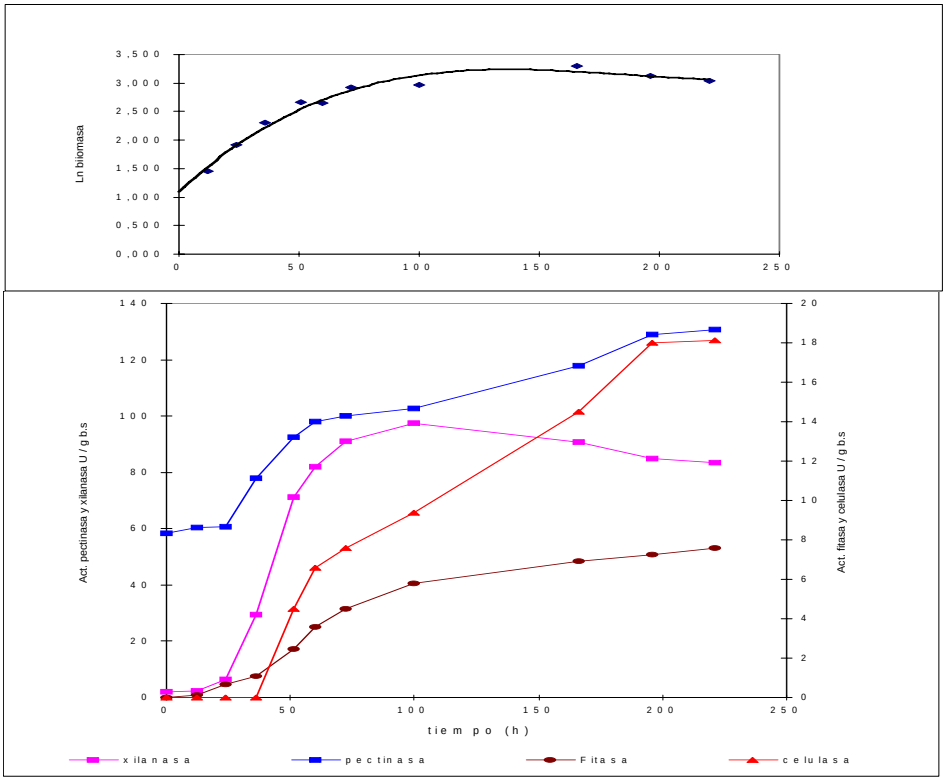


Figura 3. Patrón cinético de síntesis de fitasa, xilanasa, pectinasa y celulasa y su relación con el crecimiento microbiano,

A las 72 horas de fermentación todas las enzimas están en una etapa de síntesis, sin presentar inhibición por producto u otro factor, por lo que se hace propicio tomar este tiempo para evaluar de forma comparativa la influencia de factores tales como componentes de medio de cultivo o condiciones de fermentación. Debe señalarse que a este tiempo de fermentación ya se alcanzan unidades de actividad enzimática para la fitasa (4 U/g b.s.) comparables con los mayores valores reportados en la literatura (Ebune et al, 1995b; Al Asheh et al, 1995) para cepas salvajes en procesos de fermentación en estado sólido; mayores tiempos de fermentación permite alcanzar aproximadamente el doble de actividad, lo cual lleva a un compromiso económico.

Selección del medio de cultivo para el desarrollo del inóculo y condiciones de inoculación.
Con vistas a seleccionar un medio de cultivo que favorezca el mayor desarrollo de biomasa fúngica para emplearla como inóculo de la fermentación sólida en la producción de enzimas, se realizó una experiencia

comparativa de desarrollo de inoculo empleando dos medios de cultivo: medio Czapeck , el cual es un medio convencional para el crecimiento de hongos y medio Miel (empleando miel final de caña como fuente de carbono y solución salina, con nitrógeno balanceado en función del contenido de ART, asumiendo un rendimiento del 50 % de la biomasa), teniendo en cuenta que el mismo resulta mas barato y disponible. Se evaluó además la influencia de la agitación en el desarrollo de la biomasa fúngica.

En la Fig. 4 donde se presentan las variantes donde se desarrolló la fermentación empleando agitación en zaranda se observa en general una tendencia a obtener mayores cantidades de biomasa (b.s.) por volumen de medio, así como se obtuvieron cantidades similares de biomasa a las 72 horas para ambos medios.

Lo antes expuesto permite seleccionar el medio Miel como el mas adecuado para desarrollar inoculó en fermentación sumergida agitada en zaranda, con vistas a su empleo en la fermentación sólida para la producción de enzimas bajo las condiciones especificadas.

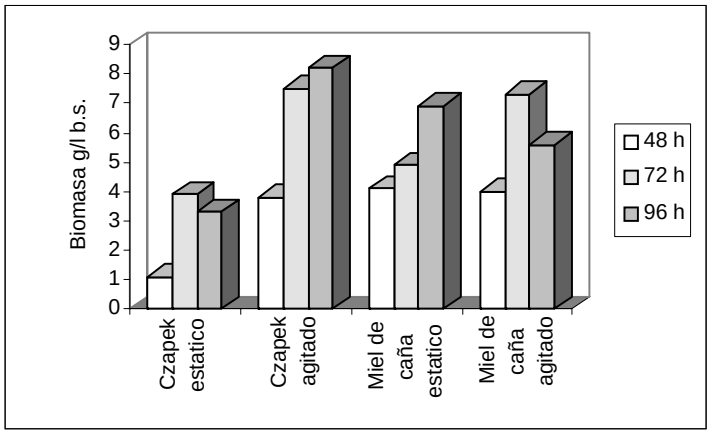


Figura 4. Comparación de variantes de medios y condiciones de cultivo

Influencia del tipo de soporte en la síntesis de enzimas.

En los procesos de fermentación sólida han sido utilizados diferentes tipos de soportes sintéticos y naturales. Los residuales sólidos de la agricultura han sido habitualmente evaluados, con vistas a favorecer su reciclaje ecológico y productivo, esto ha sido aplicable también a la producción de enzimas por FES. En el caso de las enzimas inducidas como xilanasa y celulasas el empleo de materiales lignocelulósicos como el bagazo de caña ha sido ampliamente estudiado, así también la cáscara cítrica se reporta como una matriz adecuada para la síntesis de enzimas pectinolíticas (Delgado et al, 1985).

Se estudió la influencia del uso de cáscara cítrica y el bagacillo de caña en la síntesis de las enzimas.

En la figura 5 se observa las mayores actividades enzimáticas cuando se emplea cáscara cítrica como soporte, alcanzando valores de actividad significativamente inferiores tanto en la mezcla al 50% cáscara cítrica - bagacillo, como en bagacillo. Este hecho puede deberse a que el crecimiento microbiano fue muy inferior en estas dos ultimas variantes, lo que puede estar influenciado por las características del bagacillo, como fuente de nutrientes, ya que este material no presenta una cantidad apreciable de ART que permita un crecimiento inicial del hongo , lo que posibilitaría una posterior inducción de las enzimas, sin embargo esto se ve favorecido en la cáscara cítrica ya que en este material los distintos polisacáridos responsables de la inducción de celulasa y xilanasa son mas fácilmente asequible al ataque microbiano que en el caso del bagacillo, en el que la protección dada por la lignina impide un ataque mas efectivo. Para las enzimas inducidas (celulasa, xilanasa, pectinasa) no hubo diferencias de actividad a los diferentes tiempos de fermentación, a diferencia de la fitasa, cuya síntesis se incrementa aun hasta las 144 horas.

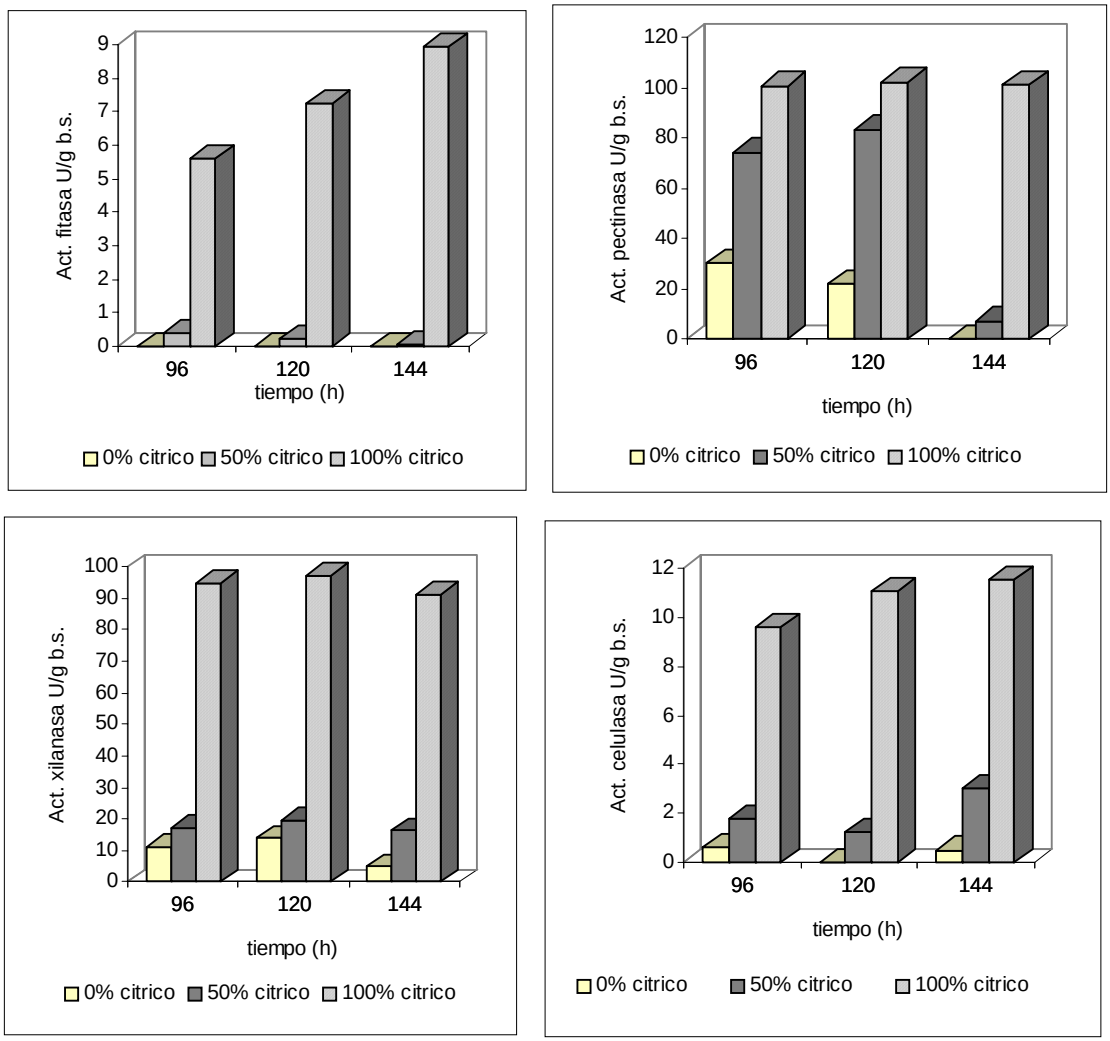


Figura 5. Influencia del soporte (cáscara cítrica y bagacillo) en la producción de enzimas.

CONCLUSIONES

La cinética de crecimiento de producción de fitasa esta asociada al crecimiento microbiano en un orden de 4 U/g b.s. a las 72 horas, comparable y en algunos casos mejor a los resultados empleando cepas reportadas en la literatura. Se observa el carácter inducible de pectinasa, xilanasa y celulasa.

Se estableció un medio de inoculación miel balanceada en zaranda agitada durante 72 horas con una relación de inoculo v/p.

Se demostró la conveniencia del empleo de residuos cítricos como fuente adecuada de carbono para la producción de fitasa encontrándose además pectinasa, celulasa y xilanasa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bedford, M. R. (1996) *Avicultura Profesional* 14: 23-29.
Cleophas, G. M. L., W. Van Hartingsveldt, W. A. C. (1995) World Poultry 11: 12-15.
Delgado. G., J.A. Rodríguez León y J. Echevarría (1985). IX Seminario del Centro Nacional de Investigaciones Científicas, La Habana. Cuba.
Dvoráková, J., O. Volfová and J. Kopecký (1997) *Folia Microbiol.* 42: 349-352.
Han, Y. W. (1988) *J. Agric. Food Chem.* 36: 1181-1183.
Harland, B.F. and J. Harland (1980) *Cereal Chemistry* 57: 226-229.
Partridge G. and C. Wyatt (1995) *World Poultry* 11: 17-21.
Rubingh, D. N. (1997) *Current Opinion Biotechnol.* 8: 417-422.
Selinger, L.B., Forsberg, C.W. and Cheng, K.J. (1996) *Anaerobe*, 2 263-284.

POSIBILIDADES DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTO ANIMAL EN LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA

José Villar, Ramón Montano

ICIDCA, Vía Blanca, 804, La Habana, Cuba
Jose.villar@icidca.edu.cu

Resumen

La situación generada con los precios de los alimentos, algunos de los cuales se han incrementado hasta en un 300 % en los últimos años, el aumento de precio de los cereales empleados en la alimentación animal, la subida de los precios de plaguicidas, fertilizantes, herbicidas y combustibles para la producción nacional de granos y la existencia de una agroindustria azucarera con potencialidad de proporcionar productos para la alimentación animal, son el fundamento de este trabajo. En el mismo se analizan las posibilidades de obtener alimentos para ganado porcino y bovino y su comparación con sistemas de alimentación tradicional.

Palabras clave: ganadería porcina y bovina, levadura, bagazo hidrolizado, industria azucarera

Abstract

The present situation generated by increasing of food prices, some of one are increased until 300 % in recent years, increasing in cereal prices used in animal feed and in the prices of pesticides, fertilizers, herbicides and oil for domestic grain production, and the existence of a cuban sugar agroindustry, which is a potential producer of feed, were the base for preparing this paper. Possibilities for producing feed for cattle and pigs and comparison with traditional feed systems are analyzed.

Key words: cattle, pigs, yeast, hydrolysed bagasse, sugar industry

Introducción

Años atrás se plantearon diversos esquemas y variantes de producción de alimento animal a partir de los productos y derivados de la agroindustria azucarera principalmente en países de nuestra región Fairhurst y Pate (1987), Cabello (1988), Piña (1987). Los menores precios de los combustibles y la facilidad de importación de granos y piensos a precios de convenio con la antigua URSS no permitieron la introducción de estos sistemas en el país.

La caña de azúcar produce un promedio de 50 a 60 toneladas por ha por año, lo que equivale de 9 a 11 t de nutrientes totales digeribles (NTD) por ha por año. Esta producción alta de NTD de la caña de azúcar compara favorablemente con el estimado de 1.8 a 3,4 t de NTD producidas por los granos básicos bajo condiciones similares Fairhurst y Pate (1987).

Se conocen las enormes ventajas energéticas aparejadas al cultivo de la caña, que en condiciones promedio se refleja en producir alrededor de 20 veces más energía que la que consume para su cosecha y transportación a la fábrica. Para los cereales este índice se encuentra alrededor de 3. Cuando se usa para producir azúcar esta caña limpia debe pasar por un complejo proceso de fabricación y los costos de

producción muchas veces superan los maltrechos precios del mercado mundial, que no se incrementan apenas ni siquiera con el desmesurado aumento de los precios del petróleo que afecta en estos momento a la economía mundial y, particularmente a la producción de alimentos cuyos precios en pocos años se han disparado y subido entre 100 y 300 %.

La manera de producir la caña para azúcar, al menos en Cuba, con escasa población rural sin necesidades de acometer manualmente el brutal trabajo del corte y tiro de la gramínea bajo las condiciones de pago que permite esta producción, no parece alentar el crecimiento de esta rama agrícola. Por otro lado la producción mecanizada e intensiva consumidora de energía y otros insumos industriales de importación, ni desde el punto de vista práctico ni ecológico ofrece un futuro claro.

La producción de azúcar para su exportación, por tanto, no parece un proceso atractivo. De aquí la reestructuración realizada en el país de esta industria en el 2002 donde cerca de 100 centrales fueron cerrados o desmantelados. La producción de energía y alimento animal sin embargo podría tener perspectivas dentro de la situación actual y futura. Este último destino parece prometedor al disminuir el uso de cereales, cuyos precios en estos momentos se incrementan vertiginosamente ya sean importados o producidos nacionalmente

Además de alimento animal parece evidente la utilización de la caña de azúcar para la producción de energía y aquí entran en juego los precios del petróleo, desbocados y sin freno previsible, que alcanzan ya los casi 145 USD el barril. Una tonelada de bagazo en este escenario tiene un valor de aproximadamente 192 USD/t.

Tabla I Indicadores nutritivos de productos empleados como alimento animal
(Valores promedio)

Indice	Levadura Torula[1]	Jugo de caña CAI MM Prieto[1]	Caña picada[2]	Bagazo Hidrolizado[3]
Brix	-	17	-	-
Materia seca, %	92	-	31	45
Proteína bruta, %	48	0,50	3,5	1,7
$P_2O_{5,\%}$	3	0,007	-	-
Cenizas. %	9,7	3,43	-	3
Digestibilidad,%	-	-	64	55

[1]Almazan, Klibansky y Otero (1982) [2]Fairhurst y Pate (1987) [3] Lacorte, Burgi y Lacorte (1987)

En este trabajo se analiza la posible producción de alimento animal a partir de la agroindustria azucarera y su comparación con los productos tradicionalmente empleados con este objetivo. Asimismo se hace énfasis en aplicar esquemas que aporten la mayor cantidad de energía eléctrica al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) Paturau (1988), Lodos y Cordovés (1987).

Los productos de mayor interés a obtener son: jugo de caña, caña picada, bagazo hidrolizado y levadura forrajera. Datos de sus valores nutritivos se brindan en la Tabla I. Los mismos han demostrado probada eficacia en la alimentación de ganado porcino y vacuno Villar, Cañete y Manganelly (2000); Cabello (2002); Preston y Murgueitio (1988)

Alimentación animal con productos de la agroindustria azucarera

A continuación se realiza una comparación de las ventajas que tiene utilizar los productos de la agroindustria azucarera con respecto a sistemas tradicionales.

Alimentación de cerdos

La producción porcina es casi la única fuente de obtención de proteína animal en estos momentos y ya alcanzó en el 2007 una cifra record de casi 250 mil toneladas de carne en pie Monteagudo y Terrero (2008). Se programa su incremento para los diferentes productores, pero lo más probable es que exista una gran dependencia de piensos importados. La utilización de los productos de la agroindustria azucarera sería una vía para disminuir dicha dependencia.
La ración de un cerdo para ganar 60 kg. en 100 días (desde 40 hasta 100 kg de peso vivo) según formula recomendada por el MINAZ, MINAZ (1991), es para la parte energética de 10 kg de jugo de caña/cerdo/dia. La parte proteica se suple con 0,5 kg de harina de soya o levadura torula. El consumo de jugo por animal en los 100 días es de 1 t.
En principio una ha de caña con un rendimiento conservador de 40 t/ha produce 27,2 t de jugo y 10 t de bagazo, luego el jugo puede suministrar la parte energética de la ración de 27 cerdos.
Si los cerdos se alimentaran con maíz la ración del grano sería 2 kg/cerdo/día con la misma cantidad de la parte proteica. El consumo de maíz en los 100 días es de 200 kg/cerdo. Con un rendimiento de 3 t/ha del cereal se podrían alimentar 15 cerdos, 12 menos que cuando se alimentan con jugo de caña, o se necesitarían 1.8 ha de maíz para la misma cantidad de cerdos, casi el doble que de caña.
La levadura torula para los 27 cerdos a 0,5 kg/cerdo/día en los 100 días seria 1,35 t que a 10 t de caña por t de levadura representan 13,5 t de caña o sea 0,34 ha de la gramínea.
Si se alimentaran con harina de soya a 0,5 kg/cerdo/ día en los 100 días consumen 1,35 t de harina equivalente a 1,50 t de frijol fresco que a un rendimiento de 1,6 t del frijol/ha representa 0,84 ha.
En resumen para la alimentación con jugo y levadura torula se necesitan para los 27 cerdos 1,34 ha de caña, mientras que con harina de soya y maíz son necesarias 1,8 ha de maíz y 0,84 de frijol de soya en total 2,64 ha, 2 veces más que para la primera opción.
De otra manera, se alimentan 20 cerdos/ha con jugo y levadura contra 10 cerdos/ha con harina de soya y maíz.

Alimentación de bovinos

La producción de carne de res hoy muy deprimida llegó a alcanzar 179 mil t en 1989, sin contar decenas de miles de t en conserva que se importaban Monteagudo y Terrero (2008).
La siguiente dieta se recomienda para la alimentación de bovinos en ceba con ganancia de peso de 1 kg/día Lacorte, Burgi y Lacorte (1987).

	kg/cabeza/día
Bagazo hidrolizado:	15
Caña picada:	4
Levadura torula:	3
Jugo:	2,4
Urea:	0,20
Mezcla mineral:	0,10

En 100 días una ha de caña puede suministrar la parte energética de esta ración (bagazo hidrolizado, caña picada y jugo para ganar 100 kg por cabeza) y alimentar 6,25 reses más 25,5 t de jugo que puede alimentar 25,5 cerdos.
La alimentación con maíz a 3 kg /cabeza/día como parte energética suministra la fracción energética de 10 cabezas
En resumen una ha de caña puede alimentar 6,25 reses y 25,5 cerdos y producir 2,2 t de carne en pie, mientras la ha de maíz alimenta solo 10 reses y produce 1 t de carne en pie.
Lo anterior no representa una novedad ya que es conocido la mayor cantidad de nutrientes obtenidos a partir de la caña con respecto a los cereales, pero esto gana importancia en estos momentos como consecuencia del sostenido

incremento en los precios de los granos y favorece la opción de alimentar el ganado con los productos de la agroindustria azucarera.
Ahora solo queda determinar como obtener dichos productos de la manera más eficiente posible.

El sistema óptimo para la producción de alimentos

Las instalaciones óptimas para la producción de alimentos, que no existen en casi ningún central del país, son aquellas capaces de producir toda la energía posible conjuntamente con los productos que se seleccionen como alimento. Este sería un sistema donde se emplee todo el bagazo, salvo las cantidades que se destinen para la elaboración de alimento, a producir energía eléctrica. Esto implica la presencia de turbogeneradores de extracción-condensación y generadores de vapor a alta presión (Fig. 1). En este caso se produce electricidad para el SEN y disponemos de todo el jugo y cualquier cantidad de bagazo, vapor y energía eléctrica para la elaboración de productos.

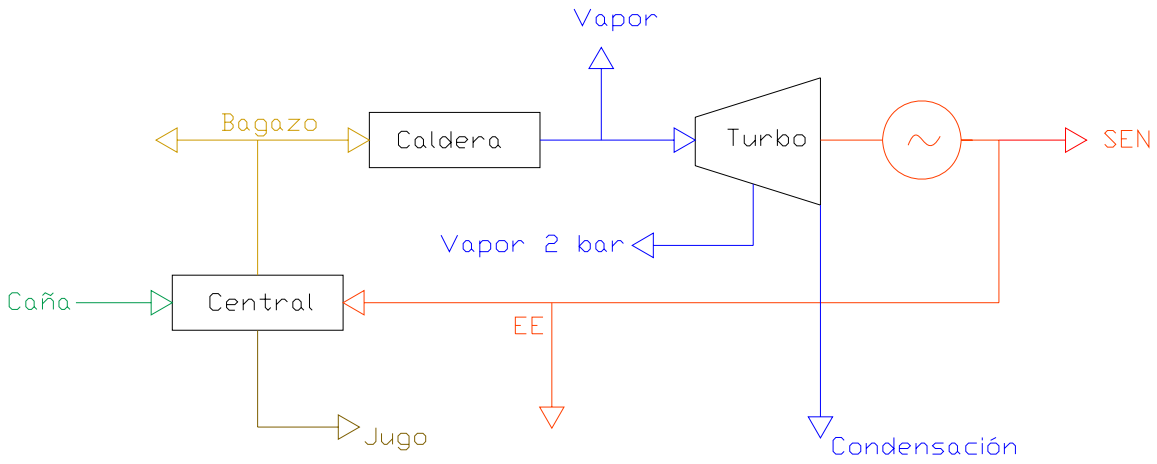


Fig. 1 Instalación optimizada para la producción de alimento y energía

En la Tabla II se muestra el valor de las producciones para 100 t de caña molida con empleo de este esquema en dos instalaciones que generan a alta presión. En la energía eléctrica entregada al SEN se descuenta la energía para la molida de la caña (3 000 kWh/100 tcm) y otras cantidades que dependen de los productos a elaborar. Por este esquema se puede producir energía eléctrica (0,3 USD/kWh a 145 USD/t petróleo), jugo cuyo valor se da como equivalente a maíz (374 USD/t), bagazo hidrolizado como maíz y levadura torula como equivalente a soya (670 USD/t). Los precios se toman de Mesa Redonda del 18 de junio del 2008. La cantidad de levadura a producir representa el 75 % de la capacidad máxima de las plantas de levadura en Cuba para una molida de 3 000 tcm/d. Si se moliera menos o las plantas no alcanzaran esta capacidad se disminuiría la cantidad de levadura a producir. La cantidad de bagazo hidrolizado se corresponde con la cantidad de levadura producida para la ración propuesta en la alimentación de bovinos.
El valor total de la producción aumenta al incrementarse la presión de generación. Se ofrece también los resultados cuando se obtiene en las instalaciones azúcar (200USD/t, miel (100 USD/t) y energía eléctrica (Variante 2).
La ventaja de este esquema se incrementa en la Variante 1 (la de mayor valor) si se muele la caña sin pasar por el Centro de acopio con lo que el residuo fibroso se aumenta en 9 t por 100 toneladas de caña molida. En este caso el RAC no afecta el proceso por no producirse azúcar sino que lo beneficia al incrementar la energía eléctrica producida.
En este esquema pudiera analizarse como alternativa convertir el jugo en meladura de 70 ºBrix para disminuir el costo de transportación y evitar el deterioro del producto, lo que debe disminuir en algo la cantidad de electricidad a la red.

Se observa que el valor de la producción de energía eléctrica y jugo (Variante 1) para la alternativa de 70 bar, supera en un 64 % a la de azúcar, miel y energía (Variante 2). Cuando se utiliza el RAC (Variante 1 + RAC) esta cifra se eleva a un 92 %. No se debe olvidar aquí que además el primer caso se ve favorecido por los mayores costos de producción que debe tener la producción de azúcar con respecto a la de jugo o meladura.

Tabla II Posibles producciones de energía eléctrica y alimento en instalaciones industriales a partir de 100 t de caña molida

Producción	Presión 46 bar a 400 ºC		Presión 70 bar a 500 ºC	
	Cantidad	Valor USD	Cantidad	Valor USD
Variante l				
Jugo, t	68	5 086	68	5 086
Energía eléctrica, kWh al SEN	8 225	2 468	9 975	2 993
Total		7 554		8 079
Variante l + RAC				
Jugo	68	5 086	68	5 086
Energía eléctrica, kWh al SEN	12 266	3 680	14 646	4 394
Total		8 766		9 480
Variante 2				
Azúcar, t	11,5	2 300	11,5	2 300
Miel, t	3	300	3	300
Energía eléctrica, kWh al SEN	6 000	1 800	7 750	2 325
Total		4 400		4 925
Variante 3				
Azúcar y miel como forraje, t	14,5	5 086	14,5	5 086
Energía eléctrica, kWh al SEN	6 000	1 800	7 750	2 325
Total		6 886		7 411
Variante 4 + RAC				
Jugo	61,2	4 578	61,2	4 578
Levadura, t (no más de 3 000 tcm/d)	1,0	670	1,0	670
Energía eléctrica, kWh al SEN	10 537	3 161	12 917	3 875
Total		8 409		9 123
Variante 5 + RAC				
Jugo	61,2	4 578	61,2	4 578
Levadura (no más de 3 000 tcm/d)	1,0	670	1,0	670
Bagazo hidrolizado	5,0	254	5,0	254
Energía eléctrica, kWh al SEN	5 896	1 769	7 371	2 211
Total		7 271		7 713

Se incluye el caso en que el azúcar se emplee como alimento animal (Variante 3), equivalente a maíz, paradójicamente esta variante tiene un valor mayor que cuando se valora el dulce como tal a su precio en el mercado mundial, aunque todavía es menor que el de producir jugo y energía.

Se brindan también dos variantes (4 y 5) en que se produce jugo, levadura y energía eléctrica y jugo, levadura, bagazo hidrolizado y energía eléctrica, esta última con todos los productos necesarios para la alimentación de bovinos y cerdos.

Este esquema es el ideal para producir electricidad y alimento animal en tiempo de zafra, pero requiere grandes inversiones por lo que para Cuba no debe ser una solución a corto plazo.

La situación real de la industria

La situación de la industria es muy diferente a la planteada anteriormente. La mayoría de los centrales no genera vapor a altas presiones ni utiliza turboalternadores de condensación ni a veces turboalternadores de contrapresión y solo generan un vapor de muy baja presión para el proceso. En la figura 1 se muestra un esquema que puede existir en algunas fábricas sobre todo en las versiones de más baja presión. Aquí se han considerado calderas y turboalternadores de contrapresión eficientes. Este esquema puede resultar de interés para obtener bagazo sobrante.

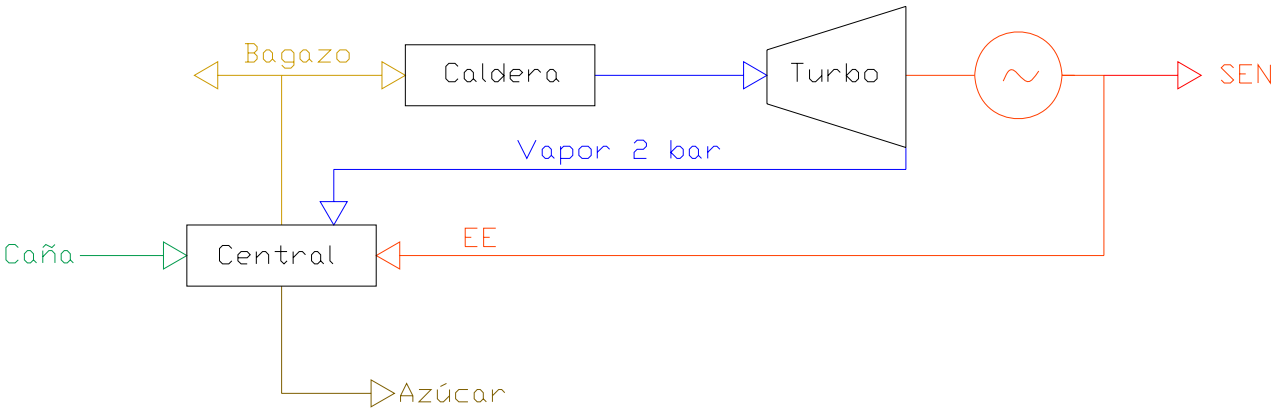


Fig. 2 Instalación común en centrales con cogeneración de electricidad

En la Tabla III se muestra los productos que se pueden obtener para varias presiones de generación y turboalternadores de contrapresión para el procesamiento de 100 t de caña. En este caso no se puede usar todo el bagazo para generar electricidad y obtener jugo porque se tendría un gran exceso de vapor de baja. No hay otra alternativa que producir azúcar generando solo el vapor necesario para esto y se obtendrán determinadas cantidades de bagazo sobrante, que se puede utilizar para producir bagazo hidrolizado, y electricidad en dependencia de la presión.

En la variante 1 se produce azúcar, miel, electricidad y bagazo hidrolizado. La electricidad tributada al SEN se incrementa con la presión y puede llegar a 2 296 kWh para presión de 70 bar, el bagazo sobrante no varía apreciablemente con la presión. El bagazo hidrolizado requiere alrededor de 0,2 t de vapor de alta por tonelada del producto que no se considera y por su pequeña dimensión se puede ajustar en el balance de energía de la instalación.

En la variante 2 se produce además levadura (para un central que muela 3 000 t de caña diaria, el 75 % de la capacidad de una planta de levadura), pero en este caso es necesario tomar del SEN electricidad para esta producción. La energía para el secado del producto se asume que es suministrada por los gases de combustión lo que debe ser fruto de una solución técnica. También pudiera utilizarse para esto vapor sobrante.

No hay grandes diferencias entre los valores producidos para las variantes 1 (azúcar, miel, electricidad y bagazo hidrolizado) y 2 (azúcar, miel, electricidad, levadura y bagazo hidrolizado), en esta última ligeramente superior por influencia del alto valor de la levadura.

En todos los casos hay un incremento del valor con el aumento de la presión de generación. Se incluye también la posibilidad de considerar, en lugar del bagazo hidrolizado, el bagazo como fuel oil (145 USD/t) y se aprecia que tiene casi tanto valor como el azúcar y mucho más que como alimento, lo que incrementa apreciablemente el valor de la producción en ambas variantes y para todas las presiones. Esto debe implicar un análisis económico del aprovechamiento de este bagazo como combustible en forma de briquetas o pelets que sean fáciles de almacenar y transportar.

Tabla III Producción de energía y alimento con generación a diferentes presiones y turboalternadores de contrapresión para 100 t de caña molida

Producción	Presión 15 bar		Presión 21 bar		Presión 31	
	Cantidad	Valor, USD	Cantidad	Valor, USD	Cantidad	Valor, USD
Variante 1						
Azúcar, t	11,5	2 300	11,5	2 300	11,5	2 300
Miel , t	3	300	3	300	3	300
Energía eléctrica, kWh al SEN	0	0	151	45	841	252
Bagazo hidrolizado, t (como cereal)$_1$	11.3	574	12,5	635	12,7	645
Bagazo, t (como fuel oil)$_2$	10,2	1 961	11,2	2 153	11,4	2 192
Total$_1$		3 174		3 280		3 497
Total$_2$		4 561		4 798		5 044
Variante 2						
Azúcar, t	10,3	2 060	10,3	2 060	10,3	2 060
Miel , t	2,7	270	2,7	270	2,7	270
Levadura, t (no más de 3 000 tcm/d)	1,0	670	1,0	670	1,0	670
Energía eléctrica, kWh al SEN	(1 551)	(465)	(1 514)	(454)	(987)	(296)
Bagazo hidrolizado, t (como cereal)$_1$	14,4	731	15,8	802	16	812
Bagazo, t (como fuel oil)$_2$	13	2 500	14,2	2 731	14,4	2 769
Total$_1$		3 266		3 348		3 516
Total$_2$		5 035		5 277		5 473

Producción de alimentos in situ

La producción de alimentos sin dependencia de la industria y el transporte puede ser un método para la alimentación sostenible del ganado. En este caso el productor siembra la caña necesaria y suministra los dos productos esenciales: jugo y caña picada.

El suministro de jugo requiere de pequeños trapiches eléctricos, o con tracción animal, el rendimiento de extracción (jugo/caña) es menor, cerca de un 50 % y debe encontrarse una solución para el bagazo que contiene en este caso una mayor cantidad de azúcar.

Una limitación de este método es que no se obtiene energía eléctrica, suprimiendo así una de las mayores bondades del bagazo en estos momentos.

Conclusiones

La obtención de productos para la alimentación animal en la agroindustria azucarera aunque presenta aspectos positivos debe superar varias restricciones que son planteadas en las siguientes conclusiones:

- La obtención de alimento animal y energía en sistemas modernos de operación produce un mayor valor que la producción tradicional de azúcar y mieles, lo cual es consecuencia del elevado incremento de los precios del petróleo y los cereales
- La alimentación del ganado tanto porcino como vacuno con alimentos producidos por la agroindustria azucarera requiere alrededor de 2-3 veces menos área por animal que la que se necesitaría para su alimentación con productos tradicionales como maíz y soya

- La obtención de los productos se favorece con la generación a alta presión y el uso de turboalternadores de extracción-condensación, pero esto requiere grandes inversiones por lo que no parece viable en los próximos años
- En las instalaciones actuales que generan a baja presión con o sin turboalternadores de contrapresión no puede obtenerse solo jugo pues sobrarían cantidades inmensas de vapor, es necesario producir azúcar, y cuando se obtiene levadura es necesario tomar del SEN electricidad para esta producción. En este caso se puede obtener bagazo hidrolizado de bagazo sobrante pero en cantidades limitadas, luego habría bagazo sobrante sin uso o analizar si resulta económico peletizarlo para combustible. Al obtener solo bagazo hidrolizado y levadura para la ración establecida, tanto en vacuno como porcino, el jugo al igual que la caña picada de la ración debe suministrarse por los productores localmente
- La cantidad de levadura y bagazo producidos aún para molidas de solo 3 000 tcm/d requiere grandes estabulaciones de ganado y grandes inversiones
- La levadura se fabrica en estos momentos a partir de vinaza donde hay destilerías y planta de torula, por lo que la producción de levadura de jugo se realizará solo para los casos en que no sea suficiente la vinaza o no exista destilería
- La solución más racional hoy sería distribuir la levadura producida a partir de vinaza o jugo entre los productores y que estos mismos localmente suministren la parte energética como jugo o caña picada
- En vista de la limitada producción de torula otra alternativa con mayor grado de sostenibilidad es producir localmente caña y suministrarla al ganado como caña picada o jugo para suplir la parte energética de la ración mientras que la proteína podría ser aportada por otras fuentes como leguminosas arbóreas, soya, forrajes leguminosos, etc.

Referencias bibliográficas

Almazán, O., Klibansky, M. y Otero, M. (1982) Producción de proteína unicelular a partir de subproductos de la industria azucarera. Ed. Científico-Técnica. C. de La Habana

Ayala y otros (1987) Uso alternativo de la caña de azúcar para energía y alimento. GEPLACEA. Serie DIVERSIFICACIÓN. México 73-84

Cabello, A. (1988) Subproductos y derivados de la agroindustria azucarera. GEPLACEA. Serie DIVERSIFICACIÓN. México. pp. 291-313

Cabello, A. (2002) Los Sistemas agroalimentarios actuales y la caña de azúcar: Un análisis comparativo. Editorial ICIDCA. La Habana, Cuba, 83-91

Fairhurst, P and Pate, F. (1987) Uso alternativo de la caña de azúcar para energía y alimento. GEPLACEA. Serie DIVERSIFICACIÓN. México. pp. 28-44

Lacorte, M., Burgi, R. Y Lacorte A. (1987) Uso alternativo de la caña de azúcar para energía y alimento. GEPLACEA. Serie DIVERSIFICACIÓN. México. pp. 125-135

Lodos J., y Cordovés M. Uso alternativo de la caña de azúcar para energía y alimento. GEPLACEA. Serie DIVERSIFICACIÓN. México. pp. 195-213

MINAZ (1991) Carta Agropecuaria. 91, 2. La Habana

Monteagudo, K. y Terrero, A. (2008) Revista BOHEMIA 8, 28-35

Paturau J. (1988) Subproductos y derivados de la agroindustria azucarera. GEPLACEA. Serie DIVERSIFICACIÓN. México. Pp. 369-411

Piña, A. (1987) Uso alternativo de la caña de azúcar para energía y alimento. GEPLACEA. México. pp. 45-50

Preston, T. y Murgueitio E. (1988) Subproductos y derivados de la agroindustria azucarera. GEPLACEA. Serie DIVERSIFICACIÓN. México. pp. 413-427

Villar, J., Cañete, R. y Manganellly, E. (2000) International Sugar Journal. 1215, 165-167

UTILIZACIÓN DE DIETAS BASADAS EN MIEL ¨B¨ DE CAÑA DE AZÚCAR PARA LA ALIMENTACIÓN DE CERDOS EN CRECIMIENTO-CEBA

Ramiro E. Almaguel, Jorge L. Piloto, Carmen M. Mederos, Elizabeth Cruz y Antonio Castillo

Instituto de Investigaciones Porcinas. Carretera del Guatao, km 1 1/2 , Punta Brava, La Lisa, Ciudad Habana. Código postal 19 200. Cuba, email- ralmaguer@iip.co.cu

Resumen

Se utilizaron 54 cerdos del cruce comercial YL x CC21 machos castrados y hembras (1:1) de 75 días de edad y peso vivo promedio de 22.0 kg distribuidos según un diseño en bloques al azar en tres tratamientos experimentales. Cada tratamiento estuvo conformado por 18 animales. Se estudió el efecto de la utilización de un pienso B y del NUPROVIM 10 (N10) en dietas de miel B de caña de azúcar sobre los rasgos de comportamiento en los animales. Adicionalmente se utilizó un tercer tratamiento (control) en el que se ofreció un pienso concentrado basado en cereales y harina de soya. Hubo diferencias significativas en cuanto a consumo de materia seca (P< 0.05) 2.776, 2.807, 2.564; ganancia media diaria (P< 0.001) 779, 807, 853 y peso final (P <0.01) 97.11, 99.83 y 102.38 respectivamente. Los resultados obtenidos confirman una vez más que la utilización de las mieles de caña de azúcar constituyen una fuente energética muy favorable en la alimentación alternativa para nuestras condiciones y una posibilidad real para sustituir importaciones de cereales en la alimentación porcina, abaratando de esta forma el costo del alimento para producir una tonelada de carne de cerdo.

Palabras claves: miel B, NUPROVIM, cerdos en crecimiento-ceba, comportamiento animal.

Abstract

Fifty four pigs (castrated males and females), YL x CC21 cross, of approximately 22 kg of live weight and 75 days average age were used. The pigs were distributed into a random block design with three treatments conformed by 18 animals each one**.** The effect of the balanced feed type B and NUPROVIM 10 (N10) in diets sugar cane molasses type B on the pig performance traits was studied. Additionally a third treatment (control) was used, where the animal consumed a concentrate based on cereals and soybean meal. There were significant differences for the consumption of dry matter (P <0.05) 2.776, 2.807, 2.564; daily gain average (P <0.001) 779, 807, 853 and final weight (P <0.01) 97.11, 99.83 and 102.38 respectively. The obtained results confirm once again that the use of the sugar cane molasses constitutes a very favourable energy source in the alternative feeding for our conditions and a real possibility to substitute imports of cereals in the swine feeding, reducing the cost of the food to produce a ton of pig meat.

Key words: molasses type B, NUPROVIM, growing-fattening pigs, animal performance

Introducción

La mayoría de los países con altas producciones de carne de cerdo son grandes productores de alimentos para estos animales, fundamentalmente de cereales y soya. Es escasa la información existente internacionalmente relacionada con la sustitución de cereales por mieles de caña de azúcar en dietas para cerdos de engorde, Sarria (1990); Nhu Phu y Trong Hieu (1991); Hong Van y Thi Men (1991); Mederos y otros (2007). La producción porcina en Cuba evidentemente no debe sustentarse en la importación de cereales, mucho menos si se tiene en cuenta la inestabilidad, así como la posibilidad del incremento de los precios cada año, Aho (1997). Por esto para aumentar la producción de carne de cerdo, se debe disponer de una base alimentaria nacional que respalde este propósito, Figueroa y otros (1991).

En Cuba, desde hace algunos años se viene trabajando en una tecnología de alimentación basada en mieles enriquecidas de caña de azúcar como sustitutas del maíz en dietas para los cerdos, Figueroa (1996). Se ha desarrollado una tecnología de alimentación en la que para darle flexibilidad al sistema, la miel de caña de azúcar se ofrece a los animales de forma independiente al núcleo de proteínas, vitaminas y minerales (suplementos) de la ración, Mederos (2003). Esta variante de suministro de los nutrientes de la dieta a los cerdos se encuentra en oposición a la forma convencional establecida para el sistema de alimentación con cereales, NRC (1998).

Existe información correspondiente a la frecuencia de alimentación en cerdos por Friend y Cunningham (1964); Allee y Meyer (1973); Cuarón y otros (1983); Fanimo y otros (2003); Chastanet y otros (2007); Schneider y otros (2007), pero no en lo referente a cerdos alimentados con mieles de caña como única fuente de energía, Figueroa y Ly (1990).

Otros aspectos de una dieta basada en miel "B" y harina de soya son el bajo nivel de extractos etéreos (EE) y fibra cruda, siendo cero los niveles de ambos en la miel "B" y muy bajos en la harina de soya (<1.0% de EE y del orden de 3% de fibra cruda), AFRIS (2004). Con niveles tan bajos de EE, la oferta de ácidos grasos esenciales de cadena larga, pudiera ser una limitante al comportamiento productivo de los cerdos. El efecto negativo de altos niveles de fibra sobre la digestión de proteína en cerdos es bien entendido, Jørgensen y otros (1996); Kass y otros (1980). Sin embargo, al parecer no hay estudios sobre las adiciones de fuentes de fibra en dieta que carecen de este elemento.

Por tal motivo se consideró de gran interés estudiar los rasgos de comportamiento de los cerdos en crecimiento-ceba alimentados con fórmulas de Pienso B y NUPROVIM 10 en dietas de miel B de caña de azúcar.

Materiales y Métodos

Se utilizaron 54 cerdos del cruce comercial Yorkshire - Landrace x CC21 machos castrados y hembras (1:1) de 75 días de edad y peso vivo promedio de 22.0 kg distribuidos según un diseño en bloques al azar en tres tratamientos experimentales. Cada tratamiento estuvo conformado por 18 animales.

Se estudió el efecto de la utilización de un pienso B y del NUPROVIM 10 (N10) en dietas de miel B de caña de azúcar sobre los rasgos de comportamiento en los animales, tratamientos I y II respectivamente (tablas I y II). Adicionalmente se utilizó un tercer tratamiento (control) en el que se ofreció un pienso concentrado basado en cereales y harina de soya (tabla III).

Tabla I. Composición del pienso B

Ingredientes	% inclusión
Maíz	16,20
Soya	18,00
Salvado de trigo	60,84
Fosfato di cálcico	2,00
Carbonato de calcio	2,00
Cloruro de sodio	0,50
Premezcla vit. Min.	0,40
Cloruro de colina	0,06
Proteína Bruta, %	17,7

Tabla II. Composición del NUPROVIM 10

Ingredientes	Base Húmeda, %
Harina de soya	88,85
Cloruro de sodio	2,26
Fosfato di cálcico	7,21
Premezcla vit. Min.	1,43
Cloruro de colina	0,25
Proteína Bruta, %	35,54

Tabla III. Composición del Pienso Concentrado

Ingredientes	% inclusión
Maíz	77,08
Harina de soya	19,39
Fosfato di cálcico	2,50
Cloruro de sodio	O,50
Premezcla Vit. Min.	0,45
Cloruro de colina	0,08

La alimentación de los cerdos fue a voluntad, no obstante se estimó un consumo promedio diario según las normas de alimentación propuestas en el Manual de Crianza Porcina (2007) y ajustando a satisfacer los requerimientos de proteína diario de los animales.

El NUPROVIM se ofertó a los animales a primera hora en la mañana (7:00 – 8:00 a.m.) en cantidad restringida para satisfacer los requerimientos de los cerdos en proteína (aminoácidos esenciales), vitaminas y minerales.

Para suministrar el NUPROVIM se humedeció el mismo en agua con una proporción 1 parte de NUPROVIM 10: 1.5 partes de agua, quedando una consistencia de ¨papilla¨. Cuando los cerdos consumieron totalmente el NUPROVIM humedecido se les ofertó la fuente de energía (miel B) a voluntad.

La tecnología de suministro del NUPROVIM a los animales se presenta en la tabla IV.

Tabla IV. Tecnología de suministro del NUPROVIM 10 a los cerdos

Peso vivo (kg)	Número de días	Proteína bruta (kg/día)	NUPROVIM 10 (kg/día)
30-40	7*	0,155	0,435
	7	0,310	0,870
40,5 - 50	14	0,330	0,930
50,5 - 60	14	0,355	1,000
60,5 - 70	14	0,390	1,100
70,5 - 80	14	0,405	1,140
80,5 - 90	14	0,425	1,200
90,5 - 100	22	0,450	1,270
	Total: 106	0,385	1,085

* adaptación

Durante los primeros quince días de estancia de los animales en experimento, estos consumieron pienso de crecimiento (16% de proteína bruta) a razón de 1,8 kg/animal/día. Posteriormente los cerdos se incorporaron a la tecnología de alimentación presentada en la tabla 4, el cambio de la dieta de pienso seco a la ración basada en NUPROVIM 10 y miel B de caña de azúcar se realizó mediante una adaptación lineal de los animales a este tipo de dieta durante una semana. Esta adaptación consistió en el suministro del 50% de la proteína total que debían consumir los animales según el peso vivo indicado en la tecnología de suministro de este nutriente a través del NUPROVIM, mientras que el otro 50% se aportó por la vía del pienso concentrado que ingerían los cerdos antes de ser incorporados a este tipo de ración. El NUPROVIM y el pienso concentrado se ofrecieron mezclados a primera hora en la mañana. Cuando esta mezcla fue totalmente consumida por los cerdos, se ofreció entre 500 y 700 g de miel B/cerdo/día, en dependencia del peso de los animales. Después de concluida la etapa de adaptación a estos animales se les ofreció toda la proteína de la dieta mediante el NUPROVIM, de acuerdo a la tecnología de suministro expuesta en la tabla 4 y la miel B se ofreció a voluntad, según incrementos progresivos de este ingrediente del orden de 200 g/cerdo/día cada vez que no amaneció sobrante en los comederos.

Los suplementos se ofertaron a los cerdos en cantidades tales que como promedio en toda la etapa de prueba, consumieron 385 g de proteína bruta por día, según las recomendaciones del NRC (1998), establecidas para dietas convencionales basadas en cereales.

Diariamente se pesó el sobrante de miel B a primera hora de la mañana para poder controlar el consumo de este ingrediente de la dieta. Los animales se pesaron cada 14 días y se estudiaron los rasgos de comportamiento de los animales hasta el peso de sacrificio (100 kg de peso vivo como promedio).

Los animales se alojaron en corrales individuales de estructura metálica y piso de cemento en una nave abierta y techada. A los cerdos se les garantizó el agua a voluntad mediante bebederos automáticos tipo tetina.

Los análisis bromatológicos de las fuentes de alimento se realizaron según la AOAC (2000). Las medidas estudiadas se analizaron estadísticamente según las recomendaciones de Steel y otros (1997) y se llevó a cabo comparaciones de medias mediante el procedimiento de Duncan (1995) de comparación múltiple de medias, utilizando el paquete estadístico MINITAB (1999).

Resultados y Discusión

Los consumos de materia seca no difirieron cuando se compararon las dietas de NUPROVIM 10 y pienso B + miel B de caña de azúcar, mientras que este índice fue inferior (P< 0.05) cuando se empleó el pienso concentrado. Hubo diferencias significativas (P< 0.001) en las ganancias de peso y (P< 0.01) en los pesos finales, siendo mayores en los animales que ingirieron las dietas de pienso B y de pienso concentrado. Adicionalmente los mejores valores de conversiones alimentarias (P< 0.001) también se obtuvieron para los animales pertenecientes a estos tratamientos.

Como se puede observar en la tabla V, el consumo de materia seca y de miel B en los animales alimentados con NUPROVIM 10 fue superior (P< 0.05) que en los que consumieron el pienso B y esto fue debido a que los niveles de salvado de trigo presentes en la dieta de pienso B fueron garantizando de forma creciente parte de los requerimientos de energía de los cerdos.

Los resultados alcanzados en esta prueba indican que con la utilización de un pienso B de menor calidad que el pienso concentrado se pueden obtener muy buenos índices productivos, estos resultados logrados en este ensayo coinciden con García y Figueroa (1989), Mederos y otros (2002), Quintana (2004), Almaguel y otros (2004), Thompson y otros (2006) y Almaguel y otros (2008), los cuales hallaron que la inclusión de una fuente de fibra de calidad aceptable para animales monogástricos, como el salvado de trigo en la dieta basada en miel B y harina de soya para cerdos en crecimiento-ceba, favorece los rasgos de comportamiento de estos animales. Esto posiblemente sea debido a un mejor ambiente en el ecosistema digestivo, puesto que tanto las mieles de caña de azúcar como el material fibroso, favorecen un rápido tránsito de digesta, particularmente en el intestino grueso de los cerdos, Ly (1996). Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que los niveles de fibra cruda fueron inferiores al 3%, por lo que se encuentran entre los valores aceptables para el NRC (1998). Por otra parte, la contribución del salvado de trigo a la proteína total de la dieta donde se utilizó el pienso B estuvo en el rango del 10 al 30 %, por lo que no se debe haber afectado la digestibilidad del N, coincidiendo así con Eggum (1973).

Tabla V. Rasgos de comportamiento de los cerdos

Indicadores	**Dietas experimentales**			
	Pienso B Miel B	**NUP10 Miel B**	**Pienso Concentrado**	**ES±**
Peso inicial, kg	22,28	22,23	22,22	0,19
Peso final, kg	97,11	99,83[b]	102,38[a]	0,92**
Ganancia de peso, g/día	779[c]	807[b]	853[a]	16,12***
Consumos diarios:				
Pienso B, kg	1,70	-	-	-
NUP 10, kg	-	1,45	-	-
Pienso Con, kg	-	-	2,76	-
Materia seca, kg	2,776[a]	2,807[a]	2,564[b]	0,29*
Miel B	1,612[b]	1,924[a]	-	0,31*
Conversión alimentaria, kg MS/kg ganancia	3,56[a]	3,48[a]	3,01[b]	0,80***
Días de estancia	96	96	94	2,30

P< 0.05, **P <0.01, ***P< 0.001

[abc] Medias sin letra en común en la misma fila difieren a P <0.05 entre sí

Sin embargo es de destacar que los valores en los rasgos de comportamiento animal obtenidos en esta prueba con la utilización de NUPROVIM 10 y pienso B en dietas basadas en miel B de caña de azúcar son resultados muy alentadores que demuestran una vez más que el uso de las mieles de caña de azúcar son una fuente muy favorable en la alimentación alternativa para nuestras condiciones tropicales y una posibilidad para sustituir importaciones de cereales en la alimentación porcina.

Referencias Bibliográficas

AFRIS. (2004), Animal Feed Resources Information Systems. Updated from B Göhl, (1981) Tropical feeds. Food and Agriculture Organization http://www.fao.org./ag/AGa/agap/FRG/AFRIS/DATA/535.htm

Aho, P. (1997), Situación actual y perspectiva de la avicultura mundial y la producción de granos. In: XV Congreso Latinoamericano de Avicultura. Cancún, 112p

Almaguel, R. E., Mederos, C. M. y Torres, Y. (2004), Utilización de diferentes niveles de polvo de arroz en dietas basadas en suplementos y miel enriquecida de caña de azúcar para cerdos en crecimiento – ceba. Revista Computadorizada de Producción Porcina 11(1):57-59

Almaguel, R.E., Mederos, C.M., Cruz, E. y Ly, J. (2008), Utilización de afrecho de trigo en el suplemento proteico para cerdos de engorde alimentados con miel "B" de caña de azúcar. Volume 20, Article # 84. Retrieved July 16, 2008, from http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd20/6/alma20084.htm.

Allee, G. L. y Meyer, W. (1973), Influence of feeding frequency on performance and nitrogen metabolism in gestating swine. Journal of Animal Science 37:273 http://jas.fass.org/cgi/reprint/37/1/227

AOAC. (2000), Oficial Methods of Analysis (17th edition) Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, 2200p

Cuarón, J. A., Chapple, R. P. y Easter, R. A. (1983), Nitrogen metabolism of gravid and no gravid female swine fed every third day. Journal of Animal Science 56:96-100 http://jas.fass.org/cgi/reprint/56/1/96.pdf

Chastanet, F., Pahm, A. A., Pedersen, C. y Stein, H. H. (2007), Effect of feeding schedule on apparent energy and amino acid digestibility by growing pigs. Animal Feed Science and Technology 132:9

Duncan, D. B. (1955), Multiple range and multiple F test. Biometrics 11:1-42

Eggum, B. O. (1973), A study of certain factors influencing protein utilization in rats and pigs. Ph.D. Thesis. National Institute of Animal Science, Copenhagen

Fanimo, A. O., Oduguwa, O. O., Adeschinwa, A. O. K., Owoeye, E. Y. y Babatunde, O. S. (2003), Response of weaner pigs to feed rationing and frequency of feeding. Livestock Research for Rural Development. Volume15 # 6, from http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd15/6/fani156.htm

Figueroa, V. (1996), Producción porcina con cultivos tropicales y reciclaje de nutrientes. Editorial CIPAV. Cali, 212p

Figueroa, V. y Ly, J. (1990), Alimentación Porcina No Convencional a partir de la Caña de Azúcar. Ediciones GEPLACEA, Serie Diversificación. Distrito Federal de México, 215p

Figueroa. V., Maylin, A. y Novo, O. (1991), Efecto de bajos niveles de proteína sobre el comportamiento y las características de la canal de cerdos alimentados con miel B y levadura torula. Livestock Research for Rural Development. Volume 3 # 3, from http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd3/3/cuba2.htm

Friend, D. W. y Cunningham, H. M. (1964), Effects of feeding frequency on metabolism, rte and efficiency of fain and on carcass quality of pigs. Journal of Nutrition 83:251-256

García, A. y Figueroa, V. (1989), Descripción tecnológica de la producción de subproductos de molinería cubanos y su composición bromatológica. Ciencia y Técnica en la Agricultura, Ganado Porcino 2(2):27-42

Hong Van, B. y Thi Men, L. (1991), Feeding of sugar cane juice and A molasses to fattening pigs. In: T R Preston, B Ogle eds. Increasing livestock production by making better use of local resources. Hanoi; AHRI p 83 – 86

Jørgensen, H., Zhao, X., Eggum, B. O. and Zhao, X. Q. (1996), The influence of dietary fiber and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. *British Journal of Nutrition* 75, 365-378

Kass, M. L., Van Soest, P. J., Pond, W. G., Lewis, B. and McDowell, R. E. (1980), Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. I. Apparent digestibility of diet components in specific segments of the gastrointestinal tract. Journal of Animal Science 50, 175-181

Ly, J. (1996), Fisiología Digestiva del Cerdo. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia 119p

Mederos, C. M. (2003), Uso de la caña de azúcar en la alimentación de cerdos. In: Curso Internacional de Ganadería, Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Modelos Alternativos. Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes. La Habana: 6-13

Mederos, C. M., García, A., Almaguel, R. E. y Torres, Y. (2007), Utilización de diferentes niveles del subproducto cubano del trigo en dietas basadas en NUPROVIM y miel B de caña de azúcar para cerdos en crecimiento-ceba. Agrociencia, volumen especial, 97 - 102

Mederos, C. M., García, A., Piloto, J. L., Novo, O., Torres, Y. y Martínez, R. (2002), Perspectivas del uso de las mieles de caña de azúcar en la producción porcina de Cuba. In: XVIII Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. La Habana: 32-36

MINITAB. (1999), Minitab Release 12.23. Minitab Inc. Cary

Nhu Phuc, B. H. y Trong Hieu, L. (1991), A molasses in diets for growing pigs. In: T R Preston, B Ogle eds. Increasing livestock production by making better use of local resources. Hanoi; AHRI p 76 – 79

NRC. (1998), Nutrient Requirements of Swine/Subcommittee on Swine Nutrition. (10th edition) National Academy of Sciences Press. Washington: 111-112

Quintana, J. R. (2004), Utilización de la tecnología de núcleos proteicos, vitaminas y minerales para cerdos en ceba en granjas agropecuarias del MININT. Tesis de Maestro en Producción Porcina. Instituto de Investigaciones Porcinas. La Habana, 115p

Sarria, P. (1990), Utilización de jugo y mieles de caña en la alimentación de cerdos: La experiencia en Colombia. En: GEPLACEA. Sistemas alternativos para alimentación animal. México: GEPLACEA. P. 39 – 50

Schneider, J. D., Tokach, M. D., Dritz, S. S., Nielssen, J. L., Deriuchey, J. M. and Goodband, R. D. (2007), Effects of feeding Schedule on body condition, aggressiveness, and reproductive failure in group housed sows. Journal of Animal Science 85:3462-34569

Steel, R. G. D., Torrie, J. H. and Dickey, M. (1997), Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. Third Edition. McGraw-Hill Book Company In Company. Toronto pp 666

Thompson, D. A. y López, J .L. (2006), Núcleos de proteína, vitaminas y minerales (suplementos) en la ceba de cerdos alimentados con miel final. Revista Computadorizada de Producción Porcina 13(4):11-14

UTILIZACIÓN DE MIELES ENRIQUECIDAS DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ALIMENTACIÓN PORCINA

Carmen María Mederos

Instituto de Investigaciones Porcinas
Carretera Guatao, km. 1 ½, Punta Brava, La Lisa, Ciudad de la Habana, Cuba
Código Postal: 19 200 Teléfonos: 204-4108/ 209-9539 Telefax: 209-9545
Correos Electrónicos: cmederos@iip.co.cu iip00@ceniai.inf.cu iip@enet.cu

Resumen

Se expone el potencial nutritivo de los derivados de la fracción soluble de la caña de azúcar como sustitutos del maíz en dietas para cerdos en crecimiento – ceba y cerdas gestantes, así como un compendio de los principales resultados alcanzados en las investigaciones y pruebas de extensión en condiciones de producción llevadas a cabo en la ultima década. Se plantean las bases conceptuales y factibilidad económica de la tecnología de alimentación basada en mieles enriquecidas de caña de azúcar y núcleos proteicos de vitaminas y minerales (NUPROVIM) para cerdos en crecimiento – ceba y cerdas gestantes, la cual se generaliza actualmente en nuestro país.

Palabras Clave: cerdos en crecimiento ceba, cerdas gestantes, mieles enriquecidas, tecnología de alimentación

Abstract

The nutritional potential of derivatives from the sugar cane soluble fraction is exposed as substitutes of maize in diets for growing and fattening pigs and pregnant sows, as well as a summary of the main results obtained through research and extension trials carried out in production conditions during the last decade. The theoretical bases and economical feasibility are presented for the feeding technology based on sugar cane enriched molasses plus a concentrated containing proteins, vitamins and minerals (NUPROVIM).
This technology is being currently applied throughout our country.

Key Words: growing – fattening pigs, pregnant sows, enriched molasses, feeding technology

Introducción

La mayoría de los países con elevadas producciones de carne de cerdo tienen en general altas producciones de alimentos para estos animales, esencialmente de cereales y de soya.

La producción de carne de cerdo en Cuba evidentemente no debe sustentarse en la importación de cereales, menos aun en el contexto actual en el que internacionalmente se observa una tendencia a transformar estos granos en etanol **(Preston, 2007)**. Por tanto, para que se pueda incrementar esta producción

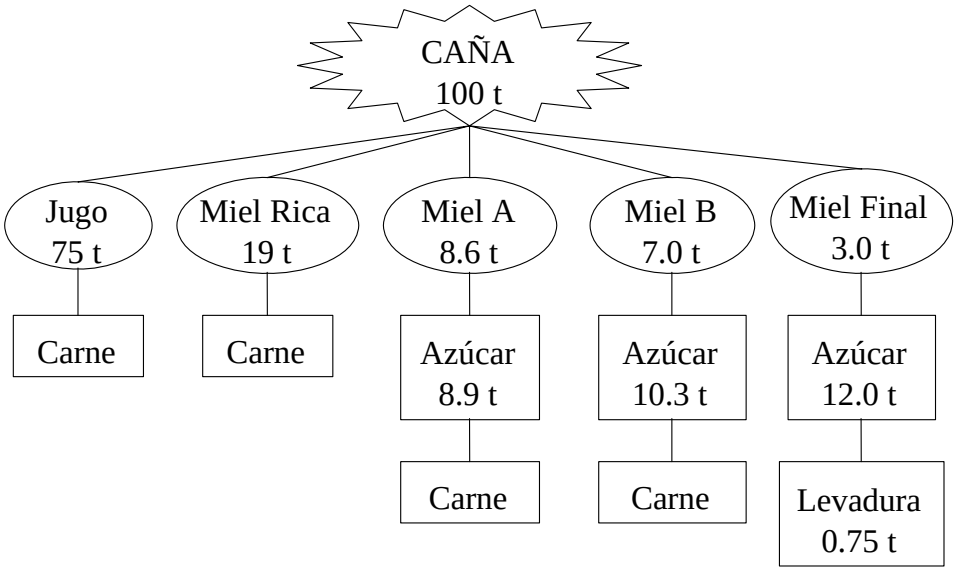
significativamente en los próximos años, se debe disponer de una base alimentaria nacional que respalde este propósito.
Como alternativa viable para los países tropicales se han identificado los derivados de la fracción soluble de la caña de azúcar **(Figueroa y Ly 1990).** Sin embargo, es escasa la información disponible internacionalmente relacionada con la sustitución de cereales por mieles enriquecidas de caña de azúcar en dietas para cerdos en crecimiento – ceba **(Sarria, 1990; Nhu Phu y Trong Hieu, 1991; Hong Van y Thi Men, 1991).**
Sin embargo, en Cuba desde hace casi cuatro décadas se desarrollan investigaciones y pruebas de extensión en condiciones de producción enfocadas a la evaluación técnico económica de un sistema de alimentación basado en mieles enriquecidas de caña de azúcar como sustitutas del maíz en dietas para cerdos en crecimiento – ceba y cerdas gestantes, en la búsqueda de una base alimentaria nacional para esta especie **(Velázquez y Preston, 1970; Velázquez, 1970; Figueroa y Ly 1990; Figueroa, 1996).**
Más recientemente se ha trabajado en una tecnología de alimentación en la que para darle flexibilidad al sistema, la miel enriquecida de caña de azúcar se oferta a los animales de forma independiente al núcleo proteico de vitaminas y minerales (NUPROVIM) de la ración **(Mederos, 2003 a y b).**
El presente trabajo consiste en un compendio de los principales resultados alcanzados durante los últimos años, los que conforman el soporte científico técnico del diseño de la tecnología de alimentación porcina basada en mieles enriquecidas de caña de azúcar y (NUPROVIM) que se generaliza actualmente en nuestro país.

Desarrollo

La fracción soluble de la caña de azúcar en la alimentación porcina.

En la Figura 1 se exponen las diversas alternativas de uso de la fracción soluble de la caña de azúcar con destino a la producción de carne de cerdo a partir de la Industria Azucarera.

Figura 1. Alternativas de uso de la fracción soluble de la caña de azúcar en el ingenio.



Fuente: Figueroa (1996)

Es obvio que la concentración energética y el valor nutritivo de las mieles se ven favorecidas a medida que se realice una menor extracción de azúcares para el consumo humano en el proceso industrial y éstas dejen de ser un subproducto (Miel Final o Melaza), lo cual se refleja claramente en la composición química de las mismas (Tabla I).

Tabla I Composición química de diferentes mieles de caña cubanas

Indicador	Miel Rica	Miel A	Miel B	Miel final
Materia seca	85.0	77.8	78.1	83.5
Nitrógeno	0.26	0.29	0.38	0.44
Cenizas	2.8	4.6	7.2	9.8
Azúcares totales	86.1	75.9	69.5	58.3
Sacarosa	28.6	63.4	57.1	40.2
Glucosa	29.3	6.4	5.2	8.9
Fructosa	28.2	6.1	7.2	9.2
Extracto libre de nitrógeno	95.6	93.0	90.4	87.4
Sustancias orgánicas no identificadas*	9.5	17.1	20.9	29.1
Energía bruta (MJ/kg MS)	15.0	14.9	14.7	13.5
Energía metabolizable (Mj/kg MS)	14.4	-	13.5	11.5

**Extracto libre de nitrógeno menos azúcares totales*
Fuente: Figueroa y Ly (1990)

Como puede observarse, las mieles de caña de azúcar son alimentos esencialmente energéticos y de gran pureza química, ya que están formadas básicamente por el extracto libre de nitrógeno, que no es más que la suma de azúcares totales y otra fracción a la que se le ha denominado sustancias orgánicas no identificadas (SONI), las que son indigestibles y poco utilizadas por los cerdos. La proporción de cada una de estas fracciones cambia significativamente entre los diferentes tipos de mieles. Adicionalmente, las mieles de caña de azúcar son libres de grasa y de fibra, así como el contenido de nitrógeno es muy bajo. La concentración de los azúcares solubles que componen a estas mieles (sacarosa, glucosa y fructosa) disminuye en oposición a las cenizas que se concentran desde la miel rica hasta la miel final. Por otra parte, la energía de las mieles es aproximadamente 20% menor que la de cualquier cereal típico (Figueroa y Ly, 1990).

En la Tabla II se puede apreciar como la concentración energética y el valor nutritivo de estas mieles determina los indicadores de los rasgos de comportamiento de cerdos en crecimiento – ceba (25 – 90 kg peso vivo), así como que mientras más enriquecida en azúcar es la Miel, los resultados son más comparables a los que se obtienen con dietas convencionales basadas en maíz. Resultados similares se obtuvieron mas recientemente al compararse una dieta de maíz – soya con una de miel rica (89.9% de materia seca, 76.8% de azúcares totales y 2.31% de cenizas) – soya con cerdos entre 26 – 90 kg de peso vivo (Hidalgo y otros, 2006).

Tabla II Comportamiento de cerdos en crecimiento – ceba alimentados ad libitum con dietas basadas en maíz o mieles de caña de azúcar.

	Maíz	Miel A	Miel B	Miel Final
Consumo, kg MS/día	2.15	2.51	2.41	2.69
Ganancia, g/día	865	862	813	440
Conversión, kgMS/kg ganancia	2.49	2.91	2.92	6.14

Cerdos machos castrados y hembras de la PIC (Agroceres), entre 27.0 y 90.0 kg de peso vivo
Fuentes: *Piloto y otros (1990) ** Mederos y otros (1997b)

Similares resultados (Tabla III) se obtuvieron con cerditos destetados a los 33 días de edad que fueron alimentados con dietas basadas en Miel Rica o Miel B en comparación con el maíz en la etapa de 8 a 36 kg de peso vivo.

Tabla III Comportamiento de cerdos al destete alimentados ad libitum con dietas basadas en maíz o mieles enriquecidas.

	Maíz	Miel rica	Miel B
Consumo de MS, kg /día	1.24	1.47	1.48
Ganancia de peso, g/día	498	482	437
Conversión, kg MS/kg ganancia	2.49	3.07	3.41

Cerdos machos castrados y hembras YL x DH entre 8.0 y 35.0 kg de peso vivo

Fuente: Mederos y otros (1995)

Obsérvese además como tanto los cerdos más jóvenes como los más adultos alimentados ad libitum en los períodos de crecimiento o crecimiento – ceba respectivamente, tienen que hacer un mayor consumo de materia seca cuando ingieren raciones de mieles enriquecidas (de menor densidad energética) en comparación con las de maíz, para cubrir sus requerimientos de energía, lo que determina que los valores de las conversiones alimentarias en términos de materia seca sean superiores. (Tablas II y III).

Por otra parte, los resultados que se exponen en el Tabla IV indican como la concentración energética y el potencial nutritivo de los diferentes tipos de Mieles determinan también los indicadores de los rasgos del comportamiento reproductivo de las cerdas gestantes. En este caso la calidad de la Miel, mas que el consumo de energía metabolizable (EM), decide sobre la ganancia de peso en la gestación de las cerdas, indicador de extrema importancia para que estas puedan enfrentar adecuadamente la etapa de lactancia sin que se afecten posteriormente su estado físico y los indicadores reproductivos en los próximos partos.

Tabla IV Comparación de diferentes tipos de mieles de caña o maíz como base de alimentación de cerdas gestantes.

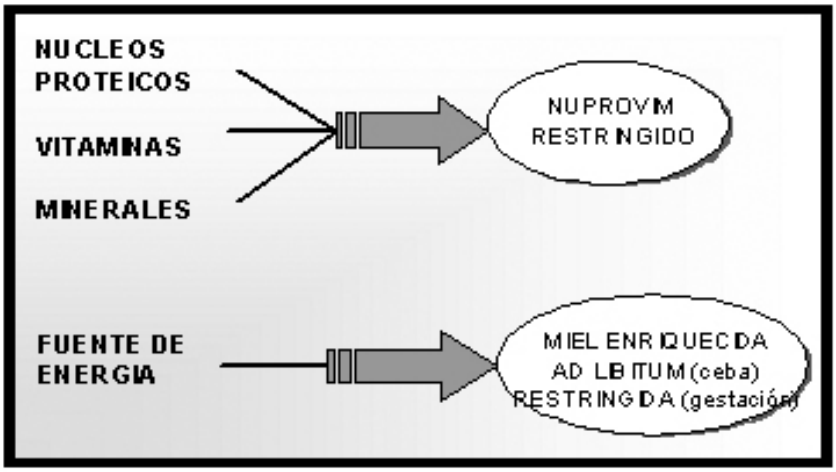
	Maíz	Miel rica	Miel B	Miel final
Consumo MS, kg/día	1.8	1.9	2.0	2.1
Consumo de EM, Mj/día	29.7	29.3	29.5	29.5
Ganancia de Gestación, kg	41.6	42.7	37.4	31.6
Crías nacidas vivas	9.6	9.3	9.5	9.1
Peso al nacer, kg	1.27	1.30	1.28	1.31
EM retenida en la Gestación, % Consumo	79.1	82.4	77.7	64.6

Cerdas de la raza YL

Fuente: Lan y otros (1995)

Más recientemente, desde el año 1996 se vienen realizando diferentes investigaciones y pruebas de extensión en condiciones de producción enfocadas a la adecuación de esta tecnología de alimentación a las actuales condiciones de producción, que exigen de una mayor flexibilidad para poder ser utilizada en los diferentes sistemas productivos existentes en el país, los que abarcan desde el sistema intensivo integral hasta el sistema productivo de pequeña y mediana escala del sector campesino y cooperativo, pasando por diferentes sistemas de producción semi intensivos intermedios.

Tecnología de alimentación basada en NUPROVIM y Mieles Enriquecidas de caña de azúcar



La tecnología de alimentación que se propone actualmente (Mederos y otros 1997a, 1998, 2002b, 2003b) se fundamenta en una forma no convencional de suministro de los nutrientes de la ración a los animales. Consiste en la preparación de un núcleo que contiene todas las fuentes de proteína, vitaminas y minerales que se vayan a emplear en la dieta, al que de forma simplificada se le denomina NUPROVIM. En las diferentes fórmulas de los NUPROVIM la soya aporta entre un 70 y 100% de la proteína total de la ración, mientras que hasta el 30% de este nutriente puede suministrarse por otras fuentes de menor calidad disponibles por parte de los productores (pescado, follajes, granos).

El NUPROVIM se oferta a los cerdos de diferentes categorías a primera hora en la mañana de forma restringida y en cantidad suficiente para satisfacer los requerimientos de los cerdos en cuanto a proteína (aminoácidos esenciales), vitaminas y minerales. El NUPROVIM se suministra a los animales humedecido con agua en una proporción aproximada de 1 parte de NUPROVIM: 1.5 partes de agua, ya que esta mezcla debe quedar con una consistencia de “papilla” y no de “sopa”, para evitar que precipiten los ingredientes insolubles en agua que lo componen. El agua actúa como un extensor al aumentar el volumen del NUPROVIM que constituye aproximadamente 1/3 de la dieta y de esta forma se garantiza que en alojamiento colectivo todo el grupo de animales pertenecientes a un corral ingiera homogéneamente todos los nutrientes de la dieta. Cuando los animales consumen totalmente el NUPROVIM humedecido de forma restringida entonces se les oferta la fuente de energía ad libitum cuando se trate de cerdos en crecimiento - ceba (tecnología de alimentación mixta), mientras que para las cerdas gestantes, vacías y cubiertas (cerdas no paridas) se suministra la fuente de energía también restringida y en cantidad suficiente para satisfacer sus requerimientos de energía. De esta forma se garantiza que los animales nunca dejen sobrante de las fuentes de proteína, vitaminas y minerales, que son los ingredientes más escasos y costosos en nuestras condiciones de producción.

Para la elaboración de las normas de alimentación para las diferentes categorías de cerdos con este tipo de dieta se han tomado en consideración los requerimientos nutricionales propuestos por el NRC (1988) y (1998), respectivamente así como los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en nuestro país. Para las cerdas no paridas se utiliza una norma de alimentación comprendida entre 250 y 280 gramos de proteína bruta/cerda/día (g PB/cerda/día) y 30 megajoules(Mj) de energía metabolizable (EM)/cerda/día.

En el caso de los cerdos en crecimiento - ceba la tecnología de suministro de los NUPROVIM está ajustada a los gramos de proteína bruta (niveles bajo, medio y alto) que deben consumir los cerdos diariamente, de acuerdo a su peso vivo y en dependencia del sistema productivo de que se trate, de las disponibilidades de alimentos de los productores y de las exigencias establecidas para la calidad de la canal y de la carne de los consumidores finales. (Tabla V).

La misma flexibilidad que se le concede a la formulación y al suministro de los NUPROVIM a los animales es la que se le atribuye a la fuente de energía en esta tecnología de alimentación y la selección de esta dependerá de la disponibilidad de alimentos que tengan los productores localmente. Teniendo en cuenta los resultados expuestos anteriormente, las variantes mas recomendables para alcanzar mejores indicadores técnicos y productivos son las Mieles Enriquecidas obtenidas en el proceso industrial del Central Azucarero (Miel Rica, Miel A o Miel B).

Incluso no se puede descartar un concepto aún más amplio de Miel Enriquecida que incluye diferentes proporciones de Miel Final o Melaza mezcladas con otros ingredientes energéticos de aceptable digestibilidad disponibles en las granjas por parte de algunos productores, especialmente campesinos, como la yuca, el boniato, el plátano, el azúcar de barredura procedente del Central Azucarero y otros.

El guarapo o jugo de la caña de azúcar es otra alternativa que puede ser factible para los sistemas productivos de pequeña y mediana escala cuando se trata de una masa de animales relativamente pequeña, así como si no se dispone de un trapiche en la finca, los tallos de caña se pueden picar en trozos pequeños (3 – 5 cm) con un machete, para reducir el esfuerzo del animal en el proceso de masticación para la extracción del jugo.

Tabla V Tecnología de suministro de los NUPROVIM a los cerdos en crecimiento – ceba.

Rango de peso vivo de los cerdos, kg	**Nivel Alto g PB/ día**	**Nivel Medio g PB/ día**	**Nivel Bajo g PB/ día**
15 – 20	260	220	160
20.5 – 30	295	250	180
30.5 – 40	310	265	200
40.5 – 50	330	280	220
50.5 – 60	355	300	230
60.5 – 70	390	330	250
70.5 – 80	405	345	270
80.5 – 90	425	360	280
90.5 – 100	450	380	300
Promedio	**360**	**305**	**235**

Fuente: Mederos y otros (1996)

A continuación se expone una breve síntesis de los principales resultados alcanzados con el empleo de esta tecnología de alimentación en el ganado porcino. En la Tabla VI se resumen un grupo de resultados

obtenidos con cerdos en crecimiento - ceba alimentados con diferentes niveles de proteína a partir de dietas basadas en diversas formulas de NUPROVIM y Mieles Enriquecidas de caña de azúcar.

Tabla VI Comportamiento de cerdos en crecimiento – ceba alimentados con diferentes fórmulas de NUPROVIM y mieles enriquecidas.

Fuentes de alimentos	Ganancia de Peso, g/día	Conversión, kg MS/kg ganancia	Referencia
Miel B Harina de Soya*	599	4.41	Mederos y otros(1998)
Miel B Harina de Soya* Torta de Girasol Rústica*	628	4.03	Mederos y otros(1997a)
Miel Final:Azúcar de barredura Frijol de Soya cocinado*	648	2.93	Mederos y otros(2002b)
Miel Final:Azúcar de barredura Frijol de Soya cocinado**	716	2.59	Mederos y otros(2002b)

Cerdos machos castrados y hembras entre 13 y 95 kg de peso vivo
* NUPROVIM ofertado según un nivel bajo de PB
**NUPROVIM ofertado según un nivel medio de PB

Se pone de manifiesto que cuando se usa esta tecnología de alimentación con un nivel bajo o medio de consumo de proteína en cerdos jóvenes durante el período de crecimiento-ceba se alcanzan indicadores del comportamiento comparables a los que se logran con dietas convencionales basadas en cereales.

Estos resultados al parecer se encuentran relacionados con el hecho de que las Mieles prácticamente carecen de proteína, por lo que este nutriente tiene que ser aportado totalmente por los concentrados proteicos que conforman las diferentes formulas de los NUPROVIM, los que se caracterizan por tener un mejor balance, digestibilidad y disponibilidad de aminoácidos esenciales en comparación con los cereales, los que además de constituir la fuente de energía fundamental de los sistemas convencionales de alimentación porcina, aportan entre un 30 y un 70% de la proteína total de los mismos.

Por otra parte, cuando se utiliza un nivel bajo de PB, los rasgos de comportamiento de los cerdos se favorecen al incluirse en las formulas de los NUPROVIM la torta de girasol rústica (18.4% de Extracto Etéreo BS) o el frijol de soya integral (22.7% de Extracto Etéreo BS) al comparase con los obtenidos con una formula de NUPROVIM basada solamente en harina de soya industrial (desgrasada). Evidentemente, la incorporación de una fuente de aceite vegetal en este tipo de ración favorece la densidad energética de la misma y los animales la utilizan mas eficientemente. En la Tabla VII se muestra como este efecto se hace evidente también al emplearse un nivel alto de consumo de proteína en cerdos en crecimiento-ceba alimentados con formulas de NUPROVIM que tienen diferentes niveles de inclusión de aceite de soya.

Tabla VII Comportamiento de cerdos alimentados con dietas de NUPROVIM* y Miel B con diferentes niveles de aceite de soya.

	NUPROVIM* y Miel B	NUPROVIM* y Miel B + 1.5% Aceite de Soya	NUPROVIM* y Miel B + 2.3% Aceite de Soya
Consumo de MS, kg/día	2.706	2.624	2.653
Consumo de PB, g/día	360	360	360
Consumo de EM, Mi/día	33.46	33.29	34.02
Ganancia de peso, g/día	736	819	821
Conversión, kg MS/ kg ganancia	3.68	3.21	3.23

Cerdos machos castrados YL (Camborough) entre 20 y 100 kg de peso vivo
NUPROVIM = Basado en harina de soya ofertado según un nivel alto de proteína*
Fuente: Mederos y otros (2001)

Adicionalmente, también se señaló con anterioridad que las Mieles Enriquecidas de caña de azúcar son libres de fibra dietética, por lo que se ha estudiado con gran interés su suplementación en este tipo de dieta al emplearse en la alimentación porcina. En Tabla VIII se muestran los principales rasgos de comportamiento de cerdos en crecimiento - ceba alimentados con dietas basadas en Miel B de caña de azúcar y NUPROVIM basado en harina de soya con diferentes niveles de inclusión del Subproducto Cubano del Trigo (mezcla de afrechillo y salvado de trigo que contiene 8.40% de Fibra Cruda en Base Húmeda) o Polvo de Arroz Industrial (con una concentración del 12% de este nutriente) al emplearse consumos altos de proteína.

Estos resultados indican que la inclusión de una fuente de fibra de calidad aceptable como lo son estos Subproductos del Trigo y del Arroz (García y Figueroa, 1989) en niveles de hasta el 23.7% y el 27.4% respectivamente en este tipo de dieta para cerdos en crecimiento – ceba, favorece los rasgos de comportamiento de estos animales. Debe tenerse en cuenta que los niveles de fibra cruda de todas las raciones estudiadas fueron inferiores al 4%, por lo que se encuentran entre los valores aceptados por el NRC (1998) para esta especie monogástrica.

Debe comentarse además que a medida que se incluyeron el Subproducto Cubano del Trigo y el Polvo de Arroz Industrial en la dieta de MB, las heces fecales de los cerdos aumentaron su consistencia, presentándose bolos fecales conformados, resolviéndose la dificultad que se presenta con frecuencia de la presencia de heces líquidas cuando se utilizan dietas de Mieles. Este hecho determinó que el estado higiénico sanitario de los corrales de los animales mejorara significativamente.

Tabla VIII Comportamiento de cerdos alimentados con dietas de NUPROVIM con diferentes niveles de Subproducto Cubano del Trigo (SCT) o Polvo de Arroz (PA) y Miel B.

	NUPROVIM y Miel B	**NUPROVIM y Miel B + 7.1% SCT**	**NUPROVIM y Miel B + 15.4% SCT**	**NUPROVIM y Miel B + 23.7% SCT**
% FC en dieta (BS)	1.83	2.22	2.97	3.63
Consumo de MS, kg/día	2.857	2.935	2.756	2.780
Consumo de PB, g/día	360	360	360	360
Ganancia de peso, g/día	841	850	890	908
Conversión, kgMS/kg ganancia	3.40	3.48	3.11	3.08
	NUPROVIM y Miel B		**NUPROVIM y Miel B + 13.1% PA**	**NUPROVIM y Miel B + 27.4% PA**
% FC en dieta (BS)	1.83		2.20	2.79
Consumo de MS, kg/día	2.805		2.733	2.662
Consumo de PB, g/día	360		360	360
Ganancia de peso, g/día	795		802	859
Conversión, kgMS/kg ganancia	3.50		3.41	3.10

Cerdos machos castrados YL (Camborough) entre 20 y 100 kg de peso vivo
NUPROVIM = Basado en Harina de Soya*
Fuentes: Almaguel y otros (2004), Mederos y otros (2007) y Almaguel y otros (2008)

Resultados que se consideran también adecuados para los sistemas productivos de pequeña y mediana escala del sector campesino y cooperativo se han alcanzado al utilizarse fuentes de alimento de origen foliar como el follaje de plátano (García, 1996) y el forraje de algarrobo (Albizia lebeck) (Mederos y otros, 2000) con concentraciones mas elevadas de fibra (42.2 y 16.8 **%** de fibra cruda en base seca respectivamente) al incluirse en este tipo de raciones en niveles entre el 10 y 20% en base seca en cerdos de esta categoría (Ver Tabla IX). Similar respuesta se obtuvo incluso con cerdos mas jóvenes (aproximadamente 14 – 30 kg de peso vivo) al consumir la harina de follaje de kenaf (Hibiscus cannabinus L) en niveles de hasta el 20% en dietas de miel rica y torta de soya (Piloto y otros, 1994).

Estos materiales vegetales además de aportar algunas fracciones de proteína, constituyen también fuentes de vitaminas y minerales de apreciable calidad, de las cuales existe un déficit en la mayoría de estas producciones.

Adicionalmente en la Tabla IX se expone un resumen de algunos resultados obtenidos en estos sistemas productivos con el uso de esta tecnología en la alimentación de cerdos en crecimiento – ceba, los cuales evidencian su flexibilidad en la implementación.

Por otra parte (Ver Tabla IX), se hace evidente que con cualquiera de las variantes de uso de la fracción soluble de la caña de azúcar como fuente de energía en las raciones de estos animales (incluida la caña troceada en pequeños pedazos), se alcanzan rasgos de comportamiento superiores a los que se obtienen con la utilización de la harina de caña que contiene además a la fracción insoluble (48.4% de Fibra Neutra Detergente en base seca).

Tabla IX Evaluación de la tecnología de alimentación basada en Mieles Enriquecidas y NUPROVIM con cerdos en crecimiento - ceba en el sistema productivo de pequeña y mediana escala.

Variantes tecnológicas	Ganancia de peso g/día	Conversión kg MS/kg ganancia	Sistemas productivos
NUPROVIM-1* Harina de caña	316	-	Estación IIP
NUPROVIM-1* Caña troceada con machete, 3 cm	451	-	Estación IIP
NUPROVIM-10* Miel Final/Follaje de plátano	642	3.87	Estación IIP
NUPROVIM- 1* Miel B/Follaje de Algarrobo	604	3.21	Estación IIP
NUPROVIM-7** Miel Final/Azúcar de Barredura/ Plátano Cocinado	662	4.44	Campesino/Cooperativo
NUPROVIM-7** Miel Final/Azúcar de Barredura/ Boniato Cocinado	658	3.87	Campesino/Cooperativo
NUPROVIM-21* Miel Final/Azúcar de Barredura/ Boniato Cocinado	701	3.94	Campesino/Cooperativo
NUPROVIM-10* Miel B	625	3.24	Campesino/Cooperativo
NUPROVIM-10* Miel A	861	3.65	Campesino/Cooperativo
NUPROVIM-75** Guarapo	718	4.12	Campesino/Cooperativo

Cerdos machos castrados y hembras a partir de 20 kg hasta más de 90 kg de peso vivo

** Basado en Harina de Soya*

***Basados en Harina de Soya y Subproducto Cubano del Trigo*

García y otros (2000), García y otros (2001), García y otros (2002), Mederos y otros (2004), Ramírez y otros (2008)

Adicionalmente, en la Tabla X se muestran los rasgos de comportamiento de cerdos en crecimiento – ceba sometidos a esta tecnología de alimentación en los sistemas productivos semi intensivo e intensivo. De especial interés resultan los indicadores del comportamiento animal que se obtienen cuando se utiliza la formula de NUPROVIM-52 en la que se sustituye el 30% de la proteína que aporta la torta de soya así como todas las vitaminas del complejo B (excepto la B12) de la premezcla minero - vitamínica por la levadura torula obtenida con vinazas de destilería como sustrato (Piloto y otros, 2008). Esta variante tecnológica a la vez que constituye una alternativa para el tratamiento de estos contaminantes altamente agresivos, genera como producto una fuente de proteína de mediana calidad, pero que puede sustituir parcialmente la torta de soya convencional, la que en el contexto actual constituye un factor crítico para la producción porcina por sus altos precios.

Finalmente, es de comentar que cuando en el NUPROVIM se incluye la zeolita (alumino silicato hidratado) como aditivo, el contenido de materia seca de las heces fecales de los cerdos en crecimiento – ceba que consumen miel B se incrementa significativamente (22.1 versus 26.7%), por lo que se logra un efecto similar al descrito en el caso de la inclusión de fibra (Mederos y otros, 1998).

Tabla X Evaluación de la tecnología de alimentación basada en Mieles Enriquecidas y NUPROVIM en cerdos en crecimiento - ceba en los sistemas productivos semi intensivo e intensivo.

Variantes tecnológicas	Ganancia de peso g/día	Conversión kg MS/kg ganancia	Sistemas productivos
NUPROVIM-8*** Miel Final/Azúcar de Barredura	714	4.03	Semi intensivo Bifásico especializado
NUPROVIM-51**** Miel B	643	4.12	Semi intensivo Integral especializado
NUPROVIM-52***** Miel B	756	4.51	Intensivo Integral especializado
NUPROVIM-10* Miel B	750	4.00	Intensivo Integral especializado

Cerdos machos castrados y hembras a partir de 20 kg hasta más de 90 kg de peso vivo

** Basado en Harina de Soya*

**** Basado en Harina de Soya y Polvo de arroz*

*****Basado en Levadura Torula producida con Miel Final como sustrato*

******Basado en Harina de Soya y Levadura Torula producida con Vinazas de destilería como sustrato*

Mederos (2002a), y Piloto y otros (2008)

La tecnología de alimentación basada en NUPROVIM y mieles enriquecidas de caña de azúcar para cerdos en crecimiento – ceba, teniendo en cuenta todas las variantes de alimentación que se han presentado en este trabajo, constituye una alternativa factible desde el punto de vista económico y sostenible para los diferentes sistemas productivos existentes en el país, ya que se abarata el costo de producción de 1 tonelada de carne de cerdo entre $200 y $300 USD, en directa relación con la posibilidad de sustituir totalmente los cereales de la dieta.

Las ventajas técnico económicas del empleo de esta tecnología en la alimentación de cerdas gestantes, vacías y cubiertas en condiciones de producción comercial se muestran el las Tablas XI y XII. Obsérvese que al tratarse de las reproductoras, como son animales adultos con un mayor desarrollo del tracto digestivo y además favorecidas por el anabolismo de la gestación, pueden incluso asimilar de forma aceptable la Miel Final como fuente de energía.

Tabla XI Comportamiento reproductivo de las cerdas alimentadas con Miel Final y NUPROVIM en el sistema productivo semi intensivo comercial (2002 – 2003).

Empresas Porcinas Provinciales	# de reproductoras	Efectividad en la monta	Crías por parto
Pinar del Río	1310	80.5	9.3
La Habana	3551	76.7	9.3
Matanzas	1327	76.6	9.2
Villa Clara	1592	86.0	9.1
Cienfuegos	1387	81.5	9.5
Sancti Spíritus	1954	84.9	9.1
Ciego de Avila	1263	84.7	9.5
Camaguey	1010	86.8	9.1
Las Tunas	1221	85.8	9.4
Holguín	1491	82.6	9.2
Granma	1547	80.2	9.4
Santiago de Cuba	3960	84.6	9.4
Guantánamo	600	80.2	9.9
Isla de la Juventud	945	76.7	9.4
Total	**23158**	**81.99**	**9.35**

Cerdas de la raza YL

Fuente: Cabrera y otros (2004)

Tabla XII Factibilidad económica de la tecnología de alimentación basada en Miel Final y NUPROVIM en cerdas gestantes, vacías y cubiertas (2002- 2003).

	Tipo de Dieta		
	Alimento Concentrado	**Miel Final NUPROVIM* - 7**	**Diferencia**
Reproductoras en el sistema semi intensivo comercial	23158	23158	-
Partos/reproductora/año	1.98	1.98	-
Costo de la dieta por reproductora en cada gestación, USD	48.64	28.72	19.92
Costo de la dieta del total de reproductoras gestantes a nivel nacional, USD	2230282.10	1316893.60	913388.50
Reducción del costo, %	-	41.00	

NUPROVIM = Basado en harina de soya y subproducto cubano del trigo*

Fuente: Cabrera y otros (2004)

Conclusiones

Los estudios que se han desarrollado en nuestro país sobre la evaluación técnico económica al emplearse la tecnología de alimentación basada en mieles enriquecidas de caña de azúcar y NUPROVIM en cerdos en crecimiento – ceba y cerdas gestantes indican su factibilidad, ya que se reducen de forma significativa los costos de producción y se garantiza que entre el 55 y el 65% de los alimentos para estas categorías porcinas (que consumen aproximadamente el 70% del total de los alimentos del rebaño) sean de producción nacional, lo cual permite una reducción significativa de la importación de cereales.

Referencias bibliográficas

Almaguel, R. E., Mederos, C. M., Torres Y. (2004). Rev. Comp. Prod. Porcina, 11(1), 57-59.

Almaguel, R. E., Mederos, C. M,, Cruz E., Ly, J. (2008). Livestock Research for Rural Development 20 (6) File:D: /LRRDJune2008/alma20084.htm .

Cabrera, Y., Mederos, C. M., García, A. (2004). En: Forum Nacional de Ciencia y Técnica, Premio Relevante, Ciudad Habana, 38 p.

Figueroa. V. (1996). Producción porcina con cultivos tropicales y reciclaje de nutrientes. (Academia ed.) pp 192.

Figueroa, V., Ly, J. (1990). Alimentación porcina no convencional. (GEPLACEA. Serie Diversificación ed.) pp 215.

García, A. (1996). Rev. Comp. Prod. Porcina 3(2), 68-75.

García, A., Figueroa, V. (1989). Cienc. Téc. Agric. Ganado Porcino 2(2), 27-42.

García, M. D., Mederos, C. M., García, A., González, E. (2000). Rev. Comp. Prod. Porcina 7(2), 26-31.

García, M. D., Mederos, C. M., García, A. (2002). Utilización de concentrados proteicos (NUPROVIM) y mieles de caña para cerdos en sistema productivos no especializados. En: CD Convención de Porcicultura, 2da. 18 Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. Memorias, p 281 – 285.

García, M. D., Mederos C. M., García, A., González, E., Lemus, F., Sánchez, E. (2001). Extensión de la tecnología de alimentación basada en núcleos proteicos de vitaminas y minerales (NUPROVIM) y mieles enriquecidas de caña de azúcar para cerdos en crecimiento – ceba en condiciones de producción no especializada. En: XVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA), La Habana, Resúmenes, (9) p 75.

Hidalgo, K., Lezcano, P., Valdivié, M., Rodríguez, Y. (2006). Rev. cubana Cienc. Agríc. 40, 449-453.

Hong Van, B., Thi Men, L. (1991). Feeding of sugar cane juice and A molasses to fattening pigs. In: T R Preston, B Ogle eds. Increasing livestock production by making better use of local resources. Hanoi; AHRI p 83 – 86.

Lan, J. A. (1995). Utilización de mieles de caña de azúcar en la alimentación de cerdas durante el desarrollo y la gestación. [Inédito] Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, 163 p.

Mederos, C. M. (2002a). Perspectivas del uso de las mieles de caña de azúcar en la producción porcina de Cuba. Simposio En: CD Convención de Porcicultura, 2da. 18 Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. Memorias, 18-22 Noviembre del 2002. p 32-36.

Mederos, C. M. (2003 a). Uso de la caña de azúcar en la alimentación de cerdos. En: Curso Internacional de Ganadería, Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente: Modelos Alternativos, Módulo III. La Habana: Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes, Cuba – NCTR/International Agricultural Centre (IAC), Holanda P 6-13.

Mederos, C. M. (2003 b). Revista ACPA 2, p. 40-44.

Mederos, C. M., Figueroa, V., García, A., Alemán, E., Martínez, R. M., Ly, J. (2004). Livestock Research for Rural Development 16 (3) http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrdhome.html .

Mederos, C. M., Figueroa, V., García, A., Piloto, J. L. (1995). Rev. Comp. Prod Porcina 2(3), 47-55.

Mederos, C. M., Figueroa, V., Piloto, J. L., Prieto, N., Muniz, M., Martinez, R. M. (1996). Rev. Comp. Prod. Porcina 3(1), 35-44
Mederos, C. M., Figueroa, V., Prieto, N., Macías, M., Martínez, R. M. (1997ª). Rev. Comp. Prod. Porcina 4(1), 38-45.
Mederos, C. M., Figueroa, V., Prieto, N., Martínez, R. M. (1998). Rev. Comp. Prod. Porcina 5(1), 31-37.
Mederos, C. M., García, A., Almaguel, R. E., Torres, Y. (2007). Agrociencia. Vol. Especial IX Encuentro de Nutrición y Producción en Animales Monogástricos. Conferencia. Montevideo (Uruguay): p. 97-102.
Mederos, C. M., García, A., Piloto, J. L., Novo, O., Torres, Y., Martínez, R. M. (2001). Utilización de diferentes niveles de aceite de soya en dietas basadas en NUPROVIM y Miel B de caña de azúcar para cerdos en crecimiento – ceba En: XVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA), La Habana. Resúmenes P. 67-68.
Mederos, C. M., Martínez, R. M., Muñiz, M. (1997b). Uso de la miel final de caña de azúcar en dietas con bajos niveles de proteína para cerdos en ceba. En: Porcicultura'97 LaHabana, Resúmenes, P. 22-23.
Mederos, C. M., Martínez, R. M., Rodríguez, M., Acción, L. (2000). Rev. Comp. Prod. Porcina 7(1),17-25.
Mederos, C. M., Pérez, J. M., Piloto, J. L., Alemán, E., Martínez, R. M. (2002 b). Livestock Research for Rural Development 14 (6) http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrdhome.html .
Nhu Phuc, B. H., Trong Hieu L. (1991). A Molasses in diets for growing pigs. In: T R Preston, B Ogle eds. Increasing livestock production by making better use of local resources. Hanoi; AHRI p 76 – 79.
NRC. 1988. Nutrient Requirements of Swine. National Research Council (9th ed). (National Academy Press. ed.) Washington DC pp 93.
NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. National Research Council (10tm edition). (National Academy Press ed.) Washington DC pp 189.
Piloto, J. L., Carvalho, F., Ferreira, A. J., Figueroa, V. (1990). Sustitución de la harina de soya por levadura Saccharomyces en la ceba de cerdos con dietas de mieles intermedias A y En: XII Reunión Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). Campinas, Brasil.
Piloto, J. L., Mederos, C. M., Almaguel, R., Camino, Y., Tolón, N. (2008). Utilización de levadura torula obtenida a partir de vinazas como fuente de vitaminas del complejo B en dietas basadas en miel B de caña de azúcar para cerdos en crecimiento ceba. En: CD Seminario Internacional Porcicultura Tropical 2008, Poster de Alimentación y Producción de Alimentos, Memorias, Ciudad Habana, p 360 – 362.
Piloto, J. L., Mederos, C. M., Vinent, E. (1994). Rev. Comp. Prod. Porcina 1(1), 53 - 60.
Preston, T. R. (2007). Revista ACPA 1, p 35 – 41.
Ramírez, J., Valdés, R., Ponce, O. J., González, L., Mederos, C. M., Brache, F. (2008). Utilización de Miel B, jugo de caña de azúcar o sirope de fructosa y NUPROVIM en dietas para cerdos en crecimiento – ceba en el sistema productivo campesino. En: CD Seminario Internacional Porcicultura Tropical 2008, Posters de Alimentación y Producción de Alimentos, Memorias, Ciudad Habana, p 367 – 370.
Sarría, P., Solano, A., Preston, T. R. (1990). Livestock Research for Rural Development 2(2), 1-10.
Velázquez, M. (1970). Uso de mieles en la alimentación de puercos en crecimiento. Tesis (Maestría en Ciencias Agrícolas) La Habana, Instituto de Ciencia Animal. 42 p.
Velázquez, M., Preston, T.R. (1970). Rev. cubana Cienc. Agric. 4, 61 – 69.

POTENCIALIDADES PRODUCTIVAS DE CUBA 10, UNA ALTERNATIVA DE EXPLOTACIÓN EN EL SECTOR AGROPECUARIO.

Autores: Ana Nelis San Juan, Yoel Hernández[1], Georgina Michelena, Maria Antonia Brizuela, Pastor López, Eulalia Gómez, Angela O. Díaz y Dayamy Borges.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana CP 11000, Cuba
E-mail: cuba10@enet.cu

1 Autor para la correspondencia.

RESUMEN

La estabilidad mundial se encuentra amenazada por los conflictos que puedan desencadenar la crisis alimentaria, situación que puede ser evitada siempre que se adopten medidas urgentes. Cuba ha tomado una series de medidas para responder a los graves desafíos planteados por la actual crisis alimentaria, fundamentalmente el MINAZ promueve el incremento de producción de alimento mediante alternativas locales y a corto plazo. Teniendo en cuenta estos aspectos la dirección Cuba 10, perteneciente al ICIDCA propone sus potencialidades productivas para su explotación en el sector agropecuario. Cuba 10 dispone de una instalación que puede funcionar como planta multipropósito de producción biotecnológica demostrativa para la producción de Bioproductos, donde se pueden producir hasta 38 toneladas de PROBICID (probiótico bacterias lácticas para la alimentación de animales monogástricos) producción que abarcaría demandas de MINAZ y 25 000 Litros de BIOENRAIZ (bioestimulante cuyo principio activo lo constituye fundamentalmente ácido indolacético) que cubriría demandas en cultivos específicos de siembra por esquejes y vitroplantas. En evaluación económica preliminar de la rentabilidad de la inversión de la planta para la producción fue evaluada por los indicadores, (VAN) y la (TIR), considerando 10 años de vida útil para una tasa de interés de un 10%, se obtuvo que se logra recuperar la inversión en el 3er año de puesta en marcha. Otra alternativa lo constituye la planta para la producción de formulados para alimento animal a partir de subproductos de la agroindustria azucarera, fundamentalmente bloques multinutricionales, esta planta tiene una capacidad de 3 toneladas diarias. En esta planta ya se realizó una producción obteniéndose resultados satisfactorios.

Palabras clave: Producción agropecuaria, PROBICID, BIOENRAIZ, Bloques Multinutricionales

ABSTRACT

The worldwide stability is threatened by conflicts that may trigger an alimentary crisis; this situation may be avoided by taking urgent measures. The Cuban government has taken several measures as a response to the grave challenges presented by the present-day situation. The MINAZ promotes the food production increment by local and short-term alternatives. Taking these aspects into account the Cuba 10 direction, belonged to ICIDCA, proposes its productive potentialities for its exploitation at the agricultural sector. Cuba 10 counts with an installation that may function as a demonstrative multipurpose biotechnological plant for Bioproducts's production. 38 tons of PROBICID (pro-biotic milk bacteria for mono-gastric animals'

nutrition) may be produced at this plant which would cover the MINAZ requirements, besides, 25000 Liters of BIOENRAIZ (bio-stimulant constitutes fundamentally by indolacetic acid) may also be produced for covering the necessities of specific cultures of planting for cuttings and vitro-plants. A preliminary economic evaluation of the investment profitability of the production plant was carried out by using VAN and TIR indicators, considering 10 years of service life for a 10 %'s interest rate, it was obtained that it is managed to recover the investment in 3 years. The plant for production of formulas for animal food from by-products of the sugar agroindustry, fundamentally multinutritional blocks, constitutes another alternative provided for this institution, with a capability of 3 daily tons. A successful production has already been carried out at this plant.

Key words: Agricultural production, PROBICID, BIOENRAIZ, Multinutricional Blocks

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos en Cuba es una misión imperiosa ante el alza de los precios de esos productos en el mundo, esta realidad impacta en los mercados internos de la mayoría de los países de nuestra región y del mundo, afectando directamente a la población, en particular a los más pobres, y llevando a la indigencia a millones de personas. Teniendo en cuenta estos aspectos, establecer estrategias que permitan consolidar la seguridad alimentaria y reducir las importaciones son tareas altamente priorizadas para el país. Granma Internacional Digital: http://www.granma.cu/. 18 de mayo 2008

El Ministerio de la Industria Azucarera (MINAZ) se proyecta en potenciar la producción de alimentos, fortaleciendo la tarea de reconvertir áreas antes dedicadas al cultivo de la caña a la producción de alimentos, e incrementar la producción de alimento animal, mediante diferentes programas que persiguen como objetivo principal favorecer la economía del país y en muchos casos la sustitución de importaciones. http://www.granma.cuba web. cu/ 9 de julio 2008

El Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) prácticamente desde su fundación ha trabajado en el desarrollo de productos para la alimentación animal que han tenido diferentes grados de introducción en la práctica social. Algunos de estos productos fueron diseñados como sustitución de algún componente en el pienso o como complemento en la alimentación animal, como es el caso del PROBICID y los bloques multinutricionales.

Como apoyo al reclamo actual del MINAZ para intensificación de la producción de alimento, se propone activar capacidades productivas existentes en Cuba 10, como unidades de producciones demostrativas para el sector agropecuario.

DESARROLLO

La Dirección Cuba 10, perteneciente al Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, fue inaugurada en el año 1983, presenta 25 años de explotación y entrega de resultados introducidos en la agroindustria azucarera y no cañera.

Su misión actual es el desarrollo de procesos biotecnológicos y alimento animal, trabajando fundamentalmente en la investigación, prestación de servicios a la investigación y producciones demostrativas. Cuenta con 6 investigadores, 24 técnicos de nivel medio, 13 obreros calificados, personal de servicios administrativos, para un total de 44 trabajadores.

La instalación se encuentra ubicada en áreas del Consejo Popular "Pablo Noriega", Municipio de Quivicán, Provincia La Habana, 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.

Sus instalaciones lo conforman dos plantas, una de capacidad piloto que brinda servicios científicos técnicos a la investigación y pequeñas producciones demostrativas y otra que por las capacidades fermentativas puede ser considerada de producción semiindustrial y un área de tratamiento de residuos fibrosos, donde se ha instalado una planta para la producción de alimento animal, fundamentalmente bloques multinutricionales, la infraestructura cuenta además con un laboratorio de microbiología, 2 laboratorios de análisis químico, taller de mecánica, taller electrónica, salón de reuniones, teatro y oficinas.

Teniendo en cuenta las capacidades que puedan ser explotadas de la instalación Cuba 10 como alternativa de impulsar la producción local y nacional de alimentos se proponen las siguientes líneas productivas:

1. Planta multipropósito de producción biotecnológica demostrativa para la producción de Bioproductos útiles en el sector agropecuario.

2. Planta para la producción de formulados para alimento animal a partir de de la agroindustria azucarera, fundamentalmente bloques multinutricionales.

Estas alternativas persiguen los siguientes objetivos:

- Contribuir al incremento de alimentos para humanos y/o animal sustentados en la utilización de las materias primas y subproductos de la agroindustria azucarera haciéndolos compatibles con la política de protección del medio ambiente.
- Sustituir importaciones de bioproductos con una demanda deprimida por las restricciones económicas de importación.
- Introducir en la práctica social tecnologías desarrolladas en el ICIDCA.
- Establecer nuevos procesos industriales para la producción de bioproductos agrícolas.

Descripción de las plantas

1. Planta multipropósito de producción biotecnológica demostrativa para la producción de Bioproductos útiles en el sector agropecuario.

El ICIDCA ha desarrollado y comprobado a nivel semicomercial diferentes tecnologías para la producción de bioproductos, que se caracterizan por su alto valor agregado para usos en el sector agropecuario, teniendo en cuenta el estado actual de las tecnologías, se proponen en una primera fase la producción de PROBICID y BIOENRAIZ, por encontrarse en fase de introducción comercial.

PROBICID: preparado probiótico de bacterias lácticas para la alimentación de animales monogástricos. Se define como un aditivo alimentario el cuál beneficia al animal hospedero mejorando el balance de la flora gastrointestinal y por consiguiente favorece la eliminación de microorganismos patógenos. Incrementa la eficiencia de conversión de los alimentos y reduce la morbilidad y la mortalidad. Sustituye el uso de antibióticos como promotores del crecimiento. El agente activo está constituido por la bacteria láctica *Lactobacillus rhamnosus* LB/103-1-5 a una concentración de $10^{10} – 10^{11}$ UFC/ g producto. (Brizuela, M. A. y otros 2002)

Se encuentra registrado en el Registro General de Productos para la Alimentación Animal, posee licencia de Producción y comercialización, así como certificado de Libre Venta, además la planta de Cuba 10 se encuentra certificada para su producción.

BIOENRAIZ® (ácido indolacético): Bioestimulante que se obtiene mediante cultivo sumergido empleando una cepa de *Rhyzobium sp.* aislada de suelos de caña de azúca, el principio activo del producto lo constituye el Acido Indol acético con una concentración entre 100 – 120 mg/L. (Altuna, B., 2006)

Producto Registrado en el Registro Central de Fertilizantes de Cuba, cuenta con patente aprobada y registro de marca
Ambos productos han sido escalados en la planta de Cuba 10, así como la producción de lotes demostrativos, encontrándose validados hasta producción en fermentador de 500 L de capacidad.

Detalles tecnológicos

Se propone una planta flexible que cumpla con los requisitos de seguridad biológica para las producciones a gran escala con microorganismos de grado de riesgo II que opere de acuerdo a planificación de producción por campañas, realizando lotes continuos de producción.

El proceso tecnológico para la producción de PROBICID y BIOENRAIZ fue extrapolado hasta los niveles asimilados por la planta propuesta, en una primera etapa a corto plazo la puesta en marcha de los fermentadores de 2m3 y 5 m3 de capacidad total y en una segunda etapa la reanimación de otro fermentador de 5m3 lo cual permitiría un incremento en la eficiencia global de la producción.

En la primera etapa, se dispondrá de una planta con una capacidad máxima de 744 m^3/a, de medio de cultivo fermentado en 300 días de trabajo, este nivel posibilitaría una capacidad de producción de 22 toneladas de PROBICID, lo cual permitiría cubrir demanadas del MINAZ y 25 000 L de BIOENRAIZ que cubriría demandas en cultivos específicos de siembra por esquejes y vitroplantas

El flujo tecnológico para la producción de estos bioproductos requiere de las siguientes sesiones:

Sección 1.- Propagación de los microorganismos utilizados en el proceso
Sección 2.- Preparación y tratamientos de materias primas y materiales
Sección 3.- Fermentación
Sección 4.- Recobrado y Secado
Sección 5.- Envase y almacenamiento
Sección 6.- Sistemas auxiliares
Sección 7.- Sistemas de residuales

Tabla I. Estado Técnico por sesiones de la planta de producciones biotecnológicas de Cuba 10.

Sesiones	Estado Actual
Propagación de los microorganismos utilizados en el proceso	Instalación civil completa y algunos equipos
Preparación y tratamientos de materias primas y materiales	Capacidad de recepción de miel final de caña de 50 Toneladas, 2 tanques con capacidad de 500 litros para la dosificación para el control de pH y limpieza de los equipos tecnológicos de la planta.
Fermentación	Fermentador 25 litros construcción nacional (Activo) Fermentador 150 litros construcción nacional. (Activo) Fermentador 2 m^3 (Completar instrumentación) Fermentadores 5 m^3. (Prueba dinámica) Fermentadores 5 m^3. (sin instalar)
Recobrado y Secado	**Separación:** Centrifuga continua de disco "Alfa Laval" de 5 m^3 capacidad. (completamiento del panel de control) Centrifuga semicontinua "Sharpless" 17 000 rpm. Capacidad del cilindro 6 kg . **Secado:** Secador "spray" 20 kg/h de capacidad
Envase y almacenamiento	No se dispone de equipos para envasar productos. Almacenamiento de materias primas y producto terminado: Existen los locales
Sistemas auxiliares	Máquinas de enfriamiento de agua. Capacidad total de 16 ton, 10 m^3 de 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 (Inactivo) Generador de vapor. (Inactivo)
Sistema de residuales	En esta planta se obtienen 3 corrientes efluentes: - La primera constituida por las aguas de limpieza de los equipos - La segunda formada por los permeados de las etapas de separación y purificación en el caso de tecnologías donde no se requiera procesamiento posterior. - La tercera corriente son los materiales sólidos residuales que deben ser cremados. La carga orgánica de estas corrientes, excepto la tercera es baja, por lo que podrán ser dispuestas en el mismo sistema utilizado para los efluentes de Cuba 10.

La instalación propuesta fue inaugurada en el año 1983, presentando 25 años de explotación y entrega de resultados introducidos en la agroindustria azucarera y no cañera, la propuesta de inserción en el programa alimentario requiere de una inversión para el completamiento y acondicionamiento de acuerdo a requerimientos de seguridad biológica.

Evaluación Económica Preliminar

Costo de Inversión.

Los cálculos realizados para la obtención del Capital fijo de inversión necesario para que la planta biotecnologica de Cuba 10 cumpla con las condiciones técnicas para la producción de PROBICID y BIOENRAIZ, arrojaron un estimado de **$**375 000 pesos Moneda Total de ellos 314 250 CUC**.**

Análisis preliminar del flujo de caja de la alternativa de producción propuesta

El análisis se realizó solamente para la producción de PROBICID bioproducto de mayor complejidad en el flujo tecnológico, el costo de producción se estimó tomando como referencia la información del documento "Anteproyecto tecnológico para la producción de PROBICID seco" (Almazan y otros, 2001) y Blanco,G. y Herriman, M (2003) y el precio de venta se evaluó mediante ficha de costo teniendo en cuenta los costos de materias primas y materiales reportados en el listado de precios suministrados por el MINAZ para el desarrollo de fichas de costos para el 2007.

La rentabilidad de la inversión de la planta para la producción de PROBICID fue evaluada por los indicadores, Valor actual Neto (VAN) y por la Tasa Interna del rendimiento (TIR), considerando 10 años de vida útil para una tasa de interés de un 10%, lográndose recuperar la inversión en el 3er año de puesta en marcha, obteniendo importantes ganancias por concepto de venta.

El VAN obtenido es de $ **$667.913,55** al cabo de los 10 años y una TIR de 50% lo cual se considera aceptable, ya que para este tipo de industria debe estar por encima del 25%.

2. Planta para la producción de formulados para alimento animal a partir de la agroindustria azucarera, fundamentalmente bloques multinutricionales.

El bloque multinutricional (BM) es un suplemento alimenticio, balanceado en forma sólida que facilita el suministro de diversas sustancias nutritivas en forma lenta, que además de incorporar nitrógeno no proteico (NNP) que está en la urea, excretas o amoniaco puede incorporar otros elementos nutricionales como carbohidratos solubles, minerales y proteína verdadera (CIPAV,1987).

Los BM sirven como alimentación estratégica durante la época seca, resultando en un mejoramiento de la ganancia de peso vivo, o en casos extremos en una reducción de pérdida de peso. Pueden servir también para suplir elementos nutritivos fundamentales y para mejorar la eficiencia de uso del forraje aun cuando no haya escasez de alimento.

Los bloques multinutricionales producidos en condiciones artesanales en las instalaciones de Cuba 10 han sido evaluados con resultados muy satisfactorios. López, P. (2002)

Características de la planta

La planta de producción de B.M. es compacta y se encuentra dividida en 4 Áreas:
Área de almacenamiento
Área de proceso
Área de embalaje y almacenamiento del producto final
Área auxiliar

La planta tiene estimado una capacidad de producción de 3 toneladas diarias. 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 ese realiza a través de equipos transportadores. 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 se dosifica a través de una tolva al mezclador, disminuyendo en gran medida el contacto de los operadores con los gases que despide la reacción del proceso. El sistema de prensado esta compuesto por una prensa hidráulica, 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. En la figura 1 se brinda una imagen de esta planta.

Figura 1. Planta para la producción de formulados para alimento animal, fundamentalmente bloques multinutricionales de Cuba 10.

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, posibilidad que brinda versatilidad a la planta en la obtención de otros alimentos sobre la base tratamiento de fibras y mezclado de diferentes complementos.

Cuba 10 cuenta con la Ingeniería Básica para el montaje de una planta de producción de Bloques Multinutricionales, donde se muestra las posibilidades de la alimentación de animales con la utilización de producto, los parámetros técnicos de los mismos así como una planta típica para su producción, se estiman alternativas en el uso de diferentes materias primas, parámetros tecnológicos, datos técnicos de calidad de materias primas y producto final con la consecuente información para montar una planta.

CONCLUSIONES

1. Se propone la planta de fermentaciones existente en Cuba 10 como planta de producciones biotecnológicas demostrativas para la producción de PROBICID y BIOENRAIZ, bioproductos útiles en el sector agropecuario.
2. La planta de producciones biotecnológicas presenta una capacidad de producción de hasta 38 toneladas de PROBICID producción que abarcaría demandas de MINAZ y 25 000 Litros cubriendo demandas en cultivos específicos de siembra por esquejes y vitroplantas.
3. La evaluación técnico económica preliminar para las condiciones de activación de la planta de producción biotecnológicas de Cuba 10 se considera factible, considerando 10 años de vida útil para una tasa de interés de un 10%, lográndose recuperar la inversión en el 3er año de puesta en marcha, obteniendo importantes ganancias por concepto de venta.
4. La puesta en marcha de la planta para la producción de formulados para alimento animal a partir de la agroindustria azucarera, fundamentalmente bloques multinutricionales, se presenta como otra alternativa de apoyo al programa de producción de alimento dentro del MINAZ.
5. 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 BIBLIOGRÁFICAS

1. Chaveco, O. (2008), Obtener alimentos deviene misión de prioridad hoy en Cuba http://www.granma.cuba web.cu/ La Habana, domingo 18 de mayo de 2008. Año 12 / Número 139 y http://www.ain.cu/ (Consulta: 12/06/08)
2. Revitalizará el MINAZ producciones derivadas. http://www.granma.cuba web. cu/. La Habana, 9 de julio de 2008. Año 12/ Numero 190. (Consulta: 17/06/08)
3. Altuna, B., Michelena, G. (2006), Evaluación de diferentes sistemas de fermentación para la producción de ácido indol-acético por *Rhizobium* sp. Revista ICIDCA 40, No.3, 45-50.
4. Brizuela, M. A. y otros (2002), Procedimiento biotecnológico para la obtención de aditivos alimentarios integrales, para su aplicación en la producción animal. Informe de proyecto 00300239. Programa Biotecnología Agropecuaria
5. Boletín digital de geprop Ministerio de ciencia, tecnología y medio ambiente. (2008), www.geprop.cu. Volumen 1 N º 7
6. Birbe, B. E. Chacón A. y otros (1994), Aspectos físicos de importancia en la fabricación y utilización de bloques multinutricionales. Folleto del Curso sobre Bloques Multinutricionales. I Conferencia Internacional. UNELLEZ. p. 1-14.
7. Boscán, R. (1991), Bloques nutricionales y su influencia en la salud, producción y reproducción del ganado lechero. Boletín Agropecuario INDULAC. Mayo 29-30. Santa Barbara, Venezuela.
8. Chacón, E. (1991), Principios de manejo y utilización de pasturas con animales. En: Manejo y utilización de pasturas para producción de bovinos. CECOTUP- Asamblea Legislativa. Maturin, Ven. p. 1-24.
9. Combellas, J. (1994), Influencia de los bloques multinutrientes sobre la respuesta productiva de bovinos. Folleto del curso sobre bloques multinutricionales. I. Conferencia Internacional. UNELLEZ. p. 67-71.
10. Cabello, A. (2002). Los sistemas agroalimentarios actuales y la caña de azúcar: un análisis comparativo.. La Habana: ICIDCA. 156p.
11. Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. (2000) Ciudad Habana, Cuba. 485p.
12. López, P., Campo, F., Echevarria, J. (2002). Productos para la alimentación animal a partir de la agroindustria azucarera. Memorias Tomo II. Congreso Internacional sobre azúcar y derivados de la caña. La Habana. Cuba. pp 310-313.

PRODUCCIONES ANTIANÉMICAS A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DE SUSTRATOS AZUCAREROS COMO COMPLEMENTOS NUTRITIVOS

Antonio Bell*, Georgina Michelena*, Emilia Carrera*, Graciela Cerutti**, Mónica Coronel**, Alejandra Michel**, María Paola Muratore**, Bettina Heredia Alemán**, Ana María Santana Sánchez**, Gracia Rivas Montes**

*ICIDCA, Vía Blanca 807 esq. a Carretera Central, P.O. Box 4026, C. Habana, Cuba; georgina.michelena@icidca.edu.cu
** Cátedra Análisis Farmacéuticos, Instituto de Farmacia, Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia. Universidad Nacional de Tucumán.

RESUMEN

El presente trabajo describe las experiencias en los estudios de obtención de antianémicos a partir del aprovechamiento de sustratos azucareros, específicamente derivados de dextranas y ácido láctico. Se logró el diseño de procesos de tres antianémicos, uno de ellos con introducción industrial.
El complejo inyectable de hierro dextrana partió de la obtención de dextranas de bajo peso molecular por hidrólisis química, un nuevo procedimiento de síntesis del complejo hierro dextrana y la purificación y evaporación del complejo. El proceso fue escalado a nivel industrial. Los ensayos químicos, biológicos y toxicológicos avalaron el producto.
Se obtuvo la formulación de un comprimido de hierro dextrana oral de liberación controlada y su caracterización conllevó a análisis de peso seco, dureza, friabilidad, espesor, solubilidad, concentración del principio activo por absorción atómica, ensayos sensoriales y organolépticos y estabilidad, todos con resultados satisfactorios.
Igualmente, se estudió la síntesis del lactato ferroso a nivel de laboratorio obteniendo un producto cuyas características químicas comparó favorablemente con el comercial de importación.
En general, se resume los esfuerzos dirigidos a la satisfacción de las demandas de la industria médico-farmacéutica de medicamentos de este tipo que complementan necesidades nutritivas veterinarias y humanas, utilizando la diversificación de la caña.

Palabras clave: *Antianemicos, Hierro dextrana, Lactato ferroso, Diversificacion*

ABSTRACT

The experiences in the obtaining of antianemics products are shown in this work. The design of processes of three products: iron dextran injectable and oral complex and lactate ferrous were achieved, one of them with industrial introduction.
The injectable complex of iron dextran was produced by dextran hydrolysis and a new procedure of synthesis and the purification. The process was scale up at industrial level. The chemical, biological and toxicological tests were realized.

The formulation of a tablet of iron oral dextran of controlled liberation was obtained and its characterization of dry weight, hardness, friability, thickness, solubility, concentration of the active principle for atomic absorption, sensorial test and stability, all with satisfactory results.
Equally, the ferrous lactate synthesis to laboratory level was obtained. A product whose characteristic chemical compared favorably with the commercial of import was achieved.
In general, the efforts directed to the satisfaction of the demands of the pharmaceutical industry of medications with supplement veterinary and human nutritious necessities, using the diversification of the cane is summarized.

Key words*: Antianemics, Iron dextran complex, Ferrous lactate, Diversification.*

INTRODUCCION

Los avances biotecnológicos han posibilitado el desarrollo de numerosos estudios en la producción y caracterización de polímeros de origen microbiano (biopolímeros), destacándose los polisacáridos y particularmente las dextranas y los derivados de ácido láctico. Estos compuestos son utilizados en diferentes áreas de ciencia y técnica, petroquímica, alimentación, química aplicada y ciencias farmacéuticas y médicas (Bernal, 1997).
El complejo hierro-dextrana y el lactato ferroso son dos de estos productos de amplia difusión y utilización en la prevención y terapia de la anemia causada por la deficiencia de hierro en mamíferos, fundamentalmente en la cría intensiva de cerdos y en la fortificación nutracéutica humana.
El hierro (Fe) es el componente esencial de la hemoglobina. Cuando el hierro es insuficiente, se presenta en el organismo un proceso anémico y como resultado reduce su vitalidad y aumenta la susceptibilidad a las enfermedades. Estos productos garantizan que el hierro administrado sea asimilable, permitiendo al ión férrico su fácil y rápida absorción por el organismo y sirviendo la parte orgánica de vehículo que permita portar y controlar su efecto.
La escasez de este nutriente se origina porque la persona no recibe a través de la dieta la cantidad necesaria de Fe para cubrir sus requerimientos (desnutrición) debido al incremento de sus necesidades como ocurre en niños, embarazadas y ancianos o porque una combinación inadecuada de los alimentos no le permite aprovechar todo el Fe que éstos contienen (biodisponibilidad reducida). Estas afecciones pueden ser prevenidas o tratadas mediante la administración oral o parenteral de mezclas sinergistas a base de Fe, ampliamente utilizadas en la práctica médica y veterinaria. Actualmente se llevan a cabo investigaciones tendientes a obtener nuevas moléculas capaces de incorporar en el interior de su estructura a fármacos de acción terapéutica conocida, con la finalidad de aumentar el tiempo de vida media de los fármacos en sangre y propiciar la acción sostenida o prolongada, reduciendo las dosis terapéuticas y mejorando la posología (número de tomas diarias a administrar).
Por otro lado, el déficit de nutrientes en poblaciones específicas y otros factores como el estilo de vida, la actividad física reducida, los cambios demográficos y el envejecimiento de la población han dado lugar a numerosos problemas nutricionales (Krause, 2004). Por ello, las tecnologías actuales en el desarrollo de fármacos y alimentos exhiben nuevas perspectivas encaminadas a mejorar su acción en el organismo a través de mecanismos de acción controlada.
La dextrana es un producto derivado de la industria azucarera; sintetizada por la enzima dextransacarasa empleando como sustrato la sacarosa de la caña de azúcar. Esta enzima es producida extracelularmente por los géneros *Lactobacillus, Leuconostoc y Streptococcus.* La especie comúnmente empleada en la producción comercial de dextrano de alto PM (2.000.000 Da) en USA y en Europa es *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-512F (Bell, 1980). En Cuba, se usa la cepa autóctona *Leuconostoc* ssp B110-1-2 que permite su empleo como sistema matricial en la elaboración de formulaciones farmacéuticas de liberación controlada que poseen principios activos con efectos hipotensores.

Para la síntesis de dextrano se emplean dos procesos biotecnológicos diferentes, uno convencional donde la producción ocurre durante el crecimiento microbiano y la síntesis enzimática. Este procedimiento se aplica a escala mundial permitiendo el control de distintas variables: pH, temperatura, velocidad de agitación, control de nutrientes y optimización de los rendimientos (Alsop, 1983). La dextrana clínica se obtiene por reducción del PM de la dextrana bruta mediante hidrólisis ácida, ultrasonido o restricción enzimática.
En la década del 40, se propuso a la dextrana clínica como sustituto del plasma sanguíneo (Buckley, 1992). Se identificaron dos importantes propiedades: su *estructura molecular la convierte en un soporte inerte y resulta completamente metabolizable por el organismo*. En 1954, se produjo el primer complejo de dextrana con hierro al 5% para el tratamiento de anemias y años después su uso fue recomendado para aumentar la velocidad de crecimiento de los cerdos (Bugnowski, 1974), estableciéndose mundialmente el programa de inyección de Fe a cerdos y expandiéndose a otros mamíferos (Green, 1993), incluyendo al hombre.
Por otra parte, en los últimos años se ha hecho énfasis en la necesidad del uso de nutracéuticos como ingredientes (aditivos alimentarios) donde se suministre Fe, Ca, vitaminas y otros minerales a través de la ingesta de alimentos. En algunos casos la evidencia científica sobre los beneficios en la salud humana es tan sólida y reconocida por la comunidad científica internacional que los compuestos han sido avalados por agencias regulatorias gubernamentales como la Administración de Alimentos y Drogas (FDA). Por otro lado, como su consumo ha sido asociado con la prevención y tratamiento de enfermedades, se propone su inclusión como alimentos funcionales. Entre ellos se incluyen los alimentos enriquecidos o modificados (yogures fermentados con cultivos probióticos, leche enriquecida con calcio, margarinas enriquecidas con fitoesteroles y huevos ricos en ácidos grasos omega 3, bebidas de soja y otros) (Taranto, 2003). La mayoría de los alimentos funcionales en desarrollo se dirigen a la prevención de enfermedades cardiovasculares, la prevención del cáncer, la mejora de la función intestinal y el fortalecimiento del sistema inmune (Tojo Sierra, 2003).

Producción del complejo Hierro dextrana inyectable veterinario.
El proceso para la obtención del Complejo Hierro-dextrana, se divide en tres etapas:

Obtención del hidrolizado de dextrana
El hidrolizado de dextrana se obtiene en un reactor esmaltado en el cual se añade agua desionizada, dextrana, HCl y N_aOH para su posterior neutralización. El curso de la hidrólisis se evalúa por viscosidad relativa. El hidrolizado obtenido es filtrado en un filtro prensa de placas y marcos utilizando dicalite como precapa y ayuda filtrante.

Obtención del hidróxido de hierro
El hidróxido de hierro se forma mediante la reacción de la solución de Na_2CO_3 y la solución de $FeCL_3$ $.6H_2O$. Una vez formado el hidróxido de hierro, se realizan los lavados continuos para la reducción de los iones con agua desionizada en centrífuga decantadora donde se obtiene el hidróxido con un 51-57 % de humedad.

Obtención del Complejo hierro-dextrana
La formación del Complejo hierro-dextrana se realiza en un reactor esmaltado en el cual se añade el hidrolizado de dextrana y el hidróxido férrico obtenidos en las etapas anteriores, se le añade ácido cítrico como estabilizador, NaOH, HCl y fenol como preservante. El producto obtenido se centrifuga y se concentra hasta el 5% Fe para su posterior envase y esterilización.

Características del producto final
El producto está constituido por una solución coloidal estéril inyectable de baja viscosidad y color pardo rojizo con ión férrico estabilizado por una matriz de bajo peso molecular. Se usa como antianémico en todos los mamíferos criados en granjas e indispensables en lechones.

Apariencia	líquido carmelita oscuro ligeramente viscoso
pH	5.2 - 6.5
Contenido Fe (%)	9.5 – 10.5
Contenido de Dextrana (%)	12.0 – 17.0
Contenido de Cloruro (%)	0.7 – 1.2
Residuos no Volátiles (%)	24 – 32
Pirógenos	Pasa USP XXIII
Toxicidad Aguda	Pasa USP XXIII
Conteo Microbiano	libre de microorganismos patógenos Menos de 50 microorganismos aeróbicos por *ml*
Gravedad Específica	1.0 – 1.2
Viscosidad Relativa	Menos de 20 *cp* a 25 *ºC*

Producción de comprimidos Hierro dextrana oral de uso humano.
Por otra parte, se desarrollaron comprimidos matriciales para uso oral en humanos utilizando dextrana hierro como fármaco. El proceso de mezcla se realizó en una mezcladora (Turbula GmbH, Basilea, Germany) adicionando el complejo de dextrana hierro, ácido ascórbico y lactosa de compresión directa durante 30 minutos, y se humectó con una solución de Polivinilpirrolidona (PVP) y alcohol de 96°. Las mezclas obtenidas se pasaron por un granulador oscilante provisto de malla 18 y se colocaron en bandejas para secar en estufa con circulación de aire a una temperatura no mayor de 50° C. Finalmente, el granulado homogéneo se mezcló con talco y estearato de magnesio y se mezcló durante 30 minutos. Las mezclas obtenidas se sometieron a compresión en una máquina de comprimir excéntrica (Banal A-300). Se elaboraron los lotes de comprimidos y se realizaron los ensayos de control analítico y de evaluación de propiedades físico-mecánicas de acuerdo a los requerimientos farmacéuticos (Iraizoz , 1990; USP, 1990)

Los resultados de la evaluación física y de algunas propiedades físico-mecánicas de los comprimidos correspondientes a tres lotes producidos se presentan en la Tabla I y II.

Tabla I. Propiedades físicas de los comprimidos de dextrana hierro oral para humanos.

Lote Nº	Caracteres organolépticos			Uniformidad de peso		Forma - Tamaño	
	Olor	Sabor	Color	Desv % indiv.	Desv % lote	Diámetro	Espesor
1	Persistente a fenol	Amargo	Marrón con puntos blancos	2 comp. exceden el 5% y ninguno el 10%	2,71	Uniforme 1,220 cm	Uniforme 0,530 cm
2	Persistente a fenol y frambuesa	Amargo	Marrón con puntos blancos	Más de 2 comp. exceden el 10 %	4,14	Uniforme 1,220 cm	Uniforme 0,530 cm
3	Leve a fenol y frambuesa	Amargo	Marrón con puntos blancos	Ningún comp. excede el % especificado	2,50	Uniforme 1,220 cm	Uniforme 0,530 cm

Tabla II.Propiedades químico- físicas de los comprimidos de dextrana hierro oral para humanos.

Lote Nº	Pruebas de dureza		Disgregación
	Friabilidad Pérdida	Resistencia	
1	2,25 g% (1 comp. se rompe)	5,00 Kg fuerza	8,5 min.
2	2,46 g% (1 comp. se rompe)	8,88 Kg fuerza	10 min.
3	2,20 g%	7,00 Kg fuerza	15 min.

De las Tablas I y II se observa un mejoramiento de las propiedades físicas y físico-mecánicas lote a lote, logrando en el lote No. 3 mejorar los caracteres organolépticos, unificar el peso, disminuir el % de pérdida por friabilidad y optimizar la resistencia a la presión. Al analizar cada una de las propiedades del lote No. 3 y compararlas con las establecidas por Farmacopea (USP, 1990) para comprimidos se puede concluir de forma general, que estos se encuentran dentro de los límites permisibles.

Los comprimidos de dextrana con hierro oral para humanos presentaron las características descritas en la Tabla III.

Tabla III. Composición química de los comprimidos de dextrana hierro.

Complejo dextrano hierro, mg	474
Acido ascórbico, mg	100
Lactosa de compresión directa, mg	100
Talco, mg	6.74
Estearato de magnesio, mg	6.74
Polivinilpirrolidona 15%	
Peso Teórico aproximado:, mg	687.55
	Desviación: 90% - 110%

Las propiedades indicadas en la Tabla III permitieron establecer la formulación seleccionada, logrando un peso uniforme y una posología que permite la administración diaria del comprimido. La apariencia final del comprimido se observa en la Figura 1.

Figura 1. *Vista del comprimido oral resultante. Comparación visual con el complejo de hierro dextrana inyectable.*

Ensayos químicos, biológicos y clínicos de los productos de hierro dextrana

Para comparar la estructura química del complejo con los comerciales establecidos se caracterizaron las muestras del comprimido oral de uso humano y el del complejo veterinario inyectable realizadas en el ICIDCA con los comerciales Inferon de uso humano y el Imposil de uso veterinario, ambas de la firma FISON, así como una muestra bien caracterizada de oxihidróxido de hierro ß-FeOOH, mediante la difracción de rayos X, espectroscopías Infrarroja y de Mossbauer. Los espectros se presentan en la Figura 2.

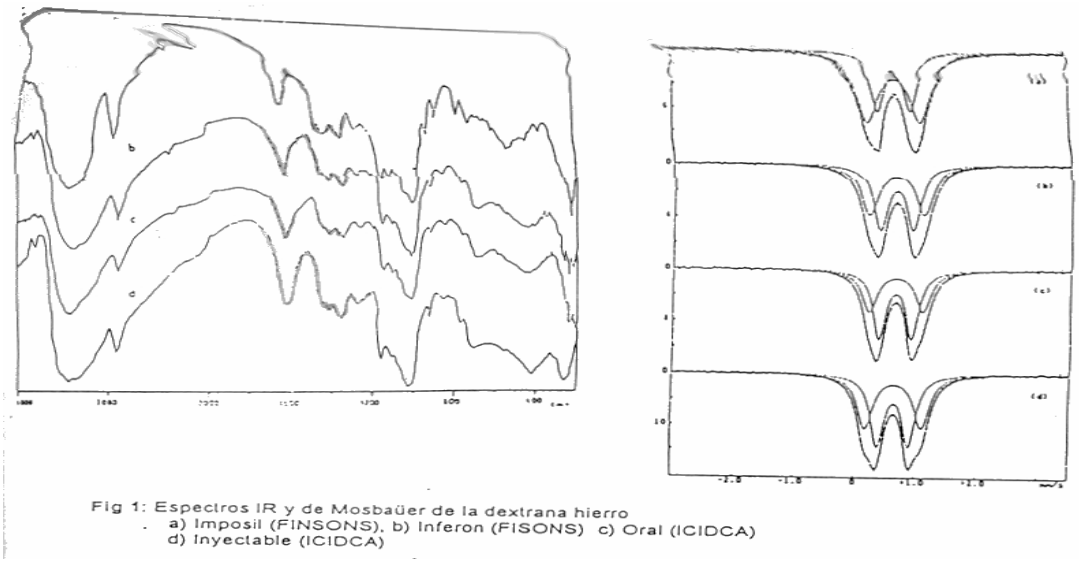


Fig 1: Espectros IR y de Mosbaüer de la dextrana hierro
a) Imposil (FINSONS), b) Inferon (FISONS) c) Oral (ICIDCA)
d) Inyectable (ICIDCA)

Figura 2. Estudio espectrográfico de los complejos comerciales a)Imposil, b)Inferon, c)comprimido de hierro dextrana oral, d)complejo de hierro dextrana inyectable.

Se determinó que todas las hierro-dextranas estudiadas tienen la misma naturaleza química y por tanto el producto nacional no difiere estructuralmente a los patrones de importación. De igual manera, la fase portadora de hierro se identificó en todos los casos como el ß-FeOOH.

Con el objetivo de comparar la efectividad y determinar posibles afectaciones del formulado por administración inyectable u oral para su uso veterinario e incluso en humanos, se realizó el siguiente estudio:

- Grado de irritación que ocasiona la dextrana-hierro oral sobre la mucosa gástrica.

- Estudio de bioequivalencia comparada entre el $FeSO_4.7H_2O$ y la dextrana férrica en perros Beagle.

- Toxicidad aguda (vía oral) en ratones.

Los resultados mostraron las siguientes conclusiones:

- la dextrana férrica muestra irritabilidad gástrica mínima.

- la dextrana férrica posee una biodisponibilidad del 83.86% en comparación con una solución oral de sulfato ferroso en la especie animal estudiada.

- En la Tabla IV se reflejan los resultados del cálculo de la DL50 para la Dextrana-Hierro. Considerando la DL50 determinada, podemos ubicar al producto en la categoría de debilmente tóxico (Ecobichon, 1992). Su toxicidad es aproximadamente 23 veces inferior al de las sales inorgánicas de hierro en alrededor de 460 veces superior a las dosis terapéuticas usuales por lo que su margen de seguridad es altamente elevado.

Tabla IV Resultado del ensayo de toxicología aguda.

Dosis mg/Kg	Letalidad	%	
1000	1	10,6	
1500	6	60,0	DL84=1824.43
2000	10	97,11	DL16=1078.76
DL50	1402,9 mg/kg		
Lim. Superior	1765,93 mg/kg		
Lim. Inferior	1114,50 mg/kg		

Ensayos clínicos con la dextrana inyectable en cerdos mostraron que no se produce en el período de tiempo analizado, ningún comportamiento anormal, sin presentar ninguna alteración ni complicación de salud. La compatibilidad general del preparado, en razón de los exámenes clínicos y patológicos-anatómicos se clasificó por los especialistas de buena. Los aumentos de peso y hemoglobina lograda son altamente significativos y avalan la calidad del producto nacional.

Dextrana Hierro Inyectable (producto nacional)

Animales	Kg medias			Hb medias	
	Inicial	10 días	30 días	10 días	30 días
9	1.4	3.0	5.4	9.1	12.9
16	1.3	3.0	4.9	9.2	11.9

Dextrana Hierro Inyectable importado

Animales	Kg medias			Hb medias	
	Inicial	14 días	40 días	14 días	40 días
11	1.8	4.3	8.3	8.9	12.4
10	2.4	5.9	7.4	9.2	12.3
9	1.6	4.7	9.2	8.2	11.8
10	1.8	5.6	9.5	8.9	12.3

Estudios a nivel de laboratorio de la obtención de lactato ferroso para la fortificación de alimentos infantiles.

El procedimiento de reacción consistió en obtener la sal de lactato de bario. En este proceso se desprende cloruro de hidrógeno gaseoso por lo que es necesario trabajarlo en campana de extracción de gases o colocar una trampa en el esquema del reactor. El lactato de bario formado se hace reaccionar con sulfato ferroso para que ocurra el intercambio catiónico ión ferroso- bárico y se obtiene la sal de lactato ferroso que queda en solución y precipita el sulfato de bario.

El sulfato de bario ($BaSO_4$) puede ser utilizado como material de relleno para los productos de caucho, en pintura, en el linóleo y de una forma, opaca a los rayos X, se usa para examinar por rayos X el sistema gastrointestinal.

La ecuación química que describe el proceso es la mostrada en la ec. 2 y 3.

$2C_3H_6O_3 + BaCl_2 \cdot 2H_20 = (C_3H_5O_3)_2Ba + 2HCl + 2H_2O$ *(ec. 2)*

$(C_3H_5O_3)_2Ba + FeSO_4 \cdot 7H_20 = (C_3H_5O_3)_2Fe + BaSO_4\ (s) + 7H_20$ *(ec. 3)*

El proceso transcurrió de acuerdo a la siguiente secuencia de operaciones:

a. Preparación de los reactivos de acuerdo a las concentraciones y volúmenes.
b. Adición lenta de la solución de $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ sobre el ácido láctico y medición del pH de los vapores desprendidos. La reacción ocurrió a temperatura controlada a 60^0C para favorecer el escape del HCl(g).
c. Adición de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ y obtención de un precipitado que corresponde con la sal de $BaSO_4$.
d. Separación del sulfato de bario por decantación y filtración.
e. Concentración del filtrado buscando sobresaturación del lactato ferroso para su cristalización.
f. Lavado del cristalizado con solvente, secado y pesado.
g. Caracterización del producto mediante análisis químico e instrumental.
h. Determinación del rendimiento de reacción por pesada de la masa seca del $BaSO_4$ y el lactato ferroso.

La Tabla V presenta las características químicas que permiten comparar el producto obtenido en este estudio con el comercial, situando el de factura nacional adecuado según los requerimientos exigidos.

Tabla V. Especificaciones químicas del producto de síntesis en relación con un producto comercial.

Ensayo	Especificaciones	
	Este estudio	Comercial
Forma		Polvo
color		
Pureza estereoquímica (L-isómero)		>96 %
Contenido de hierro		19-20 %
Hierro ferroso		18%
Humedad		< 15 %
Sal cálcica		<1,2 %
Materiales pesados		< 50 ppm
pH (2 g en 98 g de agua)		4.0 - 6.0
Levaduras		<100 colonias/g
Bacterias mesofílicas		< 1000 colonias/g
Mohos		<100 colonias/g

Conclusiones

Se diseñaron procedimientos tecnológicos para la elaboración de tres antianémicos: dos de ellos a partir del complejo hierro dextrana y otro a partir del ácido láctico.
El complejo inyectable de hierro dextrana partió de la obtención de dextranas de bajo peso molecular por hidrólisis química, un nuevo procedimiento de síntesis del complejo hierro dextrana y la purificación y evaporación del complejo. El proceso fue escalado a nivel industrial. Los ensayos químicos, biológicos y toxicológicos avalaron el producto.
El estudio tecnológico y farmacológico para la formulación de un comprimido de hierro dextrana oral de liberación controlada constituye un resultado novedoso por no tener antecedentes en la literatura. La caracterización farmacológica del producto conllevó a análisis de peso seco, dureza, friabilidad, espesor, solubilidad, concentración del principio activo por absorción atómica, ensayos sensoriales y organolépticos y estabilidad, todos con resultados satisfactorios. Con esta formulación se cumplieron los controles físico-químicos y microbiológicos indicados por la farmacopea USP XXII, Argentina VII y otras farmacopeas internacionales, se obtuvieron excelentes propiedades tecnológicas manifestadas en la optimización de la resistencia a la presión, la disminución del % de pérdida por friabilidad y una satisfactoria cinética de disolución.
Se estudió la síntesis del lactato ferroso a nivel de laboratorio obteniendo un producto cuyas características químicas comparó favorablemente con el comercial de importación.

Referencias bibliográfícas

Alsop R. M. "Industrial Production of Dextrans." Progress in Industrial Microbiology. Vol 18, ed. M. E. Bushel, Elsevier, 11-44, 1983.Bell A., García A. (1980)"Dextrana y sus derivados". Cap XXIX Los derivados de la caña de azúcar". Editorial Científico-Técnica.
Bernal G. (1987) "Producción y usos de polímeros microbiales". Subdirección de Investigaciones Bibliográficas y Económicas, ICIDCA.
Buckley P. (1992) Dextran- 50 years "Abstract Journal. Intennational Sientific Sevices. 26th annual volume, 1.
Bugnowski H., Wohlfarth E., Hesse V. (1974) Sonderduck. 13, (6),.
Ecobichon D.J.The Basic of Toxicological testing CRC. Press Inc., USA, 1992.
Green L. E., Beniatua E., Morgan K. L. (1993) Research in Veterinary Science. 54: 306-311.
Iraizoz A., Bilbao O., Barrios M.A., (1990), *Tecnología farmacéutica*, 359, 363-4
Krause M. “Nutricion y Dietoterapia”. Editorial Mc Graw Hill 10ma edicion Mexico 2004
Taranto A. (2003) *Journal of Bacteriology*, 185: 5643-5647.
Tojo Sierra R., Leis Trabazo R. (2003) “Alimentos Funcionales. Su papel en la nutrición preventiva y curativa.” Boletín de la Sociedad de Pediatría de Asturias, Cantabria, Castilla y León, 43: 376-395.
United State Pharmacopoeia Convention. 22 ed. Easton: Mack Printing, 1990: 388-9, 1710-12.

ENSAYOS *"IN VITRO"* DE LAS POTENCIALIDADES PROBIÓTICAS DE CEPAS DE LEVADURA PARA SU USO COMO ADITIVO ALIMENTARIO.

Heidy Pérez*[(1)], Grizel Delgado*, Gisela de Armas*, María A. Brizuela*, Keyla Tortoló*

*Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
[(1)] e.mail: heidy.perez@icidca.edu.cu

RESUMEN

Las levaduras usadas como aditivos probióticos, incluyen los géneros *Saccharomyces, Kluyveromyces y Candida.* Dichas cepas poseen características fisiológicas esenciales para su supervivencia en el tracto gastrointestinal.

El objetivo del trabajo es la evaluación y selección de cuatro cepas de levadura de los géneros *Saccharomyces* y *Kluyveromyces*, utilizando como criterios de selección aquellas características que le confieren carácter probiótico a las mismas.

Los estudios mostraron que todas las cepas evaluadas presentaron capacidad de crecimiento hasta temperaturas de 43^0C, resistencia a concentraciones de bilis de 0.15%, a elevada acidez (pH 2) y capacidad de recuperación del crecimiento después de la exposición a condiciones drásticas de temperatura y acidez, mientras que solo se detectó producción de proteasas en la cepa de *Kluyveromyces fragilis* L/12-8-**6**.

Estos resultados evidenciaron las potencialidades probióticas de las cepas, definiéndose el mejor comportamiento para la cepa de *Kluyveromyces fragilis* L/12-8-**6**, la cual manifestó las mejores cualidades para su empleo como probiótico, por lo que fue seleccionada para continuar los estudios de obtención de un preparado probiótico.

Se determinó la cinética de crecimiento de las cepas a nivel de zaranda, alcanzando velocidades específicas de crecimiento que no difieren entre géneros de 0.3 h^{-1} y 0.4 h^{-1}, en *Saccharomyces* y *Kluyveromyces* respectivamente. A escala de fermentador de 5L la cepa *K. fragilis* 6 mostró los mejores parámetros productivos ($\bar{\mu}$=0.61 h^{-1}, rendimiento: 0.51 g biomasa/g de azúcares reductores (como glucosa), productividad: 1.22 $g.L^{-1}.h^{-1}$), al comparar con la cepa patrón *Saccharomyces cerevisiae* L/25-7-**82**. Considerando el comportamiento cinético y las características probióticas evaluadas, se seleccionó la cepa *Kluyveromyces fragilis* L/12-8-**6** con vistas al desarrollo de un aditivo alimentario probiótico de levadura viva.

Palabras claves: Probiótico, levaduras, mecanismo de acción, tracto gastrointestinal

ABSTRACT

The yeasts used as probiotics additives, include the genera *Saccharomyces*, *Kluyveromyces* and *Candida*. These strains possess physiologic characteristic essential for their survival in the gastrointestinal tract.
The objective of the work is the evaluation, characterization and selection of four strains of yeast of the genera *Saccharomyces* and *Kluyveromyces*, using as selection approaches those characteristics that confer

them probiotic characteristic to the same ones.

The studies showed that all the evaluated strains presented capacity of growth until temperatures of 43^0C, resistance to concentrations of bile of 0.15%, to high acidity (pH 2) and capacity of recovery of the growth after the exposition to drastic conditions of temperature and acidity, while alone proteases production was detected in the strain *Kluyveromyces fragilis* L/12-8-**6**. These results evidenced the potential of the strains as probiotics, being defined the best behavior for the strain *Kluyveromyces fragilis* L/12-8-**6**, which manifested the best qualities for their employment as probiotic, for what was selected to continue the studies of obtaining of a prepared probiotic.
The kinetics of growth was determined from the strains to shaker level, reaching specific rate of growth that not different between genera of 0.3 h^{-1} and 0.4 h^{-1}, in *Saccharomyces* and *Kluyveromyces* respectively. At 5 L biorreactor scale the strain *K. fragilis* 6 showed the best productive parameters (μ= 0.61 h^{-1}, yield: 0.51 g biomass/g of sugars reducers (as glucose), productivity: 1.22 $g.L^{-1}.h^{-1}$), when comparing with the pattern strain *Saccharomyces cerevisiae* L/25-7-**82**. Considering the kinetic behavior and the probiotics characteristic evaluated, the strain *Kluyveromyces fragilis* L/12-8-**6** was selected with a view to the development of a preservative alimentary probiotic of alive yeast.

Key words: Probiotic, yeasts, mechanisms of action, gastrointestinal tract

INTRODUCCIÓN

La diarrea post-destete es una de las causas más importantes de enfermedades y de pérdidas económicas en la producción porcina. Entre las alteraciones que se producen y predisponen a la aparición de las diarreas se encuentra el estrés producto del efecto del destete, lo cual trae aparejado cambios drásticos en la biota intestinal de los animales. Estos desequilibrios de la biota generalmente conducen a la proliferación de gérmenes patógenos indeseables como *Clostridium difficile*, provocando la enfermedad (Meier y cols., 2003; Alvarez y Oberhelman, 2001).

El empleo de probióticos, en contraposición a los antibióticos, es una alternativa inocua para controlar los desequilibrios en el tracto gastrointestinal en situaciones de estrés. Los probióticos son preparaciones de microorganismos definidos, conocidos, viables y en cantidades suficientes para alterar la microbiota en algunos de los compartimentos del hospedero, ejerciendo un efecto beneficioso sobre la salud (Schrezenmeir y de Vrese, 2001). Se ha descrito como una alternativa, el uso de levaduras vivas o los derivados de sus paredes, tanto en animales monogástricos como rumiantes, incluyendo especies acuícolas (Tovar y cols., 2000) con efectos que incrementan los parámetros productivos, mejoran los procesos de la fisiología digestiva, la actividad de microbios beneficiosos, la digestibilidad de los nutrientes y el estado sanitario, así como la actividad inmunoestimulante.

Según Kumura y cols., 2004; Campeanu y cols., 2002; Bovill y cols., 2001 y Coenen y cols., 2000 las cepas de levadura más informadas en su empleo como probióticos pertenecen a los géneros *Saccharomyces*, *Kluyveromyces*, *Hansenula, Pichia* y *Candida* y las especies *S. boulardii*, *S. cerevisiae*, *K. fragilis, K. lactis, C. saitoana* y *C. pintolopesii* (Bekatorou y cols., 2006; Leuschner y cols., 2004), las cuales son consideradas como microorganismos GRAS y utilizadas como aditivos alimentarios.

La especie *Saccharomyces boulardii*, reconocida como líder, es la única levadura comercializada como probiótico en medicina humana (Martins y cols., 2005), agente bioterapéutico con resultados sistemáticamente positivos en estudios aleatorios y controlados, que demuestran su eficacia en la prevención

de diarreas de diversa etiología, lo que ha permitido demostrar los beneficios que reporta el empleo de probióticos no bacterianos.

Los microorganismos que componen los aditivos probióticos no bacterianos presentan un amplio espectro de acción, lo cual es indispensable para su buen funcionamiento y efectividad, ya que no forman parte de la microbiota intestinal de animales y humanos y bajo condiciones normales no colonizan permanentemente el tracto gastrointestinal cuando son administrados oralmente (Bekatorou y cols., 2006). Entre estos mecanismos se agrupan: capacidad de producción de enzimas, resistencia a bajos pH, a bilis y crecimiento a temperaturas definidas (37^0C y 43^0C). Adicionalmente cuentan con otras actividades específicas tales como el efecto antisecretor contra las toxinas de los microorganismos patógenos y el efecto trófico en la mucosa intestinal.

Debido a la importancia del tema en el tratamiento de diarreas recurrentes en animales, el objetivo de las investigaciones estuvo dirigido a evaluar y seleccionar diferentes cepas de levadura, con vistas a su empleo potencial en preparaciones probióticas a partir de levaduras vivas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cultivos de cepas de levadura

Cultivos puros de las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* L/25-7-**76**, *Kluyveromyces fragilis* L/12-8-**2**, *Kluyveromyces fragilis* L/12-8-**6** fueron obtenidos de la Colección de Cultivos del ICIDCA. La cepa *Saccharomyces cerevisiae* L/25-7-**82** es la empleada por un producto probiótico comercial denominado Floratil (Merck S. A., Río de Janeiro, R. J., Brasil), considerada como cepa patrón para todas las evaluaciones realizadas. Las cepas de levadura fueron cultivadas en medio Caldo YPG (extracto de levadura 10g/L, peptona 20 g/L, glucosa 20 g/L) y mantenidas mediante siembras periódicas en cuñas de medio Agar-YPG, incubadas a 30^0C durante 48 h y posterior conservación en cámara fría a 8ºC.

Ensayos *"in vitro"* de las características fundamentales de cepas de levadura como potenciales probióticos.

Capacidad de crecimiento a diferentes temperaturas: Se utilizaron matraces de 250 mL de capacidad con un volumen efectivo de 60 mL de Caldo YPG. La inoculación se realizó a partir de cultivos de cada una de las cepas a evaluar, de 7 h de crecidos en Caldo YPG a 30^0C, pH 4.5 y con una concentración inicial del orden de 10^5 células/mL. La incubación se realizó durante 16 h a 30^0C, 37ºC y 43ºC con agitación a 150 r. m^{-1} en zaranda (New Brunswick Scientific), con temperatura controlada. El crecimiento se estimó a las horas 0 y 16 por medición de densidad óptica (D.O) a 600 nm en un espectrofotómetro (Pharmacia LKB-Novaspee II).

Capacidad de crecimiento a diferentes pH: Se emplearon matraces de 250 mL de capacidad con un volumen efectivo de 60 mL de Caldo YPG. La inoculación se realizó a partir de cultivos de cada una de las cepas de 7 h de crecidos en Caldo YPG a 30^0C, pH 4.5 y se empleó una concentración inicial del orden de 10^5 células/mL. Las cepas fueron cultivadas en Caldo YPG al cual se le ajustó el pH inicial a 2 y 5 y se incubaron a 30ºC en condiciones agitadas de 150 r. m^{-1} durante 16 h en zaranda, con temperatura controlada. El crecimiento se estimó a las horas 0 y 16 por medición de D.O a 600 nm en un espectrofómetro. Para llevar a cabo dicho ensayo, se procedió mediante tres diseños factoriales 2^2, empleando en todos los casos para el factor pH inicial como nivel bajo (-) pH 2 y nivel alto (+) pH 5 y para el factor tipo de cepa, se empleó como nivel bajo (-) la cepa 82 para todos los diseños experimentales y como nivel alto (+) las cepas 76, 2 y 6 para los diseños I, II y III respectivamente.

Recuperación de la capacidad del crecimiento luego de exposición a condiciones drásticas de acidez y temperatura: Se emplearon frascos de 25 mL de capacidad con un volumen efectivo de 9 mL de Caldo YPG. Para su inoculación, los cultivos permanecieron en crecimiento durante 7 h en Caldo YPG a 30^0C, pH 4.5 y manteniendo la misma concentración inicial de inoculación (10^5 células.mL^{-1}). Los cultivos se dejaron crecer hasta 16 h a 150 r. m^{-1} y 30^0C en zaranda, con temperatura controlada y se dividieron en tres porciones de 9 mL. Se centrifugaron y lavaron dos veces con solución salina al 0.9%.

Las biomasas correspondientes a cada porción de 9 mL fueron resuspendidas en frascos que contenían 9 mL de medio YPG fresco con las siguientes condiciones: tres frascos con YPG pH 4.5, tres frascos con YPG pH 2. Los frascos fueron incubados durante dos horas en las siguientes condiciones: YPG pH 4.5 a temperaturas de 43 ^{0}C y frascos a pH 2 a 30 ^{0}C. Después de la incubación, todos los cultivos fueron centrifugados, lavados dos veces con solución salina al 0.9%, resuspendidos en YPG fresco pH 4.5 e incubados a 30 ^{0}C para medición del crecimiento por conteo de células viables en cámara de Newbauer. Se realizaron conteos iniciales y finales para cada condición.

Resistencia a sales biliares: El ensayo fue desarrollado según Brizuela (2003) el cual consistió en añadir 1.32 mL.L^{-1} de ácido acético y 1.5 g.L^{-1} de Ox-Bilis (Oxoid) al medio Caldo YPG. Se utilizaron matraces de 250 mL de capacidad con un volumen efectivo de 60 mL de Caldo YPG. La inoculación se realizó a partir de cultivos de cada una de las cepas a evaluar, de 7 h de crecidos en Caldo YPG a 30^0C, pH 4.5 y se empleó una concentración inicial del orden de 10^5 células.mL^{-1}. Los parámetros fijados para la incubación fueron: agitación a 150 r.m^{-1}, temperatura de 30^0C y un tiempo de crecimiento de 16 h. El crecimiento se estimó a las horas 0 y 16 por medición de D.O a 600 nm en un espectrofómetro.

Detección de la producción de proteasa: La detección enzimática se realizó según la técnica descrita en las Prácticas de Microbiología Básica (Anónimo 1). Se partió de un cultivo líquido de YPG en matraces de 250 mL de capacidad con un volumen efectivo de 60 mL. La inoculación se realizó a partir de cultivos de cada una de las cepas a evaluar, de7 h de cultivado en Caldo YPG a 30^0C, pH 4.5 y con una concentración inicial del orden de 10^5 células.mL^{-1}. Los cultivos fueron agitados a 150 r.m^{-1}, 30^0C hasta 18 h de crecimiento en zaranda, con temperatura controlada. La centrifugación de los cultivos se realizó en centrífuga (Jouan MR 1812) a 5000 r.m^{-1}, durante 15 min. y a 25^0C. Se añadió 50 µL del caldo libre de células en placas de Agar-Caseína hammarsten (1%) a los valores de pH 5, 7 y 9 en pocillos horadados de 6 mm. La presencia de halos de inhibición alrededor de los pocillos indicó presencia de proteasa.

Cinética de crecimiento de las cepas de levadura.

Estudio cinético del crecimiento microbiano en zaranda: Se partió de un cultivo líquido de YPG en matraces de 250 mL de capacidad con un volumen efectivo de 60 mL. La inoculación se realizó a partir de cultivos de cada una de las cepas a evaluar, de 7 h de cultivados en Caldo YPG a 30^0C, pH 4.5 y con una concentración inicial del orden de 10^5 células.mL^{-1}. Los cultivos fueron agitados a 150 r.m^{-1}, 30^0C hasta 16 h de crecimiento en zaranda, con temperatura controlada. El crecimiento se estimó cada 2 h por medición de D.O a 600 nm. Con los datos obtenidos se describieron las curvas de crecimiento como las pendientes de las curvas obtenidas del ploteo de los logaritmos neperianos del número de células contra el tiempo, empleando el programa Microsoft Excel.

Estudio cinético del crecimiento microbiano a escala piloto: Se emplearon matraces invaginados de 1L de capacidad con volumen efectivo de 300 mL de medio Caldo YPG a pH 4.5. Los cultivos de las cepas de levaduras 6 y 82 permanecieron crecidos durante 7 h en medio Caldo YPG a una temperatura de incubación de 30^0C durante 16 h. Se inocularon con una relación 1:10 en fermentadores Marubishi de 5 L de capacidad y volumen de trabajo de tres litros. Los parámetros fermentativos establecidos son: agitación (500 r.m^{-1}),

aireación (1.2 vvm), pH inicial (4.5). Para este estudio en fermentadores se tomaron muestras de 20 mL cada una hora para realizar las siguientes determinaciones analíticas:

Análisis químicos y microbiológicos: Determinación de Azúcares Reductores Totales (ART) por el método del ácido 3.5 dinitro salicílico (DNS) y nitrógeno total por el método Kjeldhal, ambos según la metodología descrita en el Manual de Técnica Analíticas del ICIDCA (Biart, 1975). Determinación de la densidad óptica y el pH, la concentración celular mediante el recuento total de células en cámara de conteo celular Newbauer y la viabilidad por el método descrito por Thomas y Ingledew (1990).

Procesamiento estadístico de los resultados: Los resultados obtenidos de tres réplicas fueron procesados mediante la prueba de Duncan y t de *student* empleando el programa Microsoft Excel y el programa estadístico Statgraphics, Plus version 5.1. Se realizaron además, el análisis de superficies de respuesta y la determinación de los coeficientes de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es de gran interés y utilidad conocer las características fisiológicas que presentan las cepas de levaduras, con vistas a determinar su potencialidad para ser usadas como microorganismos probióticos, ya que, tanto en la elaboración de los formulados comerciales, como en su paso a través del tracto gastrointestinal animal, las condiciones a las cuales puedan estar sometidas las cepas podrían ocasionar la inactivación de sus células y afectar considerablemente el funcionamiento de la levadura para ser usada con fines probióticos. Los resultados de la evaluación y selección de diferentes géneros y especies de levadura a partir de sus propiedades fisiológicas de interés prebiótico se presentan a continuación.

Capacidad de crecimiento a diferentes temperaturas.

Se determinó la capacidad de crecimiento de las cepas de levadura a diferentes temperaturas con el objetivo de conocer su comportamiento fisiológico en las mismas (figura 1). El análisis estadístico mediante la prueba t de *student* (95 % de confianza) evidenció que al comparar los valores de densidad óptica obtenidos en los cultivos al término de la fermentación, todas las cepas manifestaron similar crecimiento a las temperaturas de 30 y 37^{0}C ya que no se observaron diferencias significativas, a excepción de la cepa *K. fragilis* 6 cuyo crecimiento a esta última temperatura fue significativamente superior (*). Sin embargo, el desarrollo de los cultivos a 43ºC se vio significativamente afectado en comparación con los crecimientos obtenidos tanto a 30ºC como a 37ºC, reflejando la significación entre ambas temperaturas con respecto a la de 43ºC.

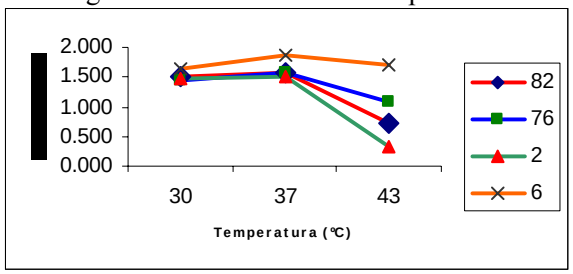


Figura 1: Crecimiento expresado como unidades de densidad óptica de cepas de levadura a diferentes temperaturas en un cultivo agitado con medio YPG.

La evaluación evidencia una mayor resistencia a la temperatura de 43ºC por la cepa 6 (*K. fragilis*), lo cual nos permite clasificar a esta cepa como levadura termotolerante ya que demostró la capacidad de resistir temperaturas altas, característica deseable en los microorganismos utilizados como probióticos y desde el

punto de vista tecnológico, brinda facilidades en el proceso de producción del preparado tanto en la fermentación como en la recuperación y formulación del producto. Este comportamiento concuerda con lo planteado por Hacking y cols. (1984); Banat y Marchant (1996) y Guimarães (2004) quienes evidenciaron cepas miembros del género *Kluyveromyces* como más termotolerantes que las cepas de *Saccharomyces* o *Candida*. Déak y Beuchat (1996) refirieron que la mayoría de las levaduras presentan una temperatura máxima de crecimiento entre 24^0C y 48^0C, mientras que Rose y Harrison en 1971 plantearon como rangos más comunes para el crecimiento de las levaduras entre 30ºC y 40ºC. En la literatura, se informa a la especie *K. fragilis* con altos valores de crecimiento a las temperaturas de 33ºC (Rouwenhorst y cols., 1988), 37ºC (Hoekstra y cosl., 1994), 40ºC e inclusive a 48ºC (Fonseca y cols., 2007) y 35^0C como temperatura óptima para la especie *K. fragilis* (Rajoka y cols., 2003; Furlan y cols., 2000).

Con respecto al comportamiento manifestado por cepas de *S. cerevisiae* se ha evidenciado por Rose y Harrison (1971) una cepa mesofílica de esta especie, la cual se multiplicó rápidamente a 30ºC y exhibió muerte celular cuando se expuso a 45ºC y 50ºC por 24 horas. Según Banat y cols. (1992), una cepa de levadura de destilería *S. cerevisiae* IDY fue severamente inhibida a 40ºC y no manifestó crecimiento a 45ºC, mientras que Guimarães (2004) planteó que la especie *S. cerevisiae* no utiliza temperatura de 35ºC y superiores a esta para crecer exponencialmente.

Capacidad de crecimiento a diferentes pH.

Dentro de los mecanismos por los cuales los probióticos pueden influenciar la microflora del intestino, se asume que la resistencia a bajos pH referida a las condiciones del estómago, les permite competir efectivamente en el ecosistema intestinal y es lo que probablemente refuerza el efecto probiótico (Gardiner y cosl., 2002; Dunne y cols., 2001). Se plantea que el pH óptimo o más favorable para el crecimiento de las levaduras se encuentra alrededor de 4 (Jörgensen, 1959) y es considerado que la resistencia a bajos pH es uno de los parámetros de importancia primaria para la selección de cultivos de cepas probióticas para su uso como suplemento alimenticio (Jin y cols., 1998).

La figura 2 muestra la influencia del pH inicial del medio de cultivo sobre el desarrollo celular valorado mediante la densidad óptica luego de 16 horas de fermentación. Se observó que todos los cultivos fueron afectados cuando partieron de un medio de cultivo a pH 2, no obstante, mantuvieron un crecimiento aceptable. Se destaca significativamente el crecimiento obtenido para la cepa 6 en comparación a la cepa patrón (82) a pH 5, mientras que el resto de las cepas no difieren en su crecimiento a este pH al ser comparadas con la cepa 82.

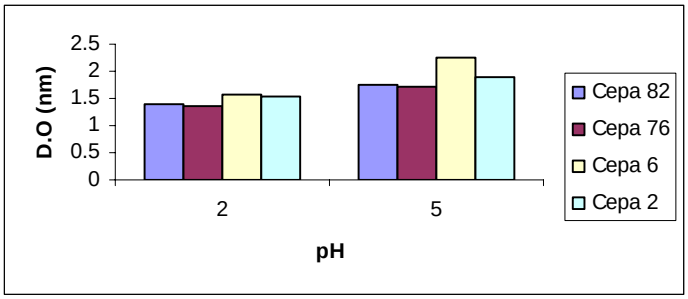


Figura 2: Influencia del pH y tipo de cepa en el crecimiento microbiano de cepas de levadura cultivadas en medio YPG a 30ºC.

Los diseños experimentales 2^2 realizados comparando los crecimientos de las cepas 76 (*S. cerevisiae*), 2 y 6 (*K. fragilis*) con el de la cepa 82 (*S. cerevisiae*), a pH 2 y 5 permitieron obtener los siguientes modelos matemáticos:

Diseño I (cepa *S. Cerevisiae* 76)
D.O = 1,55333 + 0,174667*PH R=0.92
Diseño II (cepa *K. Fragilis* 2)
D.O = 1,645 + 0,174*PH R= 0.92
Diseño III (cepa *K. fragilis* 6)
D.O = 1,7405 + 0,248167*PH + 0,169167*CEPA + 0,0791667*PH*CEPA R= 0.96

Estos modelos representan las superficie de repuesta experimental y permiten predecir el comportamiento del crecimiento bajo la influencia de pH entre 2 y 5, con una alta precisión (superior al 90%) como indican los valores de los coeficientes de regresión.

Hill (1990) planteó que la secreción gástrica con una concentración de sal en el entorno de 0,5% p/v y un pH de aproximadamente 2, es letal para la mayoría de los microorganismos ingeridos durante la digestión, representa una barrera enzimática asociado al jugo pancreático y a bilis. La tolerancia a ácido es importante para la sobrevivencia de los probióticos en el alimento (Tuomola y cols., 2001; Lee y Salminen, 1995). Agarwal y cols. (2000) evaluaron cepas de *S.* capaces de tolerar pH 2 durante 6 horas y adicionalmente Kumura y cols. (2004) evaluaron las especies *K. fragilis* y *K. lactis*, con capacidad de sobrevivencia ante las condiciones acídicas (pH 2). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en este ensayo para las cepas de levadura evaluadas a pH 2, las cuales fueron capaces de sobrevivir a pesar de permanecer un tiempo más prolongado (16 horas) expuestas a estas fuertes condiciones de acidez. En ambientes simulados de digestión gastrointestinal se han observado muy poca pérdida de la viabilidad celular en cepas *S. cerevisiae* (Kalpana y Gandhi, 2006; Vinderola y cols., 2005; Naim y cols., 2004).

Estos resultados indican la capacidad de las cepas de levadura evaluadas para resistir e inclusive desarrollarse bajo las condiciones acídicas del jugo gástrico, lo que le confiere potencialidades probióticas, ya que le permite transitar por el tracto gastrointestinal de manera viable para ejercer su acción.

Recuperación de la capacidad del crecimiento luego de exposición a condiciones drásticas de acidez y temperatura.

Teniendo en cuenta que los microorganismos que componen los preparados probióticos, deben circular por todo el tracto digestivo bajo una forma viva y permanecer en él por cierto período de tiempo, sin perder su capacidad de crecimiento y sus potencialidades probióticas, se investigó la posibilidad de las cepas de levadura para recuperar su capacidad de crecimiento normal después de haber sido sometidas cierto tiempo a condiciones de estrés.

Recuperación de la capacidad del crecimiento después del estrés térmico.

Cultivos de las cepas en estudio fueron sometidos a condiciones drásticas de temperatura (43ºC) durante 2 horas, evaluándose posteriormente su capacidad de crecimiento en condiciones normales, luego de 16 horas de fermentación.

En la tabla I puede apreciarse que la capacidad de crecimiento de las cepas no fue afectada luego de ser sometidas durante 2 horas de incubación a condiciones drásticas de temperatura (43ºC), lo que se evidencia al lograr en la fermentación postratamiento, crecimientos similares a la fermentación inicial evaluados estadísticamente mediante el prueba t de *student* a 95 % de confianza, aunque inclusive para la cepa 2 (*S. cerevisiae*) se obtuvo un crecimiento significativamente superior luego de ser sometida a incubación a 43ºC.

Tabla I Recuperación del crecimiento de las cepas de levadura luego de ser expuestas a condiciones drásticas de temperatura (43ºC).

cepas	Crecimiento pretratamiento (cel.mL^{-1}) x 10^7	± D.E. X 10^7	Crecimiento postratamiento (cel.mL^{-1}) x 10^7	± D.E. X 10^7	Prob. (p)	Sig. (*)
82	6.96	1.20	6.93	1.04	0.978	NS
76	8.61	2.36	5.83	2.10	0.202	NS
2	3.28	1.13	7.01	1.20	0.017	S
6	8.80	1.71	8.35	1.63	0.757	NS

D.E. Desviación estándar, NS. No significativo, S. Significativo, Prob. Probabilidad
** Diferencia significativa a 95% de confianza determinada mediante prueba t de student*

Se observa además que al término del tratamiento a la temperatura extrema se mantienen los cultivos de todas las cepas, con una alta viabilidad (tabla II).

Tabla II Recuperación postratamiento del crecimiento de las cepas de levadura en la fermentación a 30ºC en medio YPG y la viabilidad de los cultivos postratamiento.

Cepas	Temperatura de tratamiento (43ºC)		
	Cel.mL^{-1} X 10^7	% Viabilidad	± D. E. X 10^7
82	6.93	96.31	0.47
2	7.01	97.64	0.57
76	5.83	96.54	0.75
6	8.35	98.17	0.73

Los resultados anteriores ratifican las características potenciales que brindan las cepas del género *Saccharomyces* y *Kluyveromyces* con respecto a la capacidad que presentan para soportar altas temperaturas en los procesos industriales (Querol y cols., 2003; Furlan y cols., 2000). Como resultado en este ensayo, se destaca nuevamente el comportamiento desarrollado por la cepa 6, en cuanto al mayor crecimiento exhibido en el pretratamiento y postratamiento después de estrés térmico, así como en la viabilidad.

Recuperación de la capacidad del crecimiento después del estrés acídico.
Cultivos de las cepas en estudio fueron sometidos a condiciones drásticas de acidez (pH 2) durante 2 horas, evaluándose posteriormente su capacidad de crecimiento en condiciones normales, luego de 16 horas de fermentación. Se realizó la comparación estadística mediante la prueba t de *student* (95% de confianza) entre los crecimientos de las cepas de levadura obtenidos antes y después del tratamiento. Se aprecia en la tabla III que no existen diferencias en los cultivos pretratados y postratados para todas las cepas evaluadas, lo cual demuestra la ausencia de afectación por condiciones acídicas en el crecimiento de las mismas, excepto para la cepa 6 (*K. fragilis*), la cual inclusive muestra un crecimiento postratamiento significativamente superior, que la distingue para resistir las fuertes condiciones de acidez impuestas en el estómago.

Tabla III Recuperación del crecimiento de las cepas de levadura luego de expuestas a condiciones drásticas de acidez (pH 2).

cepas	Crecimiento pretratamiento (cel.mL^{-1}) x 10^6	± D.E. x 10^6	Crecimiento postratamiento (cel.mL^{-1}) x 10^6	± D.E. x 10^6	Prob. (p)	Sig. (*)
82	65.4	265	132	10.8	0.03	S
76	70.5	8.62	102	0.18	0.07	NS
2	108	37.1	55.5	42.4	0.29	NS
6	123	12.7	256	129	0.22	NS

D.E. Desviación estándar, NS. No significativo, S. Significativo, Prob. Probabilidad
** Diferencia significativa a 95% de confianza determinada mediante prueba t de student*

Carrillo (2001) plantea la capacidad de las levaduras para tolerar valores de acidez desde pH 3 hasta 6.5, factor importante en la fisiología de este microorganismo, ya que facilita el paso de sus células vivas y activas e interactuar con las altas concentraciones de ácido que predominan de el tracto digestivo, sin que ocurran grandes alteraciones en la viabilidad celular y su metabolismo de manera irreversible. Las especies de levadura *S. cerevisiae* y *Kluyveromyces sp.* son considerados altamente especializados desde el punto de vista biotecnológico dada su evolución adaptativa, ya que toleran condiciones físico-químicas extremas que le permiten sobrevivir en rangos medioambientales y nichos ecológicos para su total adaptación y potencialidad (Querol y col.s, 2003).
En ambas condiciones de estrés, térmica y acídica, todas las cepas de levadura manifestaron capacidad de recuperación del crecimiento. Sin embargo es válido destacar el comportamiento de la cepa 6 (*K. fragilis*), la cual es capaz de crecer tanto a 43^{0}C como de recuperar su crecimiento en condiciones normales después de atravesar un estrés térmico (43^{0}C) y acídico (pH 2), siendo significativo en este último caso.

Resistencia a sales biliares.

En la figura 3 se establece la comparación mediante la prueba de Duncan del crecimiento de las cepas en medio YPG y en medio YPG + bilis.

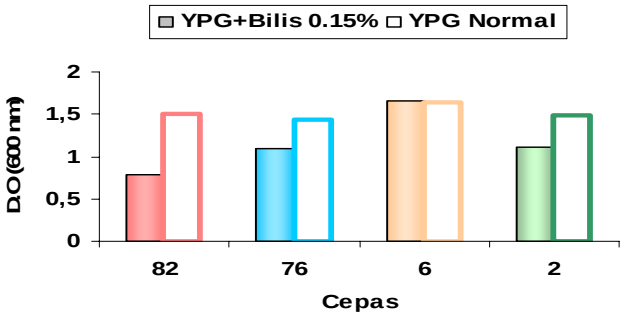


Figura 3: Crecimiento de las cepas de levadura de los géneros *Saccharomyces* y *Kluyveromyces* a concentraciones de sales biliares de 0.15% en medio YPG a 30ºC. (*Número de réplicas: 3, α: 5%*).

El fluido que contiene la biota intestinal presenta concentraciones de sales biliares de 0.15%, importantes para su buen funcionamiento lo que permite mejorar su actividad y la digestibilidad de los nutrientes (Agarwal y cols., 2000). Los resultados de este ensayo evidencian que todas las cepas fueron capaces de crecer a concentraciones de bilis de 0.15% similares a las presentes en el intestino, inclusive en niveles superiores a la cepa patrón (82). Sin embargo, se observa una afectación significativa del crecimiento en

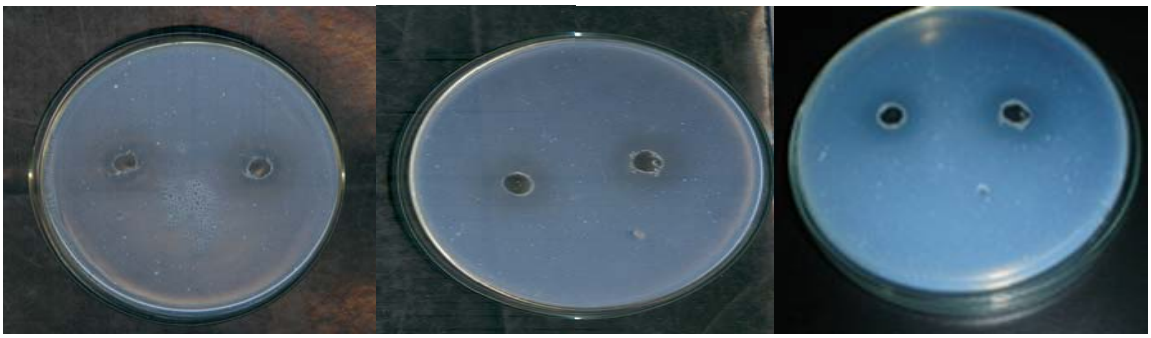
presencia de bilis (cepa 82: p 0.006, cepa 2: p 0.024, cepa 76: p 0.00018), a excepción de la cepa 6 que logra alcanzar los similares niveles de crecimiento (cepa 6: p 0.729) en ambas condiciones que permite utilizarla como prebiótico para uso animal.

S. cerevisiae fue resistentes a concentraciones biliares de 0.30, 0.60 y 0.90%, solo detectándose un 9% de inhibición a la concentración de 0.9% (Agarwal y cols., 2000). Según Kumura y cols., 2004 cepas de *S. cerevisiae* y *K. fragilis*, inhibieron su crecimiento a elevadas hasta 0.5%, mientras que Martins y cols., 2005 emplearon rangos de 0.01 $mg.mL^{-1}$-10 $mg.mL^{-1}$ con un crecimiento moderado a concentraciones de 1 y 2 $mg.mL^{-1}$ (0.1 y 0.2%). Se han descrito 8 cepas de *S. boulardii* con capacidad de crecimiento a concentraciones de oxgall bilis de 0.3% (van der Aa y cols., 2005). Estos resultados denotan variabilidad en la resistencia a concentraciones de sales biliares, dependiendo de la cepa y la concentración empleada.

Detección de actividad proteolítica.

Los resultados fueron corroborados empleando una cepa de *Pseudomona* PSS como control positivo, reconocida como productora de proteasas (Frías, 2003) y la presencia de los halos de degradación puede ser observados en la figura 4. El sobrenadante del cultivo de la cepa 6 (*K. fragilis*) degradó el sustrato caseína, lo cual demuestra que posee actividad proteolítica extracelular revelada en condiciones acídicas a pH 5, que indica el carácter ácido de la enzima. Trindade y cols., 2002 encontraron cepas de *K. fragilis* capaces de hidrolizar caseína a pH 5.

La presencia de proteasas en la cepa 6 (*K. fragilis*) indica la posibilidad de que la misma posea un efecto protector para la célula dado su efecto inhibidor sobre la acción de toxinas, ya que se plantea que las levaduras pueden ser antagonistas de bacterias enteropatógenas a través de la adhesión a células bacteriales o por secreción de proteasas inhibidoras de toxinas (Gatesoupe, 2007; Castagliuolo y cols., 1999).



Control 24 horas **Cepa 6 24 horas** **Cepa 6 43 horas**

Figura 4: Halos de actividad proteolítica producidos sobre medio caseína por sobrenadantes de los cultivos de la cepa control (*Pseudomona* PSS) y la cepa 6 (*K. fragilis*), luego de 24 y 43 horas de fermentación.

El resultado obtenido por la cepa 6 coincide con estudios que revelan el potencial de las levaduras del género *Kluyveromyces sp.* para producir un amplio rango de enzimas extracelulares (Strauss y cols., 2001). Se ha encontrado que la levadura *K. lactis* NRRL 1118 expresa actividades proteolíticas similares a las presentadas por *S. cerevisiae*, en particular las proteasas PrA, PrB y CpY que actúan sobre sustratos específicos con activación a pH 5 (Flores y cols., 1999). Martins y col., 2005 obtuvieron este efecto en ratones previamente asociados o tratados con la levadura *S. cerevisiae* 905 contra *C. difficile* y *S. typhimurium*, mientras Rodríguez y cols., 1996 observaron el efecto protector de *S. cerevisiae* contra otros gérmenes patogénicos

como *S. typhimurium* y *S. flexneri*. Por otra parte, se plantea que la proteolisis juega un papel esencial en la respuesta al estrés, tales como deficiencia de nutrientes, altas temperaturas, pH extremos, irradiaciones UV o la presencia de análogos de iones metálicos pesados o aminoácidos (Mercado y Hernández, 2003), de ahí la importancia de haber podido identificar presencia de actividad proteolítica en una de las cepas evaluadas.

Estudio cinético del crecimiento microbiano en zaranda.

Los resultados obtenidos en la dinámica de crecimiento de las cepas se muestran en la figura 5. Se observa en todas las cepas una larga fase de latencia de aproximadamente 6 horas, lo cual puede estar influenciado por la concentración de inóculo empleada. En la fase logarítmica, las cepas 2 y 6 presentaron las mayores velocidades de crecimiento (0.48 y 0.47 h^{-1}, respectivamente), alcanzando la cepa 6 los mayores valores de densidad óptica, que denotan una mayor concentración celular.

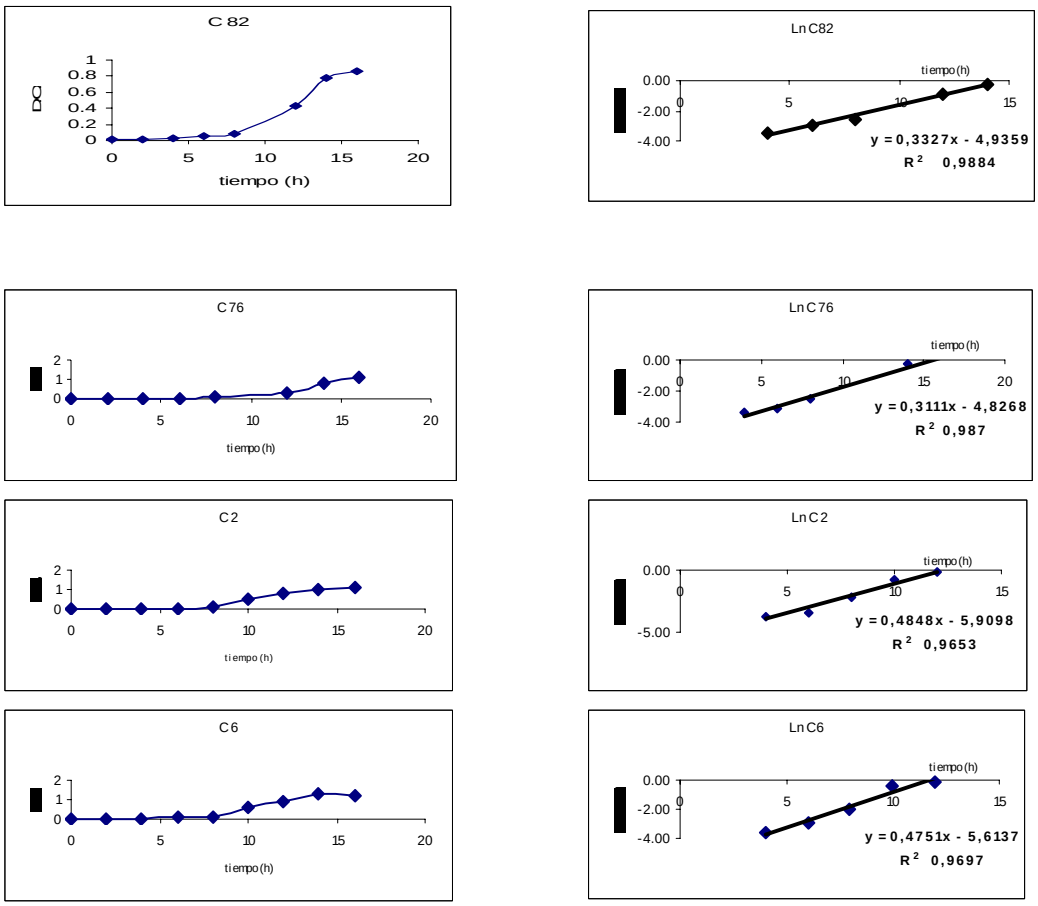


Figura 5: Curvas de crecimiento y estimación de velocidad específica de crecimiento en zaranda para cada cepa a 30ºC en medio YPG.

Guimarães (2004) desarrolló fermentaciones en zaranda con *K. fragilis* con velocidades específicas de crecimiento de 0.43 h^{-1}, cuya velocidad es superada por la cepa 6 con un valor de 0.47 h^{-1}. Por otra parte, Martins y cols., 2005 en un estudio efectuado en zaranda determinaron curvas de crecimiento de levaduras *S. cerevisiae*, cultivadas hasta dieciocho horas a 30ºC y 150 $r.m^{-1}$ en medio YPG. La densidad óptica inicial fue

de 0.15, la cual se consideró como aceptada, siendo en nuestro caso inferior. Las curvas se realizaron a 30ºC y 37ºC, de modo que la lectura de densidad óptica fluctuó entre 0.2 y 0.8 unidades. Esta experiencia hace suponer que la cepa 6 (*K. fragilis*) logrará un comportamiento fermentativo superior, tanto a nivel del tracto gastrointestinal como cuando se cultive en condiciones de fermentación óptimas en el proceso de obtención industrial de biomasa para la posterior elaboración del formulado probiótico.

Estudio cinético del crecimiento microbiano en fermentador.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos *in vitro*, se seleccionan para el estudio cinético en fermentador, las cepas 82 (*S. cerevisiae)* como patrón y 6 (*K. fragilis)*, por ser la que más cualidades fisiológicas en las propiedades evaluadas. Se observa en la figura 6 que ambas cepas desarrollaron curvas de crecimiento típicas, con una fase de latencia de aproximadamente una hora, mucho más breve que a nivel de zaranda, dado las condiciones que impone el fermentador: mejor homogenización y mezclado de los nutrientes presentes en el medio de cultivo, mejor agitación y aireación y mayor concentración de inóculo utilizada. Un rápido crecimiento fue observado para la cepa 6 en comparación con la cepa 82, velocidades de crecimiento de 0.61 h^{-1}y para la cepa 82 de 0.5 h^{-1}.

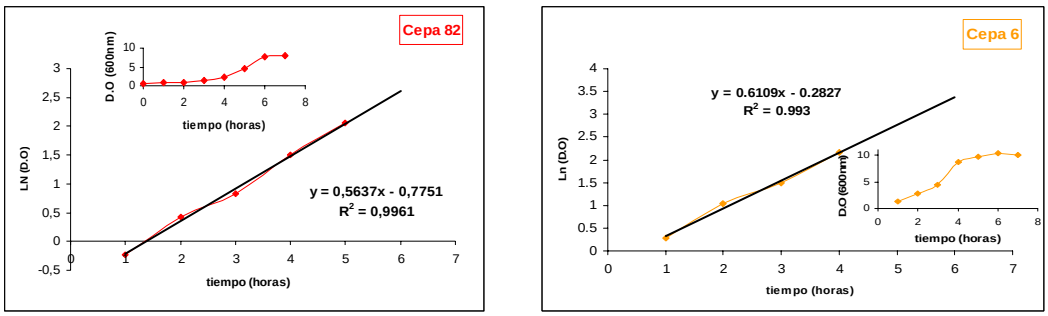


Figura 6: Curvas de crecimiento y estimación de la velocidad específica de crecimiento de las cepas 82 (*S. cerevisiae*) y 6 (*K.* fragilis) en medio YPG a 30ºC en fermentador de 5L a 500 $r.m^{-1}$, 1.2 vvm y pH 4.5.

En ambos cultivos se observó un agotamiento prácticamente total de la glucosa presente en el medio, más rápido para la cepa 6 (*K. fragilis*), dada su mayor velocidad. El consumo de nitrógeno para la cepa 6 fue prácticamente el triple (0.62) que el consumido por la cepa 82, debido a la mayor concentración de biomasa obtenida por la cepa 6 (8.54) en comparación con la cepa 82 (3.30) en prácticamente tiempos de fermentación similares. Los cultivos finales presentan alta viabilidad (94% y 100%) y conteos celulares ($1x10^9$ $cel.mL^{-1}$ y 1.68 $x10^8$ $cel.mL^{-1}$) que corresponden a las cepas 6 (*K. fragilis*) y 82 (*S. cerevisiae*), respectivamente, adecuados para ser empleados como productos probióticos. Martins y cols. (2005a) obtuvieron altas viabilidades que variaron entre 94 a 109% en todas la cepas evaluadas de *S. cerevisiae.* Un nuevo aditivo (Turval B0399) cuenta con una actividad biológica superior a 5 x 10^6 $UFC.g^{-1}$ de la levadura activa *Kluyveromyces fragilis* B0399 en ganado vacuno y cerdos (Anónimo 2).

La tabla 6 refleja los parámetros productivos de ambas cepas en las condiciones de estudio, donde se destaca un superior comportamiento productivo de la cepa 6 (*K. fragilis*) que duplica el rendimiento y triplica la productividad, de la cepa 82 (*S. cerevisiae*). Relacionado con estos parámetros, Fonseca y cols. (2007) obtuvieron rendimiento biomasa/sustrato de 0.51 $g.g^{-1}$ en el cultivo de *K. fragilis* ATCC 26548, sin embargo, Bellaver y cols. (2004) informaron un valor de 0.49 $g.g^{-1}$ para *K. fragilis* CBS 6556.

Tabla IV Parámetros productivos de las cepas 82 (*S. cerevisiae*) y 6 (*K. fragilis*) a escala de fermentador.

Cepa	82	6
Tiempo de fermentación (h)	8	7
Biomasa (g,L^{-1})	3.30	8.54
Consumo de ART (g.L^{-1})	15.32	16.68
μ (**h^{-1}**)	0.56	0.61
Yb/s (g biomasa/g ART)	0.21	0.51
P (g biomasa/L/ hora)	0.41	1.22

Se ha encontrado una cepa de *S. cerevisiae* (levadura seca comercial) con productividad de 0.13 $g.L^{-1}.h^{-1}$, inferior y significativamente diferente a los obtenidos por *K. fragilis sp. marxianus* LAF-4 con valores de 0.22 $g.L^{-1}.h^{-1}$ (Zumbado y cols., 2006), cuyas respuestas son evidenciadas por las cepas 6 (*K. fragilis*) y 82 (*S. cerevisiae*), aunque con diferencias muy superiores de productividad entre ellas. Para cepas de *K. fragilis*, Rouwenhorst y cols. (1988) obtuvieron valores de crecimientos tan altos como 0.69 h^{-1} a 33ºC, a 40ºC de 0.86 h^{-1}, a 37ºC de 0.7 h^{-1} (Hoekstra y cols., 1994) mientras que Bellaver y cols. (2004) de 0.44 h^{-1} y recientemente Fonseca y cols. (2007) de 0.56 h^{-1}.

Este estudio cinético servirá de referencia y punto de partida para posteriores estudios de optimización que permitirán obtener inclusive comportamientos productivos superiores empleando la cepa 6 (*K. fragilis*).

Teniendo en cuenta, los datos referidos por varios autores se puede resumir que la especie *K. fragilis* y en particular la cepa 6 (*K. fragilis)* poseen aplicaciones futuras en procesos de generación de biomasa con altos rendimientos y productividad. Además de estas características se ha demostrado más altas velocidades de crecimiento de esta especie entre las levaduras y una alta capacidad de convertir azúcar en biomasa cuando no existe limitación de carbono.

K. fragilis, es una especie de levadura muy versátil considerada como un microorganismo GRAS (Generalmente Reconocido como seguro) y usada para su aplicación industrial o biotecnológica. Su ventaja en preparaciones probióticas radica en la capacidad de crecer rápidamente, exhibir alto grado de termotolerancia, de fermentar lactosa y producir la enzima β-galactosidasa, necesaria para los problemas de intolerancia a lactosa. Adicionalmente, cuenta con un amplio rango de aplicaciones tales como: Producción de biomasa (Furlan y cols., 2000; Belem y Lee, 1998), enzimas (Deive y cols., 2003; Martins y cols., 2002; Cruz y cols., 1999), etanol (Kourkoutas y cols., 2002; Singh y cols., 1998), bioingredientes (Belem y Lee, 1998) y proteína celular (Schultz y cols., 2006; Grba y cols., 2002), entre otras.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en los ensayos *"in vitro"* de las cepas pertenecientes a los géneros *Saccharomyces* y *Kluyveromyces*, demostraron que poseen características adecuadas para su utilización en la obtención de preparados probióticos.

Se seleccionó la cepa *Kluyveromyces fragilis* L/12-8-**6** como la de mejores propiedades probióticas por presentar capacidad de producción de proteasas con efecto hidrolítico sobre las toxinas bacterianas y por alcanzar el mayor crecimiento a la temperatura de 43ºC, que la clasifica como una levadura termotolerante.

Los parámetros cinéticos obtenidos para la cepa *Kluyveromyces fragilis* L/12-8-**6** en fermentador de 5 L mostraron un comportamiento más apropiado en cuanto a velocidad de crecimiento, rendimiento biomasa/sustrato consumido y productividad, que los alcanzados para la cepa patrón comercial *Saccharomyces cerevisiae* L/25-7-**82**.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarwal, N., Kamra, D., Chaudhary, L., Sahoo, A., Pathak, N. (2000), Lett. in Appl. Microbiol. 31, 270-273.
- Alvarez, M., Oberhelman, R. (2001), Clin. Infect. Dis. 32, 1567-1576.
- Anónimo 1 http://imb.usal.es/jmfa/imiq/PracticasIMIQ0506.pdf Prácticas de Microbiología Básica. Práctica 3 Detección de actividades enzimáticas en placas. (12/12/06).
- Anónimo 4 http://www.turval.com/Scheda19i-swine.doc Informative Sheet for Technicians Strain deposited in accordance to the treaty of BUDAPEST and Directive 70/524 CEE, Sheet N° 191. (20/11/00).
- Banat, I., Nigam, P., Marchant, R. (1992), World J. of Microbiol. and Biotechnol. 8, 259-263.
- Banat, I., Marchant, D. (1996), Acta Biotechnol. 16, 215-223.
- Bekatorou, A., Psarianos, C., Koutinas, A. (2006), Food Technol. Biotechnol. 44 (3), 407-415.
- Belem, M., Lee, B. (1998), Crit. Rev. Food Sci. Nut. 38, 565-598.
- Bellaver, L., de Carvalho, N., Abrahão, N., Gombert, A. (2004), FEMS Yeast Res. 4, 691-698.
- Biart, J. (1975), Manual de Técnicas Analíticas de la subdirección de Fermentaciones, ICIDCA.
- Bovill, R., Bew, J., Robinson, S. (2001), Int. J. Food Microbiol. 67, 55-61.
- Brizuela, M. (2003), Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias, ICIDCA.
- Campeanu, G., Vamanu, A., Popa, O., Dumitru, I., Sasarman, E., Vassu, T., Vamanu, E., Campeanu, S., Campeanu, C., Cornea, P. (2002), Roum. Biotechnol. Lett. 7(4), 795-802.
- Carrillo, L. (2001), http://www.unsa.edu.ar/matbib/hongos/09htextolevaduras.pdf , 91-98 (5/12/01).
- Castagliuolo, I., Riegler, M., Valenick, L., Lamont, J., Pothoulakis, C.(1999) Infect. Immun. 67, 302-307.
- Coenen, T., Berstens, A., de Hoog, S., Verspeek, C. (2000), Food Chem. Toxicol. 38, 671-677.
- Cruz, A., Barzana, E., Garcia, M., Gomez, L. (1999) Process Biochem. 34, 621-624.
- Déak, T., Beuchat, L. (1996), CRC Press, Boca Ratón, Florida.
- Deive, F., Costas, M., Longo, M. (2003) Lett. 25, 1403-1406.
- Dunne, C., Murphy, L., Thornton, G., Morrissey, D., O'Halloran, S., Feeney, M., Flynn, S., Fitzgerald, G., Daly, C., Kiely, B., O'Sullivan, G., Shanahan, F., Collins, J. (2001), Am. J. Clin. Nutr. 73, 386-392.
- Flores, M., Cuellas, A., Voget, C. (1999), Yeast 15(14), 1437-1448.
- Fonseca, G., Gombert, A., Heinzle, E., Wittman, C. (2007), FEMS Yeast Res. 7 (3), 422–435.
- Frías, A. (2003), Tesis en opción al Grado Científico de Master, Facultad de Biología, Universidad de la Habana, p. 50.
- Furlan, A., Schneider, A., Merckle, R., Carvalho, M., Jonas, R. (2000), Biotechnol. Lett. 22 (7), 589-593.
- Gardiner, G., Ross, R., Kelly, P., Collins, J., Fitzgerald, G., Stanton, C. (2002), Microbiology of therapeutic milks. *In*In R. K. Robinson (ed.), Dairy Microbiology, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 431-478.

- Gatesoupe, F. (2007), Aquaculture. http://www.ifremer.fr/docelec/. (consulta 11/1/07).
- Guimarães, E. (2004), Thesis for the degree of Master of Science in Biological and Agricultural Engineering.
- Grba, S., Stehlik, V., Stanzer, D., Vaheiae, N., Skrlin, A. (2002), Chem. Biochem. Eng. Q 16, 13-16.
- Hacking, A., Taylor, I., Hanas, C., (1984), Appl. Microbiol. and Biotechnol. 19, 361-363.
- Hoekstra, R., Groeneveld, P., Vanverseveld, H., Stouthamer, A., Planta, R. (1994), Yeast 10, 637-651.
- Jin, L., Ho, Y., Abdullah, N., Jalaludin, S. (1998), Lett. in Appl. Microbiol. 27, 183-185.
- Jörgensen, A. (1959), Capítulo III B. Las enzimas. Libro Microbiología de las fermentaciones industriales, 63.
- Kalpana, D., Gandhi, D., http://www.dairyscience.info/Kalpna.htm Dairy Sci. and Food Technol. (11/8/06).
- Kourkoutas, Y., Dimitropoulou, S., Kanellaki, M., Marchant, R., Nigam, P., Banat, I., Koutinas, A. (2002), Biores. Technol. 82, 177-181.
- Kumura, H., Tanoue, Y., Tsukahara, M., Tanaka, T., Shimazaki, K. (2004), J. Dairy Sci. 87, 4050-4056.
- Lee, Y., Salminen, S. (1995), Trends Food Sci. Technol. 6, 241–245.
- Leuschner, R., Bew, J., Fourcassier, P., Bertin, G. (2004), Syst. Appl. Microbiol. 27, 492-500.
- Martins, F., Nardi, R., Arantes, R., Rosa, C., Neves, M., Nicoli, J. (2005), J. Gen. Appl. Microbiol. 51, 83-92.
- Martins, F., Ferreira, F., Penna, F., Rosa, C., Drummond, R., Neves, M., Nicoli, J. (2005a), Revista de biologia e ciências da terra ISSN 1519-5228 5(2), 2º Semestre.
- Martins, D., de Souza, C., Simoes, D., de Morais, M. (2002), Curr. Microbiol. 44, 379-382.
- Meier, R., Burri, E., Steuerwald, M. (2003), Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care 3, 563-567.
- Mercado, Y., Hernández, C. (2003), Mycologia 95(2), 327-339.
- Naim, F., Messier, S., Saucier, L., Piette, G. (2004), Appl. Environ. Microbiol. 70(11), 6637–6642.
- Querol, A., Belloch, C., Fernandez, M., Barrio, E. (2003), Int. Microbiol. 6, 201-205.
- Rajoka, M., Khan, S., Shahid, R. (2003), Food Technol. and Biotechnol. 41(4), 315-320.
- Rodriguez, A., Nardi, R., Bambirra, E., Vieira, E., Nicoli, J. (1996), J. Appl. Bacteriol. 81, 251-256.
- Rose, A., Harrison, J. (1971), Academic Press London and New York, 2, 119-130.
- Rouwenhorst, R., visser, L., van der Baan, A., Scheffers, W., van Dijken, J. (1988), Appl. Environ. Microbiol. 54, 1131-1137.
- Schrezenmeir, J., de Vrese, M. (2001), Am. J. Clin. Nutr. 73, 361-364.
- Schultz, N., Chang, L., Hauck, A., Reuss, M., Syldatk, C. (2006), Appl. Microbiol. Biotechnol. 69, 515-520.
- Singh, D., Nigam, P., Banat, I., Marchant, R., McHale, A. (1998), World J. Microbiol. Biotechnol., 14, 823-834.
- Strauss, M., Jolly, N., Lambrechts, M., van Rensburg, O. (2001), J. Appl. Microbiol. 91(1), 182-190.
- Thomas, K., Ingledew, W. (1990), Appl. Environ. Microbiol. 56, 2046-2050.
- Tovar, D., Zambonino, J., Cahu, C., Gatesoupe, F., Vázquez, R. (2000), Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola (Cruz -Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera-Cerecedo, R., (Eds.), Mérida, Yucatán, México, pp. 33-46.
- Trindade, R., Resende, M., Silva, C., Rosa, C. (2002), Syst. Appl. Microbiol. 25(2), 294-300.
- Tuomola, E., Crittenden, R., Playne, M., Isolauri, E., Salminen, S. (2001), Am. J. of Clin. Nutr. 73( )2, 393-398.
- van der Aa, K., skovgaard, K., Jespersen, L. (2005), Int. J. Food Microbiol. 101(1), 29-39.
- Vinderola, G, Matar, C., Perdigon, G. (2005), Clin. and Diag. Lab. Immunol. 12 (9), 1075-1084.
- Zumbado, W., Esquivel, P., Wong, E. (2006), Agronom. Mesoam. 17(002), 151-160.

UTILIZACIÓN DE LA LEVADURA TORULA DE VINAZAS, SECA O EN CREMA, EN DIETAS DE MAÍZ PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

P. Lezcano y L.M. Mora

Instituto de Ciencia Animal, Apartado 24, San José de las Lajas, La Habana, Cuba.
E. mail : plezcano@ ica.co.cu

Resumen

Se utilizaron 160 cerdos comerciales del cruce Yorkshire-Landrace x Yorkshire (YLxL) de 25 kg de peso vivo, los cuales fueron distribuidos en 4 tratamientos con cuatro réplicas y 10 animales/réplica con igual proporción de machos y hembras mediante un diseño de clasificación simple. Los tratamientos fueron: (I) Control de soya-maíz, (II) 11.4% soya + 12.5% levadura seca + 74% maíz, (III) 6% soya +18% levadura seca + 73.9% maíz y (IV) 3% soya + 74% maíz + crema de levadura equivalente a 21% levadura seca. No se encontraron diferencias significativas para el peso final (kg), ganancia media diaria (g) y conversión alimenticia (kg MS/kg de aumento) y los valores fueron: 75,9, 77,3, 74,7 y 74.3; 600, 610. 580 y 570 y 4,5, 4,4, 4,6 y 4,7 para los tratamientos I, II, III y IV, respectivamente. La obtención de levadura torula en crema ahorra 550 kwh/t o levadura torula húmeda y 350 kg de petróleo/t de levadura torula producida. Se concluye que en dietas de maíz, la levadura torula seca producida a partir del sustrato vinaza es factible de utilizar sustituyendo el 75% de la harina de soya sin afectar el comportamiento animal y también se prueba la factibilidad del empleo de la crema sustituyendo casi totalmente la soya lo cual desde el punto de vista económico es muy viable al no tener que secar la torula.

Palabras clave: cerdos en crecimiento, levadura torula, vinaza, crema de levadura torula, maíz.

Abstract

One experiment was carried out to study the effect of soybean meal substitution by dry torula yeast or torula yeast cream from vinasse in corn diets for growing pigs. A complete random design was used with 160 pigs (Yorkshire-Landrace x Yorkshire) of 25 kg live weight and similar proportion of males and females, in 16 repetitions of 10 animals/pen and 4pens/treatment. The treatments were: I) conventional soy-corn diet, II) 11.4% of soy +12.5% dry torula yeast + 74% corn, III) 6% of soy +18% dry torula yeast +73.9% corn and IV) 3% soy + 74% corn + torula cream yeast equivalent to 21% dry torula yeast. There were no significant differences for final weight (75.9, 77.3, 74.7 and 74.3 kg), average daily gain (600, 610, 580 and 570 g) and feed conversion (4.5, 4.4, 4.6 and 4.7 kg/kg for treatments I, II, III and IV, respectively). The obtainment of torula yeast cream save 550 kwh/ t of wet torula yeast and 350 kg of oil/t of torula yeast produced. It is possible to substitute 75% of soybean meal by torula yeast from vinasse without effect on animal performance. Also, torula yeast cream is useful from the economical point of view.

Key words: growing pigs, torula yeast, vinasse, torula cream, corn

Introducción

En Cuba desde la década del 60 del siglo pasado se ha venido estudiando la levadura torula producida a partir de la miel final de caña como sustrato energético y la misma demostró en la especie porcina que era capaz de sustituir a la harina de soya parcial o totalmente en las dietas para cualquier categoría porcina (Lezcano 1976; Cervantes y otros 1984; Figueroa y Ly 1990; Mederos 1993). Sin embargo en los últimos años los elevados precios del petróleo, menor disponibilidad de miel final por la reducción del número de centrales azucareros en el país y otras causas, hicieron insostenible la producción de esta excelente fuente proteica por esta vía, pues la disponibilidad de miel final se asignó toda para la producción de alcohol donde resulta más económico y tiene una alta demanda para numerosos usos.
A pesar de lo anterior en el Instituto Cubano de los Derivados de la Caña de azúcar (ICIDCA), Almazán y otros (1982) lograron los primeros resultados de laboratorio y encontraron que era factible la sustitución de la miel final en el proceso de producción de levadura por el residual llamado vinaza que se produce en las destilerías de alcohol. Posteriormente Estévez (1999) comenzó a ejecutar ensayos en gran escala en las plantas de torula existentes en las Empresas Azucareras Antonio Guiteras de Las Tunas y Antonio Sánchez de Cienfuegos y a partir de este momento se ha estado perfeccionando la producción y empleando como fuente proteica en diferentes granjas del Ministerio del Azúcar, pero todavía sin una evaluación precisa de esta levadura obtenida sobre el nuevo sustrato.
El presente trabajo tiene con objetivo evaluar el comportamiento de cerdos en crecimiento al emplear la levadura torula producida sobre sustrato de vinazas tanto en forma seca como en crema en dietas de maíz.

Materiales y Métodos

Se utilizaron 160 cerdos comerciales Yorkshire-Landrace x Yorkshire (YLxY) de 25 kg de peso vivo los cuales fueron distribuidos en 4 tratamientos con 4 réplicas y 10 animales por réplica con igual proporción de machos y hembras mediante un diseño de clasificación simple y los tratamientos fueron: (I) Control de soya-maíz, (II) 11.4% soya + 12.5% levadura seca + 74% maíz, (III) 6% soya +18% levadura seca + 73.9% maíz y (IV) 3% soya + 74% maíz + crema de levadura equivalente a 21% levadura seca.

Los piensos secos se confeccionaron según las normas del NRC (1998) para que resultaran isoproteico-energéticas y fueron incrementando según el peso de los animales. En el tratamiento IV en el que se ofreció crema, se confeccionó un suplemento que se distribuía primero y posteriormente se dio la crema para cubrir la proteína que faltaba. El agua la recibieron ad libitum y el alimento 2 veces al día. Se consideró un frente de comedero de 25 cm/animal, suficiente para que todos los animales pudieran consumir al mismo tiempo.

Los animales fueron pesados al inicio, a los 28, 56 y 84 días en que terminó la prueba al parar la industria y no disponer de más crema para los animales 28 días más en ese momento. La composición de las dietas y las normas de consumo aparecen en las tablas I y II respectivamente. Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico INFOSTAT (2001). Para determinar la diferencia entre medias se empleó la dócima de comparación múltiple de Duncan (1955). La levadura fue producida en la fábrica Antonio Sánchez perteneciente a la industria azucarera del mismo nombre y el trabajo se ejecutó en la granja agropecuaria situada aproximadamente a 2 km de dicha fábrica.

Tabla I. Composición de las dietas experimentales (% base húmeda)

Componentes	Control soya-maíz	11.4% soya + 12.5% levadura seca + 74% maíz,	6% soya +18% levadura seca + 73.9% maíz	3% soya + 74% maíz + crema de levadura equivalente a 21% levadura seca.
Harina de soya	22.90	11.39	6.00	3.00
Levadura torula	-	12.51	18.00	-
Harina de maíz	75.00	74.00	73.90	95.20
CO_3Ca	0.50	0.50	0.50	0.50
Fosfato dicalcico	0.80	0.80	0.80	0.80
Cloruro de sodio	0.50	0.50	0.50	0.50
Premezcla vitam. y minerales	0.30	0.30	0.30	0.30
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
% PB	16.10	16.10	16.00	8.72

Tabla II. Escala de alimentación empleada.

Rango de peso, kg	Kg/animal/día, Tratm. I, II y III	Kg/animal/día Tratam. IV	Crema torula, kg/animal/día
20-30	1.80	1.2	2.5
30-40	2.00	1.3	2.9
40-50	2.20	1.5	3.0
50-60	2.40	1.7	3.2
60-70	2.60	2.0	3.3
70-80	2.80	2.0	3.4
80-90	3.00	2.0	3.5

Resultados y Discusión

No hubo muertes, desechos u otras anomalías en los animales durante el tiempo que duró la prueba; los animales consumieron todo el alimento ofrecido según la escala, lo cual es un buen síntoma para esta nueva forma de producir la torula. Es adecuado destacar que los primeros lotes de levadura producidos tenían un color oscuro que en las pruebas preliminares realizadas tanto en el Instituto de Investigaciones Porcinas como en el Instituto de Ciencia Animal no dieron buenos resultados en trabajos realizados con miel B como fuente de energía. Esta problemática parece que ha sido resuelta incrementando el lavado en la industria durante el proceso final de producción.

Como puede observarse (tabla III), no se encontraron diferencias significativas para el peso final, ganancia media diaria y conversión alimenticia en ninguno de los tratamientos en estudio donde se sustituyó parte de la soya por levadura seca o el tratamiento con crema. Debe destacarse que estos son los primeros resultados que se conocen al emplear la levadura torula producida sobre sustrato de vinazas en dietas de maíz en cerdos

en crecimiento. Anteriormente Cervantes y otros (1984) habían encontrado excelentes resultados al emplear la crema de levadura torula como única fuente proteica en cerdos en crecimiento pero era obtenida a partir de miel final de caña en dietas con mieles enriquecidas. Al emplear maíz se tiene la ventaja que este cereal aporta en la dieta entre el 50 y 60% del requerimiento proteico del animal en esta categoría.

Según Saura y otros (2002), la nueva tecnología de producir levadura torula a partir de la fermentación de la vinaza se continuará ajustando dado que la misma tiene varios atractivos económicos y ambientales como son reducir costos al sustituir la miel final por vinaza y ambiental por lo que representa este residual cuando se vierte en los cursos de agua superficiales y subterráneos.

Tabla III. Comportamiento de los animales.

Indicadores	Control soya-maíz	11.4% soya + 12.5% levadura seca + 74% maíz,	6% soya +18% levadura seca + 73.9% maíz	3% soya + 74% maíz + crema de levadura equivalente a 21% levadura seca.	ES ±
No. Animales	40	40	40	40	
Peso inicial, kg	25,5	26,1	26,0	25,8	0.3
Peso final, kg	75,9	77,3	74,7	73,7	0,3
Ganancia media diaria, g	600	610	580	570	20
Conv. Kg MS/kg aumento	4,5	4,4	4,6	4,7	0,1

Conclusiones

Se concluye que en dietas de maíz es factible sustituir el 75% de la proteína que aporta la soya en dietas secas y cuando se emplea la torula en forma de crema se sustituye alrededor del 90% de la proteína que aporta la soya. Lo cual es muy viable por lo que significa el ahorro en electricidad y petróleo para el secado.

Referencias bibliográficas

Almazán, O., Klibansky, M., Otero, M.A. (1982). Producción de proteína unicelular a partir de subproductos de la industria azucarera. Editorial Científico Técnica, La Habana, p. 74.

Cervantes, A., Maylin, A., y Ly, J. (1984). Cien. Tec. Agric., Ganado Porcino. 77,1-6.

Estévez, R. (1999). Manual de operaciones de las plantas de levaduras de vinazas. La Habana, Cuba.

Figueroa, V., Ly, J. (1990). Alimentación porcina no convencional. Serie Diversificación GEPLACEA-PNUD, Mexico D.F. 215 p.
Infostat (2001). Software estadístico. Manual de usuario Versión 1. Cordova, Argentina.
Lezcano, P. (1976). Utilización de las levaduras cubanas como suplemento proteico en dietas a base de mieles en la alimentación porcina. Tesis Dr. C. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba.
Mederos, C.M. (1993). Utilización de la miel rica en la alimentación de cerdos al destete. Tesis Dr. C. La Habana, Cuba.
NRC, (1998). Nutrient requeriment of domestic animals. Nutrient requeriment of swine. 8 ed. Washington DC. National Research Council, pp 11 a 119.
Saura, G., Valdez, I., Martínez, J.A., Reyes, E., Pascual, A., Otero, M.A. (2002). Rev. ICIDCA 36, 20-28.

LA ZEOLITA NATURAL CUBANA EN LA ALIMENTACIÓN DE ANIMALES MONOGASTRICOS BASADA EN MIELES DE CAÑA DE AZÚCAR.

M. Castro, Mayuly Martínez, Lázara Ayala, Y. Rodríguez, Julia Castañeda y
L. Hernández

Instituto de Ciencia Animal. Apartado 24, San José de las Lajas. La Habana, Cuba
mcastro@ica.co.cu

Resumen

La industria azucarera produce diversos renglones que se utilizan en la alimentación animal, los cuales permiten disminuir la dependencia en materias primas importadas destinadas a la fabricación de alimentos para las diversas especies que cubren las necesidades nutricionales de la población. Internacionalmente en la alimentación animal se emplean aditivos que mejoran la eficiencia de utilización de los alimentos. Se analizan las posibilidades de las zeolitas naturales cubanas del yacimiento Tasajeras, para incrementar la utilización de diversos productos y subproductos en la alimentación animal, obtenidos a partir de la industria azucarera. Se destaca que es posible sustituir totalmente los cereales de la dietas para cerdos de 35-65 kg por miel final disminuyendo a la vez los efectos laxativos que se presentan cuando se utiliza más de un 30% de dicho subproducto. También en cerdos en crecimiento (pos-destete) el empleo de la zeolita natural permite aumentar la eficiencia de utilización de la energía y la proteína .En cuanto al empleo de miel B en precebas y cerdas lactantes, la zeolita natural permite obtener resultados positivos. Se le da importancia a la eficiencia de la zeolita en la utilización de las proteínas y sus posibilidades para disminuir las emisiones del Nitrógeno metabólico contaminante del medio ambiente. Se recomienda el uso de este mineral como una eficaz ayuda para mejorar la utilización de los productos y subproductos provenientes de la industria azucarera que se emplean en la alimentación animal.
Palabras clave: zeolita natural, cerdos, mieles, caña de azúcar.

Abstract

The sugar industry produces diverse materials that are used in the animal feeding, which allow to diminish the dependence on imported sources of feed for the diverse species that cover the population´s nutritional necessities. Internationally, in the animal feeding, additives are used to improve the efficiency of use of the feeds. The possibilities of the Cuban natural zeolites from the Tasajeras deposit is analyzed to increase the use of diverse products and by-products from the sugar industry to feed monogastric animals. It is remarked that is possible to substitute the cereal of the diets totally for pigs of 35-65 kg for final molasses, at the same time diminishing the laxative effects that are presented when this by-product is used at levels more than 30%. Also, in growing pigs the employment of the natural zeolite allows to increase the efficiency of use of the energy and the protein. Respect to the utilization o molasses B in weaning pigs and lactating sows, the zeolite allows to obtain positive results. In relation with the efficiency of the zeolite is important it action in the digestion of the proteins and their possibilities to diminish the emissions of the Nitrogen metabolic pollullant of the environment. The use of this mineral is recommended as an effective help to improve the use of the products and by-products coming from the sugar industry that are used in the animal feeding.
Key words: natural zeolite, swine, molasses, sugar cane

Introducción

Las zeolitas naturales, debido a las propiedades derivadas de su capacidad de intercambio catiónico, su efecto en el complejo enzimático y su acción astringente, posibilitan mejorar la utilización de los nutrientes en todo tipo de alimento. Por su procedencia natural y por no acumularse en los tejidos de la canal, ya que no se absorbe en el tracto, constituyen un complemento eficaz para mejorar las dietas que se elaboren con productos y subproductos de la industria azucarera, muy especialmente las mieles de caña de azúcar (Castro 2008).

Es nuestro propósito mostrar los principales resultados que se han obtenido en la alimentación animal con algunos renglones provenientes de la industria azucarera cuando se combinan con la zeolita natural.

Materiales y métodos

Se ha utilizado la información generada en múltiples investigaciones realizadas con la zeolita natural procedente el yacimiento Tasajeras, localizado en las inmediaciones de Ranchuelo, provincia de Villaclara, tanto en el Instituto de Ciencia Animal de Cuba, como en otras instituciones de investigación del país.

La granulometría utilizada en el material zeolítico responde a los indicadores de calidad establecidos para su empleo en la alimentación animal, es decir, < 1 mm.

Las distintos tipos de mieles utilizados (final, B) fueron elaborados por la industria azucarera cubana, durante la etapa nacional de zafra.

El tipo de animal, diseños experimentales y procesamiento estadístico fueron establecidos según las indicaciones y los objetivos de investigación diseñados por las instituciones participantes.

Resultados y discusión

La miel final representa uno de los más importantes subproductos de la industria azucarera. Su empleo en cerdos se limita generalmente a un máximo de 30% de inclusión en la fórmula, debido a los efectos laxativos y al deterioro del comportamiento animal cuando se sobrepasa este nivel, ocasionados fundamentalmente por la alta carga mineral que introduce en la dieta, especialmente de potasio, así como de lo que se ha dado en llamar en este tipo de subproducto las sustancias orgánicas no identificadas.

El efecto astringente de la zeolita natural, así como un efectivo intercambio catiónico, ha posibilitado sustituir totalmente los cereales de la dieta para cerdos por miel final (65 %) controlando los efectos indeseables anteriormente señalados (tabla I) (Castro y Elías, 1978).

Tabla I. Comportamiento de cerdos (35-65 kg de peso vivo) con dietas de miel final (65 %) y zeolita natural.

	Niveles de zeolita natural, %				
Indicadores	**0**	**2.5**	**5.0**	**7.5**	**10.0**
Ganancia diaria, g	621	694	700	704	659
Conversión, kg Materia Seca/kg aumento	4.69	4.41	4.19	3.94	4.16
Materia Seca en excreta, %	14.5	17.5	16.0	18.2	18.8

La miel B, que en estos momentos está disponible en alguna medida para la producción porcina (aprox. 100 000 t), fue utilizada por Mederos y otros (1991) en la preceba porcina, categoría en la que lograron mejorar los indicadores productivos, especialmente las conversiones proteica y energética así como el peso final de la categoría (tabla II).

Tabla II Comportamiento de cerdos en preceba con dietas de miel B y zeolita natural (Mederos y otros 1991).

Indicadores	**Miel B**	**Miel B + zeolita natural**
Peso inicial, kg	6.7	6.7
Peso final, kg	25.2	28.5
Ganancia diaria, g	294	345
Conversión alimentaria	4.3	3.7
Conversión proteica	0.76	0.63
Conversión energética	67.9	55.6

Procesos digestivos en cerdos en crecimiento con mieles de caña de azúcar y zeolita natural.

Trabajos previos (Ly y otros 1997) demostraron un beneficioso efecto en la utilización de las proteínas, aspecto este de gran importancia en la alimentación basada en mieles de caña de azúcar, ya que este sistema obliga al aporte del componente nitrogenado totalmente a partir de un suplemento proteico, elemento este que requiere de precisión en la elaboración del mismo, ya que resulta el componente más costoso dentro de la dieta y que hoy se torna conflictivo, tal es el caso para la soya (tabla III).

Tabla III . Utilización del Nitrógeno con la zeolita natural.

	Zeolita dietética, %	
	0	**5**
Digestibilidad ileal del Nitrógeno, %	71..2	76..3
Retención del Nitrógeno		
% del consumo	43.7	49..5
% del digerido	61..5	64.7

En dietas donde la miel B sustituyó totalmente a los cereales importados (Castro y Ly 2006), la utilización de la zeolita natural desplazando proporcionalmente las fuentes de energía y proteína permitió darle un nuevo enfoque desde el punto de vista económico, tanto en la eficiencia que introduce como en la posibilidad de eliminar de forma total el empleo de cereales y también, aunque en una proporción menor (entre 2.5 a 5 %)

la fuente proteíca (harina de soya), materias primas , ambas, que en estos momentos alcanzan precios prohibitivos entre otros factores por su desvío a la producción de agrocombustibles. (Tabla IV).

Tabla IV Características de las dietas experimentales. (Castro y Ly 2006).

Ingredientes, % MS	**Zeolita natural, %**		
	-	**5**	**10**
Miel B de caña de azúcar	66.9	64.4 (-2.5)	61.9(-5.0)
Harina de soya	31.1	28.6 (-2.5)	26.1 (-5.0)
Zeolita	-	5.0	10.0
CaPO4H.2H2O	1.0	1.0	1.0
Vitaminas y minerales	1.0	1.0	1.0
Análisis, % MS			
Cenizas	5.90	10.63	15.35
Materia orgánica	94.10	89.37	84.65
Fibra cruda	1.89	1.73	1.58
N	2.50	2.32	2.13
Energía bruta, kJ/g MS	15.38	14.57	13.76
Ahorro, considerando sólo la h. soya, Dólares/t	-	14.45	28.90

La tabla V nos lleva a considerar que uno de los aspectos en que también hay una contribución importante al incluir la zeolita natural en las dietas de miel B, donde la proteína procede casi exclusivamente a partir de un suplemento, radica en la disminución de componentes tóxicos como el amoníaco que se produce debido al intercambio catiónico que exhibe entre sus propiedades mas destacables este aluminosilicato al retenerlo en sus canales estructurales, impidiendo su traslado desde el tracto gastrointestinal hacia el organismo animal con las consecuencias conocidas en cuanto a los gastos de nutrientes para su eliminación.

Tabla V Digestibilidad ileal en cerdos alimentados con dietas de mieles y niveles variables de una zeolita natural cubana (experimento 1). (Castro y Ly 2006).

Características de la digesta	**Zeolita natural, %**			EE ±
	-	**5**	**10**	
MS ileal, %	8.13a	12.24b	11.03b	0.38*
pH ileal	5.43a	5.72b	5.80b	0.04*
AGCC, mmol/100 g MS	147.9	97.2	82.7	9.5
NH3, mmol/100 g MS	49.1a	36.1a	13.1b	3.0*
Digestibilidad, %				
Materia seca	84.7	81.2	80.4	1.05
Materia orgánica	85.6	84.5	83.2	0.79
N	59.5	61.0	64.1	2.31+
Retención de N				
Por ciento del consumo	40.8	43.0	45.9	1.85+
Por ciento de la digestión	67.4	70.4	71.5	2.17

+ P<0.10; * P<0.05

ab Medias en la misma fila sin letra en común difieren significativamente entre sí P<0.05)

Con anterioridad, los trabajos de Mederos y otros (2004) ya habían incursionado con éxito en la reducción hasta de un 20% de las necesidades de proteínas señaladas por el NRC 1998 para los cerdos en crecimiento, aspecto que formó parte de las indicaciones para el empleo de los suplementos proteicos diseñados en la Tecnología de alimentación Nuprovim para el suministro conjunto con mieles enriquecidas (tablas VI y VII).

Tabla VI Composición de las dietas experimentales.

Ingredientes, %	**Requerimientos de proteína, % [1]**			
	100	**80**	**70**	**60**
Harina de soya	30. 06	23. 61	20..24	17..37
Cloruro de sodio	0.64	0.63	0.62	0.62
Fosfato dicálcico	2.31	2.28	2.23	2.21
Premezcla vit-min.	0.42	0.41	0.40	0.40
Zeolita natural	-	7.07	6.96	6.89
Miel B	66.57	66.10	69.56	72.61
Proteína bruta	12.60	9.87	8.50	7.30

1. NRC 1998.

Tabla VII Comportamiento de los animales.

Indicadores	**Requerimientos de proteína, %**				
	100	**80**	**70**	**60**	ES ±
Peso inicial, kg	15.3	15.1	15.3	15.2	0.32
Peso final, kg	91.7	91.9	91.8	91.4	0.43
Consumo materia seca, kg/día	2.364	2.405	2.446	2.469	0.05
Consumo proteína bruta, g/día	297a	236b	206c	179d	3.55 ***
Ganancia de peso, g/día	586a	601a	551b	499c	10.68 ***

Recientemente, Castro y otros (2007), han demostrado que además de poder sustituir los requerimientos de proteína a partir de la soya, en dietas para cerdos en crecimiento, se evita deteriorar considerablemente al medio ambiente con las emisiones de nitrógeno metabólico, al lograrse una mayor eficiencia en la utilización de este nutriente cuando se considera la zeolita natural en la formulación del alimento (tabla VIII).

Tabla VIII. Disminución de las emisiones nitrogenadas

	TRATAMIENTOS			
	CONTROL	ZEOLITA	AMINOACIDOS	
	(18 % PB)	**(16 % PB)**	**(16% PB)**	ES±
Nitrógeno consumido, g/día	43.2b	38.4a	38.4a	0.08 *
Nitrógeno total en heces, g/día	6.03c	4.0a	4.7b	0.02 ***
Nitrógeno total en orina, g/día	21.4c	8.0a	12.6b	0.06 ***
Nitrógeno total excretado, g/día	27.4c	12.1a	17.4b	0.3 ***
Reducción de la emisión nitrogenada, %	0	56	36	

También en cerdas lactantes (Díaz, Castro y Román 1991) lograron sustituir fuentes proteicas de importación con dietas de miel B y levadura torula (tabla IX) informando un mejor comportamiento con este tipo de alimentación al incluir la zeolita natural, además de contrarrestar los efectos relacionados con la fluidez de las excretas y la higiene en los cubículos de maternidad.

Tabla IX. Sustitución de materias primas importadas con zeolita para cerdas lactantes (Díaz, Castro y Román 1991).

		Zeolita natural, 400 g/animal/día	
Indicadores	**Control**	**Miel B + Lev. Torula**	**Miel B + suplemento proteico (soya)**
Peso al nacer, kg	1.21	1.37	1.10
Peso al destete, kg	5.97	6.18	5.94
Pérdidas de peso en cerdas, kg	25.1	30.7	27.5

En aves resulta de vital importancia económica incluir determinadas proporciones de subproductos que contribuyan a ahorrar cereales y disminuir los costos. La zeolita natural (Pérez y otros 1988) posibilitó sustituir hasta 10 % del cereal por miel final sin afectar los indicadores productivos en la alimentación de pollos de engorde (tabla X).

Tabla X. Efecto de la adición de zeolita a dietas con miel final (10 %) para pollos de engorde (Pérez y otros 1988).

	Nivel de zeolita natural, %		
Indicadores	**0**	**3**	**5**
Peso inicial a 14 días, g	209	212	210
Peso final, g	1741	1770	1749
Consumo pienso, g	3658	3504	3549
Conversión, kg alim./kg aumento	2.39	2.25	2.31

Conclusiones

La zeolita natural, mineral de factura nacional, resulta una importante ayuda a la hora de emplear los alimentos provenientes de la industria azucarera en la producción animal, lo que contribuye a hacerlos más eficientes, evitar importaciones y disponer de una mayor posibilidad de uso para tales renglones.

Se sugiere que al menos una de las influencias benéficas de las zeolitas naturales incluidas en las dietas de mieles para cerdos puede deberse a la reducción en la absorción, probablemente desde el ciego y el colon, de metabolitos indeseables.

La inclusión de zeolitas en el alimento determina un aumento en la eficiencia con que se digieren y absorben los compuestos nitrogenados en el canal alimentario de los cerdos, fundamentalmente en la zona prececal del mismo.

Se recomienda el uso de las zeolitas naturales cubanas en dietas para cerdos alimentados con dietas que contengan altas proporciones de mieles de caña.

Referencias bibliográficas

Castro, M., Elías, A. (1978). Rev. Cubana Cienc. Agric. 2, 169-174.

Castro, M., Ly, J. (2006) Revista Computadorizada de Producción Porcina. Volumen 12 (suplemento 1) Resúmenes de Porcicultura Tropical 2006.

Castro, M. (2008). III seminario internacional porcicultura tropical 2008 III taller del cerdo criollo. C. Habana. Cuba. 27 - 29 de mayo

Díaz, J., Castro, M., Román, B. (1991). Zeolite'91. 3rd International Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of natural Zeolites. Havana, Cuba. April/8-12. Abstract P.A. 2.

Ly, J., Laplace, J.P., Castro, M., Fevrier, C., Barbeu, A. (1997). Journal of Nutrition.17 : 496-510.

Mederos, C., Figueroa, V., García, A., Novo, O. (1991). Zeolite'91. 3rd International Conference on the occurrence, properties and utilization of natural Zeolites. Havana, Cuba. April/ 8-12. Abstract P.A. 14.

NRC. (1998). Nutrient requirements of swine. Nat. Res. Counc. Washington, D.C: Nat. Acad. Press, p 93.

Pérez, P., Fraga, L., Boffill, T., Pérez, N. (1988). Rev. Cubana Cienc. Agric. 22, 179-182.

LA MIEL RICA DE CAÑA EN LA ALIMENTACIÓN DE CERDAS LACTANTES

Mayuly Martínez, M. Castro, Lázara Ayala, L. Hernández y Estrella García

Instituto de Ciencia Animal. Apartado 24, San José de las Lajas. La Habana, Cuba
mayulym@ica.co.cu

Resumen

Se seleccionaron 45 cerdas lactantes del cruce comercial L_{35} x YL, de igual paridad (4-5 partos), para evaluar el efecto de la miel rica de caña combinada con una fuente de proteína (soya) o con pienso tradicional en su comportamiento productivo y conocer las ventajas económicas de emplear esta fuente energética. Las cerdas consumieron tres dietas de forma restringida: 1) Control (Pienso RL); 2) Pienso RL + Miel Rica y 3) Soya + Miel rica. Los resultados mostraron la menor pérdida de peso en las cerdas que consumieron la dieta 2), pero las pérdidas de las restantes dietas no sobrepasaron los 40 kg que se establecen para esta categoría. En cuanto al comportamiento productivo de las crías, las mejores ganancias se lograron con la dieta 2), pero con la dieta 3) este indicador no difirió del control. Los costos por cerda lactante y por cerdo destetado durante la etapa (USD) para las dietas estudiadas fueron: 1) 45.46 y 5.56; 2) 39.56 y 4.52; 3) 32.57 y 3.69. La utilización de miel rica en la alimentación de las cerdas lactantes no afecta su comportamiento productivo, ni el de sus crías y reduce los costos en valores de 19 y 34 % respectivamente.

Palabras clave: miel rica, alimentación, cerdas lactantes

Abstract

Forty-five lactating sows of the commercial crossbreeding L_{35} x YL of similar parity (4-5 farrowing) were selected to assess the effect of high-test molasses combined with a protein source (soybean) or with traditional feedstuff on the productive performance of these animals and know the economic advantages of this energetic sources. The sows consumed three diets in a restricted form: 1) Control (feedstuff for lactating breeder), 2) Feedstuff for lactating breeder + high-test molasses and 3) Soybean + high-test molasses. The results shower lower weight loss in the sows consuming the diet 2. However, the losses in the rest did nor surpass the 40 kg established for this category. The best gains in the productive performance of the offspring were attained in diet 2, but this indicator in diet 3 did not differ from the control. For the diets studied, the costs in USD per lactating sow and weaned piglet were: 1) 45.46 and 5.56, 2) 39.56 and 4.52 and 3) 32.57 and 3.69. The use of high-test molasses in the feeding of lactating sows did not affect their productive performance or that of their offspring and reduce the cost in 19 and 34 %, respectively.

Key words: high-test molasses, feeding, lactating sows

Introducción

Mundialmente, los países con elevadas producciones de carne de cerdo, producen grandes cantidades de alimentos para estos animales, fundamentalmente cereales y soya. En Cuba, es incuestionable que la producción de carne de cerdo, no se debe apoyar en la importación de cereales, por tanto, para poder sustentarla e incrementarla en los próximos años, se debe disponer de alimentos nacionales que respalden este propósito. La caña de azúcar puede ser una fuente importante, pues su fracción soluble puede tener diversas alternativas de uso con destino a la producción de carne de cerdo.

Las mieles son los principales derivados de la caña de azúcar, su concentración energética disminuye con el proceso de extracción de sacarosa en la industria. Mientras más enriquecida en azúcar es la miel, los resultados productivos de los cerdos son más comparables a los que se obtienen con dietas convencionales basadas en maíz (Figueroa y Ly 1990).

Dentro de las diferentes etapas del desarrollo de la vida, la lactancia es el período donde se obtiene la mayor eficiencia alimentaria y la mayor velocidad de crecimiento, pues un cerdito recién nacido puede, en cinco semanas, septuplicar su peso vivo. Por estas razones se hace necesario aprovechar al máximo dicho potencial, ya que el objetivo fundamental de la reproducción es obtener camadas numerosas con el mayor peso vivo posible y esto depende esencialmente de la producción de leche de las cerdas (Noblet y otros 1990; Noblet y Etienne 1990). Elsley (1991) demostró que existe una estrecha relación entre la energía ingerida en la lactancia y la cantidad de leche producida. En situación de déficit energético la producción lechera y el crecimiento de la camada generalmente disminuye y solo afectaciones a mediano o largo plazo serán observadas, ya que al producirse el déficit alimentario la cerda acentúa la movilización de reservas corporales (Barrios 1992).

El empleo de miel rica como única fuente de energía en la dieta de cerdas en lactancia es referida por Diéguez y Menchaca (1974), pero solo se comenzó a vislumbrar a partir de los resultados encontrados por Barrios y otros (1987). En trabajos posteriores se demostró su factibilidad desde el punto de vista de comportamiento reproductivo de las cerdas, mostrando incluso algunas mejoras respecto al sistema tradicional a base de maíz (Díaz y otros 1991; Barrios 1992; Barrios y otros 1999). A partir de estos resultados se decidió evaluar el efecto de la miel rica de caña combinada con una fuente de proteína (soya) o con pienso tradicional en el comportamiento productivo de reproductoras lactantes.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en la nave de maternidad de la Unidad Porcina del Instituto de Ciencia Animal. Se utilizaron 45 (15/tratamiento) cerdas lactantes de igual paridad (4-5), ubicadas en corrales individuales durante 42 días, durante los cuales recibieron los alimentos en dos raciones y agua a voluntad. Las dietas suministradas fueron las siguientes:

1- Control con Pienso RL (6 kg)
2- Pienso RL (5 kg) + Miel rica de caña (1 kg)
3- Soya (2.53 kg) + Miel rica de caña (5 kg)

Las tres dietas fueron balanceadas según los requerimientos nutricionales de las cerdas lactantes (PB=16 %, EM=3107 kcal/kg, Ca=0.80 % y P=0.65 %) (NRC 1998). La composición y los aportes del pienso RL aparece en la tabla I.

Tabla I Composición del pienso RL para las reproductoras lactantes.

Componentes	%	Aportes	
Maíz	74.3		
Soya	22.0		
Sal común	0.5	PB, %	16.00
Fosfato dicálcico	1.2	EM, kcal/kg	3169
Carbonato de calcio	1.4	Calcio, %	0.82
Premezcla (vit. y min.)	0.5	Fósforo, %	0.70

Las cerdas se pesaron en tres momentos: al llegar a maternidad (105-107 días de gestación), después del parto y al destete, determinándose la pérdida de peso durante la lactancia. Las crías (397) fueron pesadas al nacer, a los 21 días y al destete (42 días) para obtener las ganancias de peso, y se determinó la mortalidad.

Los resultados productivos se procesaron mediante un Análisis de Varianza de Clasificación Simple (Infostat versión 1.0) y las medias se compararon según dócima de Duncan (1955).

Resultados y Discusión

El comportamiento de las reproductoras lactantes aparece en la tabla II.

Tabla II Comportamiento de las reproductoras lactantes y sus crías.

Indicadores	Tratamientos			ES± y Sig.
	Control	RL+Miel rica	Soya+Miel rica	
Peso 105 d, kg	179.13	182.13	189.13	0.26
Peso postparto, kg	161.53	166.13	172.53	3.73
Peso destete, kg	131.20	142.67	135.40	4.69
Pérdida peso, kg	30.60^{ab}	23.87^{a}	37.13^{b}	2.82**
Crías vivas	2.92(8.60)	3.00(9.07)	3.00(9.07)	0.07

^{a,b} Medias dentro de cada fila con letras no coincidentes difieren significativamente entre sí a $P<0.05$ (Duncan 1955)
** $P<0.01$

Aunque las pérdidas de peso obtenidas muestran diferencias significativas, en los tres tratamientos se encuentran dentro del rango descrito para esta categoría (25-40 kg) por Lodge (1959), Lythgoe y Aherne (1986) y Kirkwood y otros (1987). En este sentido Etienne y otros (1991) y Barrios y otros (1998) obtuvieron un incremento de peso vivo de las cerdas durante la lactancia mediante el empleo de miel rica en su alimentación. Resultados igualmente satisfactorios fueron obtenidos por Obando y otros (1970) y Moncada y otros (1975) cuando sustituyeron los cereales por azúcar.

En nuestro experimento las pérdidas fueron menores en el tratamiento en que solo se sustituyó parte del cereal (dieta 2), pensamos esto es debido a un mejor balance de nutrientes en este caso, ya que en dieta de soya y miel rica (dieta 3), solo se tuvo en cuenta la proteína y la energía a la hora de realizar el balance, no

sucediendo así con las vitaminas y minerales, los que según Figueroa y otros (1990) son importantes durante la lactancia de las cerdas.

El comportamiento de las crías se refleja en la tabla III, donde se obtuvieron diferencias significativas en el peso al destete y las ganancias de peso vivo, encontrando los mejores resultados en las crías de las cerdas que consumieron la dieta 2 (pienso RL + miel rica), pero debemos apuntar que el comportamiento de las crías cuyas madres consumieron la dieta 3 (soya + miel rica) no difieren del control. Los incrementos de peso de las crías durante la lactancia dependen, según Hernández y Díaz (1987) y Barrios y otros (1999), fundamentalmente del aporte de nutrientes que realiza la leche de la cerda, o de un incremento en la producción láctea. En este sentido existen algunas evidencias que indican que cuando se sustituyen los cereales en la dieta de las cerdas lactantes por carbohidratos tales como la glucosa y/o fructosa se puede obtener una leche con mayor contenido de grasa (White y otros 1982). A similares resultados arribaron Barrios y otros. (1990) con un 20 y 49 % más de extracto etéreo en la leche de cerdas alimentadas a base miel rica en su primera y segunda lactancia respectivamente, lo cual se manifestó en mayores pesos de las camadas al destete. Asimismo, Díaz y otros (1988) y Barrios y otros (1998), aunque no analizaron la composición de la leche, destetaron crías más pesadas cuando sustituyeron el maíz por glucosa y fructosa, por azúcar y por miel rica respectivamente.

Los resultados nos indican que las crías de las cerdas que recibieron miel rica, realizaron la conversión de la energía de la leche en ganancia de peso vivo, con mayor eficiencia que la del maíz, probablemente debido a que consumieron una leche con un mayor tenor de grasa, como ha sucedido en la mayoría de las investigaciones realizadas sobre el empleo de la miel rica en la alimentación de cerdas lactantes.

En cuanto a la mortalidad, no se encontraron diferencias significativas entre dietas. Además este indicador no sobrepasa el 10 % descrito por Alonso y otros (2001) para esta etapa.

Tabla III Comportamiento productivo de las crías porcinas

Indicadores	**Tratamientos**			**Sign.**
	Control	RL+ Miel rica	Soya+ Miel rica	
Peso nacer, kg	1.29[a] ±0.01	1.32[a] ±0.01	1.40b[b] ±0.01	***
Peso 21 días, kg	5.03 ±0.11	4.67 ±0.11	4.88 ±0.11	N.S
Peso destete, kg	8.60[a] ±0.14	9.09[b] ±0.13	8.51[a] ±0.15	**
Ganancia 0-21d, kg	3.74[b] ±0.11	3.35[a] ±0.11	3.74[ab] ±0.12	*
Ganancia 21-42d, kg	3.59[a] ±0.14	4.43[b] ±0.14	3.64[a] ±0.15	***
Ganancia 1-42d, kg	7.31[a] ±0.13	7.78[b] ±0.13	7.14[a] ±0.14	**
Gan. Media Día, g	173.91[a] ±3.17	186.09[b] ±3.10	169.68[a] ±3.40	**
Mortalidad, %	9.96 ±2.76	8.21 ±2.71	9.80 ±2.71	N.S

[a,b] Medias dentro de cada fila con letras no coincidentes difieren significativamente entre si a P<0.05 (Duncan 1955)
* P<0.05 ** P< 0.01 ***P< 0.001

Al realizar una valoración de los costos de alimentación por cerdo destetado (tabla IV) obtuvimos que al introducir la miel rica en la alimentación de las cerdas lactantes se reducen los costos de las dietas en 19 y 34 % respectivamente. Esto se debe a sustitución parcial o total de los cereales los cuales son importados y constituyen aproximadamente el 70 % de los componentes de las mismas, lo que implica un importante gasto en divisas para el país.

Tabla IV. Costos por concepto de alimentación por cerdo destetado/cerda lactante

Alimentos	Costos/USD		
	Control	RL+ Miel rica	Soya+Miel rica
Miel rica	-	1.68	6.6
RL	45.46	37.88	-
Soya	-	-	25.87
Total	45.46	39.56	32.47
Costo/cerdo destetado, USD	5.56[c]	4.52[b]	3.69[a]
ES± y Significación	0.23***	0.23***	0.23***

[a,b,c] Medias dentro de cada fila con letras no coincidentes difieren significativamente entre si a P<0.05 (Duncan 1955)
*** P<0.001

Conclusiones

La utilización de miel rica sustituyendo parcial o totalmente los cereales en la alimentación de las cerdas lactantes no afecta su comportamiento productivo, ni el de sus crías y además reduce los costos por cerdo destetado al concluir la lactancia.

Referencias bibliográficas

Alonso, R., Cama, J.M., Rodríguez, J. (2001). El cerdo. (Ed. Félix Varela). La Habana. pp. 313-338.

Barrios, A., Lan, J.A., Figueroa, V., Alfonso, A. (1987), *Cienc. Tec. Agric., Ganado Porcino 10, 27-30.*

Barrios, A., Lan, J.A., Figueroa, V., y Alfonso, A., (1990*). Cienc. Tec. Agric., Ganado Porcino 13, 51-56.*

Barrios, A. (1992). Utilización de la miel rica en la alimentación de cerdas durante la lactancia. Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias. Instituto de Investigaciones Porcinas. Ciudad Habana, Cuba.

Barrios, A., Figueroa, V., Lan, J.A., Alfonso, A., Rosabal, M. (1998). *Rev. cubana Cienc. Agric., 31, 19-26*

Barrios, A., Figueroa, V., Lan, J.A., Alfonso, A., Rosabal, M. (1999). *Rev. cubana Cienc. Agric., 32, 65-72.*

Díaz, J., Castro, M., Díaz C.P., Barrios, A., Lezcano, P. (1988). Sistema de alimentación de reproductoras. Informe Final. p. 25-36.

Díaz, J., Castro, M., Román, B. (1991). Zeolita'91. 3rd Internacional Conference on the ocurrence, properties and utilization of natural zeolitas, Abstract. p.143.

Diéguez, F.J., Menchaca, M. (1974). *Rev. cubana Cienc. agri. 7, 287-290.*

Duncan, D.B. (1955). Biometrics 11: 1.

Elsley, F.W. (1991). Nutrition and lactation in the sow. (Falconer Butterworths ed.), London, pp. 391-395.

Etienne, M., Dourmad, A., Barrios, A., Noblet, J. (1991). *Journees Rech. Porcine en France. 23, 75-81.*

Figueroa, V., Barley, H.S., Ly, J., Maylín, A., Pérez, A., Carrillo, O. (1990). *Livestock Production Science. 25, 151-160.*
Figueroa, V., Ly. J.(1990). Alimentación Porcina No Convencional. (Ed. GEPLACEA), México D.F. pp. 26-29.
Hernández, A., Díaz, J. (1987). *Rev. cubana Cienc. agric. 21, 51-56.*
Kirkwood, R.N., Baidos, S.K., Aherne, F.X., Sather, A.P. (1987). *Can. J. Agric. Sci. 67, 405-415.*
Lodge. G. A. (1959). *J. Agri. Sci. 53, 177-191.*
Lythgoe, E.S., Aherne, F.X. (1986). 65th Feeders' Day Report, p 114.
Moncada, A., Obando, H., Gallo, J.T., Buitrago, J. (1975). Memorias ALPA. 10: 19-27.
Noblet, J., Dourmard, J., Etienne, M. (1990). *J. Anim. Sci. 68, 562- 569.*
Noblet, J., Etienne, M. (1990). *J. Anim. Sci. 64, 774-781.*
NRC. 1998. Nutrient requerimients of swine. Nat. Res Counc. Washington, D.C: Nat. Acad. Press, p 93.
Obando, H., Moncada, A., Maner, J.H., Gallo, J.T. (1970). *Rev. cubana Cienc. agric. 5, 411-418.*
White, C.E., Bazer, F.W., Bachman, K.C. Abstr. Ann. Meeting Ambr. Soc. Anim. Sci. and Cond. Soc. Anim. Sci. pp. 303.

EFECTO DE LA VINAZA DE DESTILERÍA DE ALCOHOL EN EL RENDIMIENTO DE POLLOS EN CEBA

Katia Hidalgo, B. Rodríguez, M. Valdivié y M. Febles

Instituto de Ciencia Animal,
Carretera Central km 47½, Apartado Postal No.24, San José de las Lajas, La Habana, Cuba
Teléfono: (062)99433 ó 99180-83 ext. 15
FAX: (53-7)8835382
E-MAIL: khsalomon@ica.co.cu

Resumen

Se utilizaron 240 pollos (machos) del híbrido EB-34 con 1 día de edad y 38 g como peso promedio inicial, para evaluar el rendimiento en canal y vísceras, al utilizar vinaza como suplemento en el sistema de alimentación. Se ubicaron en dos tratamientos y 12 repeticiones, según diseño completamente aleatorizado. El nivel de vinaza ofertado en el tratamiento experimental aumentó según la categoría en el sistema productivo. El peso final promedio fue de 1822 kg para el control y 2062 kg para el tratamiento experimental. Se hallaron diferencias ($P < 0.05$) en todos los indicadores relacionados con la carne a favor del uso de la vinaza de destilería. El peso de la canal fue de 1087.10 g y 1241 g. En cuanto el rendimiento visceral se observó un aumento en el peso del hígado de las aves de 47.30 g y 57.20 g, mientras que en molleja es menor 44.70 g y 42.30 g para el control y vinaza respectivamente. Se considera la posibilidad de uso de la vinaza de destilería en la dieta de pollos en ceba como aditivo, sin comprometer los indicadores productivos.

Palabras clave: *pollos, vinaza, rendimiento, canal, vísceras.*

Abstract

A total of 240 male broilers of the hybrid EB-34 with 1 d of age and 38 g of average liveweight were used to assess the performance and carcass in fattening when supplied distillers vinasses. They were allocated in two treatments with 12 repetitions, according to complete random design. The level of vinaza offered in the experimental treatment increased depending on the category in the production system. The final average weight was 1822 kg to 2062 kg and control for the experimental treatment. Differences were found ($P <0.05$) in all indicators related to the meat in favour of using the distillers vinasse. The weight of the carcass was 1087.10 g and 1241 g. As visceral performance was observed an increase in liver weights of broilers of 47.30 g and 57.20 g, whereas in smaller gizzard is 44.70 g and 42.30 g control and vinasse respectively. It is considering the use of distillers vinasse in the diet of chickens in fattening as an additive without compromising productive indicators.

Key words: chickens, vinasse, performance, carcass,

Introducción

En la actualidad, los países productores de alcohol, retoman alternativas para el uso de sus subproductos en la alimentación animal, fertilización de suelos y producción de metano, ya que al convertirse en residuos con cierto valor económico evitan el impacto que ocasionaría al medio ambiente su incorrecta disposición.

El producto que resulta de la destilación de la melaza fermentada en el proceso de producción de alcohol etílico se denomina vinaza de destilería. La utilización de este en la producción animal, representa una buena alternativa tanto para reducir los costos por concepto de alimentación, como para hacer más eficiente la utilización de otros nutrientes por el animal. (Lewicki, 2001, Stemme y otros 2005)

Gallo y otros (1986), realizaron estudios en el que evaluaron de forma preliminar, el uso de vinaza en la alimentación de pollos en ceba. La inclusión de vinaza se hizo en el agua de bebida a razón de 0, 25, 50, 75 y 100% de reemplazo del agua. Destacan como resultado, que las tasas de ganancia y conversión logradas con 20% de vinaza y grano de soya, son las mejores alcanzadas hasta la fecha en experiencias realizadas en Colombia.

La explicación del efecto estimulante sobre el consumo y por ende el comportamiento, quizás se encuentra en el alto aporte de vitaminas del complejo B presentes en la vinaza (Gohl 1991). Otro factor podría ser el aporte de la proteína, la cual se deriva de la levadura y tiene un buen balance de aminoácidos (Waliszewski y otros 1989).

La destilería Havana Club Internacional presenta un sistema adicional que aprovecha la temperatura y otros mecanismos para concentrar la vinaza. Este proceso de concentración a gran escala, se está ejecutando en Colombia y otros países, para facilitar su empleo en la alimentación animal. En Cuba, las experiencias con vinazas concentradas son muy pocas, por lo que su caracterización y el estudio del efecto en el comportamiento biológico y fisiológico de los animales es de vital importancia.

Por lo que se adoptó como objetivo, evaluar el rendimiento cárnico y visceral de los pollos en ceba, al utilizar la vinaza como suplemento dietético, conociendo que mejora el aprovechamiento de los nutrimentos de la dieta y los parámetros de salud de las aves.

Materiales y Métodos

Se utilizaron 240 pollos (machos) del híbrido EB-34 con 1 día de edad y peso promedio inicial de 38 g, para evaluar el rendimiento en canal y vísceras, al utilizar vinaza de destilería de alcohol como suplemento en el sistema de alimentación. Los animales se ubicaron en dos tratamientos con 12 repeticiones cada uno, según diseño completamente aleatorizado hasta los 42 días de edad.

El sistema de alimentación que se aplicó fue manual a voluntad con un programa de alimentación trifásico: inicio de 1 a 21 días; crecimiento de 22-35 días y acabado de 36 a 42 días. La dieta basal se elaboró con maíz-soya según los requerimientos de las aves (NRC, 1994) en forma de harina, y los tratamientos consistieron en la suplementación o no con vinaza de destilería. El volumen de vinaza suministrado aumentó en cada etapa de producción (inicio: 5 ml/animal/día; crecimiento: 10 ml/animal/día y finalización 15 ml/animal/día.

Los animales se alojaron en jaulas metálicas de 1.06 m^2 con 12 pollos/jaula, con bebederos niple y 1.20 cm de frente de comedero.

Las aves recibieron 24 h de iluminación durante los 42 días de crianza. Se vacunaron contra viruela, New Castle y Gumboro. Además, se realizó observación clínica diaria, control de la mortalidad y necropsia a los animales muertos y enfermos

A los 42 d de edad se sacrificaron 10 animales por tratamiento, para determinar el rendimiento total en canal, pechuga, muslos + piernas, vísceras y grasa abdominal. El rendimiento en canal se calculó con los registros de peso vivo en ayuna.

Tabla I. Composición y aporte de la dieta basal en BH.

Materia prima	**Inicio (1-21días)**	**Crecimiento (22-35días)**	**Acabado (36-42 días)**
Harina de maíz	46.48	54.16	59.22
Harina de soya	43.86	35.61	31.28
Aceite de girasol	5.39	5.74	5.02
Fosfato dicálcico	1.54	1.89	1.89
Carbonato de calcio	1.32	1.19	1.21
Sal común	0.25	0.25	0.25
Premezcla de vitaminas y minerales	1.00	1.00	1.00
DL-Metionina	0.16	0.16	0.13
Análisis calculado			
EM, Kcal/kg MS	3100	3200	3200
PB, %	23	20	18.5
P disponible, %	0.40	0.45	0.45
Ca, %	0.95	0.95	0.95
Met. + Cist , %	0.90	0.85	0.80
Lisina, %	1.34	1.13	1.01

Tabla II. Análisis de nutrimentos en la vinaza (BS) según AOAC, 2000.

Proximal	**Unidades**	**Resultados**	**Método**
Humedad	%	79.04	Gravimetría
Materia seca	%	20.96	Por diferencia
Proteína cruda	%	2.04	N Total x factor
Cenizas	%	5.37	Calcinación a 600 ºC
Partición de fibras			
Fibra Detergente Neutro	%	3.32	Van Soest
Fibra Detergente Ácida	%	0.02	Van Soest
Minerales			
Fósforo (como P-PO_4)	%	0.18	Emisión Atómica (ICP)
Calcio	%	0.46	Emisión Atómica (ICP)
Potasio	%	1.38	Absorción Atómica
Sodio	%	0.05	Emisión Atómica (ICP)
Azufre (como S-SO_4)	%	0.87	Turbidimetría
Hierro	ppm	1054	Emisión Atómica (ICP)

El procesamiento de los datos se realizó mediante el sistema de cómputo de datos INFOSTAT (2001) y cuando fue necesario se docimaron las diferencias entre medias según Duncan (1955) para P< 0.05

Resultados y Discusión

Se encontraron diferencias con respecto al peso vivo de los animales, los cuales respondieron a favor del uso de este residuo. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Chará y Suaréz (1993), en el que los animales toleraron niveles de reemplazo de jugo por vinaza hasta un 40% sin afectar la tasa de crecimiento. Al que otros estudios realizados por Sarria y Preston (1992) realizados en Holanda, donde demostraron de que con el empleo de vinaza concentrada era posible mejorar la rapidez de crecimiento en un 5% y disminuir el precio de la ración en 15%, recomendando para las aves entre 2 y 3 % de inclusión en la ración.

Tabla III. Comportamiento productivo de pollos en ceba al suplementar con vinaza

Indicadores productivos	**Control**	**Vinaza**	**EE (±)**
Consumo de alimento(g/ave)			
21 días	808	828	12
35 días	1508	1504	10
42 días	3300	3309	21
Peso vivo (g/ave)			
21 días	567	575	10
35 días	1123	1350	18***
42 días	1822	2062	0.01***
Conversión alimenticia (kg alimento/kg de peso vivo)	2.08	1.86	0.04**
Viabilidad, %	99,51	97,61	0,67

Las diferencias entre tratamientos fueron detectadas según Duncan (1955). P<0,001*** P<0,01**

No comportándose de igual manera para las mediciones realizadas a la canal; ya que estos no encontraron diferencias en la canal, ni en longitud del aparato digestivo entre los tratamientos y en nuestros resultados se observa una marcada diferencia en cuanto a la canal y sus cortes a favor del tratamiento experimental.

Tabla IV. Rendimiento de los pollos a los 42 días de edad

Medidas	**Control**	**Vinaza**	**ES(±)**
Rendimiento cárnico			
Canal, g	1087.10	1241.60	16.0816***
Pechuga, g	281.20	326.90	7.4051***
M+P, g	390.60	449.80	7.0742***
Rendimiento visceral			
Pescuezo, g	84.70	87.20	2.6412
Hígado, g	47.30	57.00	2.5605*
Molleja, g	44.70	42.30	1.5884
Corazón, g	12.80	14.20	0.5831
Grasa abdominal			
Grasa, g	24.10	23.10	1.7445

P < 0.05 * P < 0.01 ** P < 0.001 ***

Los resultados de este estudio nos permiten realizar un análisis donde debemos resaltar que actualmente la vinaza es una seria fuente de contaminación ambiental en nuestro país; por lo tanto, las ventajas de poder utilizarla en la dieta de los pollos van mas allá que el simple rendimiento económico, ya que ofrece una solución a la problemática actual donde se descarga en los ríos y mares con consecuencias muy negativas sobre el medio ambiente.

Conclusiones y recomendaciones

- El empleo de la vinaza permitió una mayor ganancia de peso vivo y mejora en la conversión alimenticia de los pollos de ceba.
- El rendimiento cárnico de los pollos se ve beneficiado al utilizar la vinaza de destilería en el sistema de alimentación.
- Es necesario profundizar en los estudios fisiológicos y biológicos ya que traería ventajas económicas y ambientales para la producción animal en Cuba.

Referencias bibliográficas

AOAC. (2000), Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistries. 17th Edition. Arlington, Virginia

Duncan, D., B. (1955). 11:1

Gallo, B. J. D, Ospina, P. H., Santos, V. E. (1986). Acta Agronómica 36: 207-220

Gohl, B. (1991), Tropical feeds (edición computarizada). Oxford Computer Journals: Oxford and FAO: Roma

INFOSTAT. (2001), Balzarini, G. M., Casanoves, F., Di Rienzo, I. A., González, L. A & Robledo, C. W. Software estadístico. Manual de usuario. Versión 1. Córdova, Argentina.

Lewicki, W. (2001). International Sugar Journal. Vol. 103:126-132

Sarria, P., Preston, T.R.(1992). Livestock Research for Rural Development, 4:14-22.

Stemme, K., Gerdes, B., Hams, A., Kamphues, J. (2005). Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. ISSN 0931-2439. pp. 179

Waliszewski K, Reta R, García, J. (1989). Tecnología Avipecuaria 2:19-25

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA INVERSIÓN DE UNA PLANTA DE LEVADURA FORRAJERA

Autores: MSc. Indira Pérez Bermúdez, Ing. Norge Garrido Carralero, Ing. Gustavo Saura, Ing. Julio Martínez, Ing. Francisco Diez, Lic. Miguel Otero, Téc. José Antonio Gómez

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: indira.perez@icidca.edu.cu**.**

RESUMEN

En el trabajo se analiza la inversión de una planta de levadura forrajera como tratamiento de los residuales de destilerías de alcohol permitiendo la eliminación de las vinazas, corriente altamente contaminante al medio ambiente. En el mismo se determina la capacidad necesaria de la planta para utilizar las vinazas de una destilería de 700 000 l/d y se realiza la valoración técnico económica de la inversión calculando los indicadores económicos fundamentales.

ABSTRACT

In the present work it is analyzed the investment of a Torula yeast plant like treatment of the alcoholic distillery wastewater (vinasses), highly polluting stream to the environment. The necessary capacity of the plant is determined to use all the vinasses generating by a distillery plant of 700º000 l/d and it is carried out the economic evaluation of the investment calculating the fundamental economic indicators.

Palabras claves: Diversificación, alcohol, levadura forrajera Diversification, alcohol, Torula yeast

INTRODUCCIÓN

En momentos en que la humanidad debate fuertemente sobre su futuro en relación a varios asuntos prioritarios e impostergables de la agenda mundial, entre los que están el tema de la pobreza, el de la alimentación y el del agua; hay otros tópicos que también complementan esa preocupación y entre ellos se encuentra el cuidado del medio ambiente.

La conservación del medio ambiente resulta fundamental para todos los países que aspiren y pretendan garantizar a sus habitantes una mejor calidad de vida en todos los sentidos en los actuales momentos y principalmente, en el futuro inmediato.

La utilización de residuales industriales resulta siempre una buena alternativa, ya que con su tratamiento se evita que se contamine el medio ambiente. De esta forma un desecho pasa a ser una materia prima, cuyo empleo resulta ser siempre económicamente ventajoso (**Herrera, 1998**).

La industria azucarera y de derivados es una de las más contaminantes por tanto las soluciones de aprovechamiento integral de sus subproductos y residuales es una meta para lograr la sostenibilidad de esta industria y su compatibilidad con el medio ambiente.

Un residual de gran potencialidad es el proveniente de la industria alcoholera: las llamadas vinazas de destilerías. Históricamente estas han sido consideradas como un subproducto indeseable de la destilación de alcohol y aún lo sigue siendo en la mayoría de los países productores de alcohol, ya que es un residuo que genera efectos secundarios indeseables tales como contaminación de ríos, fuentes de aguas subterráneas, mares cercanos a las destilerías y suelos cuando es empleada indiscriminadamente.

El empleo de las vinazas en la producción de levadura forrajera es una opción de tratamiento con la que se lograría una reducción del impacto medioambiental negativo ya que se obtendría la disminución de su valor contaminante hasta un 70% aproximadamente, pudiéndose de esta forma emplear la corriente resultante como enmienda orgánica o agua de regadío (**Saura, G y otros, 2003**).

En este trabajo como parte del proyecto de etanol con Venezuela se realiza el análisis de la inversión de una planta de levadura forrajera como tratamiento de este residual obtenido de la destilación de mostos de la fermentación a partir de jugo de caña. En el mismo se determina la capacidad necesaria de la planta para utilizar las vinazas de una destilería de 700 000 l/d y se realiza la valoración técnico económica de la inversión calculando los indicadores económicos fundamentales y realizando la comparación con diferentes capacidades de producción.

DESARROLLO

Las vinazas de destilerías son un líquido negro – rojizo con un contenido de sólidos de 2 -4 % y una DQO de alrededor de 35 Kg/m^3 cuando se derivan de la fermentación de jugos. El volumen obtenido es de aproximadamente 12 – 15 m^3 por m^3 de alcohol producido. (Figura 1).

Figura 1. Vertimiento de vinazas de destilerías al medio.

Cuando se emplean las vinazas para la producción de levadura forrajera el ciclo de producción del complejo: planta procesadora de caña – destilería – levadura forrajera quedaría como se muestra en la Figura 2.

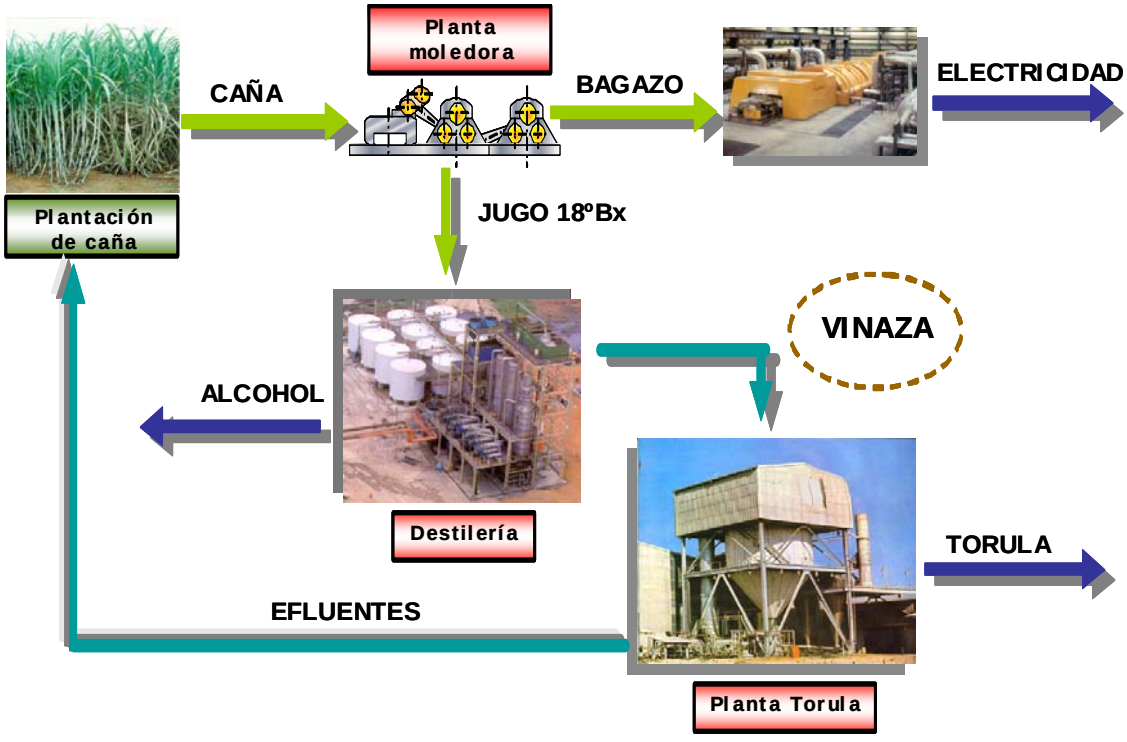


Figura 2. Esquema general ciclo de producción del complejo: planta procesadora - destilería - planta de levadura Torula

La producción de levadura forrajera tiene dos propósitos, en primer lugar como tratamiento de residuales ya que permite reducir la carga orgánica en al menos 50% y en segundo lugar para la formulación de alimento animal como complemento dietético debido a su alto contenido de proteína y vitaminas, especialmente del complejo B.

El proceso de producción de levadura forrajera a partir de vinazas es similar al que se realiza a partir de mieles de caña. Se caracteriza por ser un proceso continuo en el cuál las vinazas aportan la fuente de energía y se lleva a cabo mediante 6 unidades básicas de proceso:

1. Recepción y preparación de materias primas
2. Preparación de sales nutrientes
3. Fermentación y desemulsión
4. Separación y lavado
5. Termólisis y concentración
6. Secado y envase

Con estas operaciones se garantiza la obtención del producto final con un 92 % m.s. Los equipos fundamentales que cargan el valor de la inversión son los fermentadores, centrífugas, evaporadores y secador spray.

Una destilería de 700 000 l/d a razón de 12 L de vinazas / L de alcohol producido vertería al medio 8400 m^3/d de vinazas lo que correspondería con una capacidad de 80 t/d de levadura forrajera si se considera una concentración de 10 Kg/m^3 en la fermentación. En este caso de estudio la capacidad asciende a 100 t/d ya que la corriente de levadura Saccharomyce obtenida en la destilería será enviada al proceso de concentración de la planta de levadura forrajera.

Consideraciones para el balance económico

Para el análisis se empleó el software SuperPro Designer 5.1, que permite además de la simulación del proceso, realizar el cálculo de la inversión y demás indicadores económicos: el tiempo de recuperación de la inversión, la tasa de retorno (TIR) y el valor actualizado neto (VAN).

Se tomaron en cuenta los índices económicos fundamentales como son, costo de producción y costo de inversión. Para el cálculo del costo de inversión de la instalación se consideró el costo del equipamiento tecnológico a partir de ofertas de suministradores así como los costos directos y los indirectos. Los precios de las materias primas y del producto final corresponden a los valores actuales del mercado venezolano.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la Figura 3 se muestra el desglose de la inversión de la planta de 100 t/d. Como puede apreciarse dentro de la misma el monto del equipamiento tecnológico es el que más incidencia tiene con un 54% debido fundamentalmente a la presencia de equipos que son costosos como por ejemplo el secador spray. De los demás aspectos considerados en la inversión las Obras de Ingeniería Civil también tienen una influencia grande con un 28% ya que se consideró dentro de este acápite todas las inversiones correspondientes a los movimientos de tierra, construcción de edificios, instalación de tuberías de proceso, instrumentación y aislamiento.

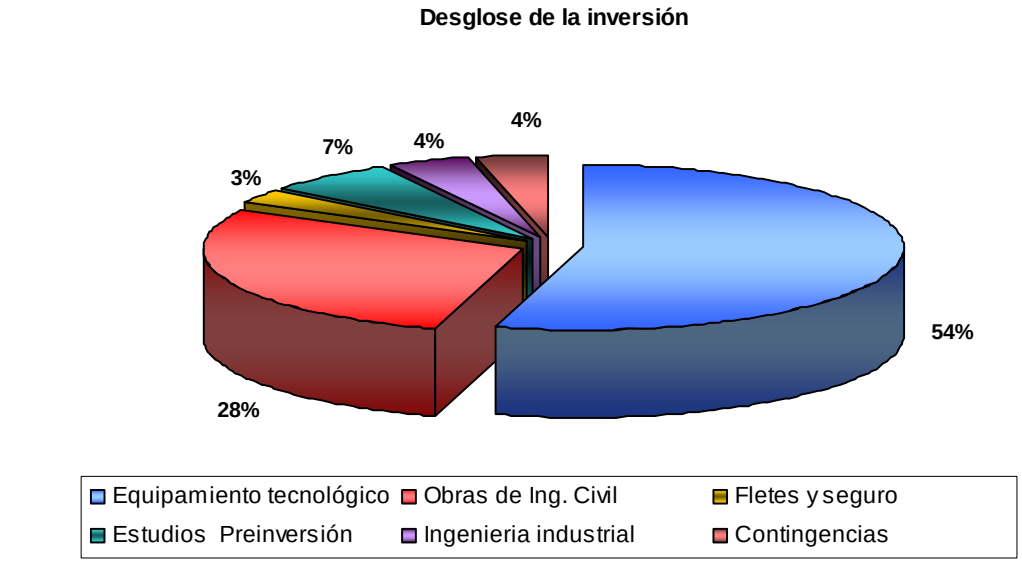


Figura 3. Desglose de la inversión de una planta de levadura forrajera de 100 t/d.

Si se analiza la inversión para diferentes capacidades podemos observar en la Figura 4 que para los valores tomados de 65, 85 y 100 t/d a medida que disminuimos la capacidad las inversiones van decreciendo.

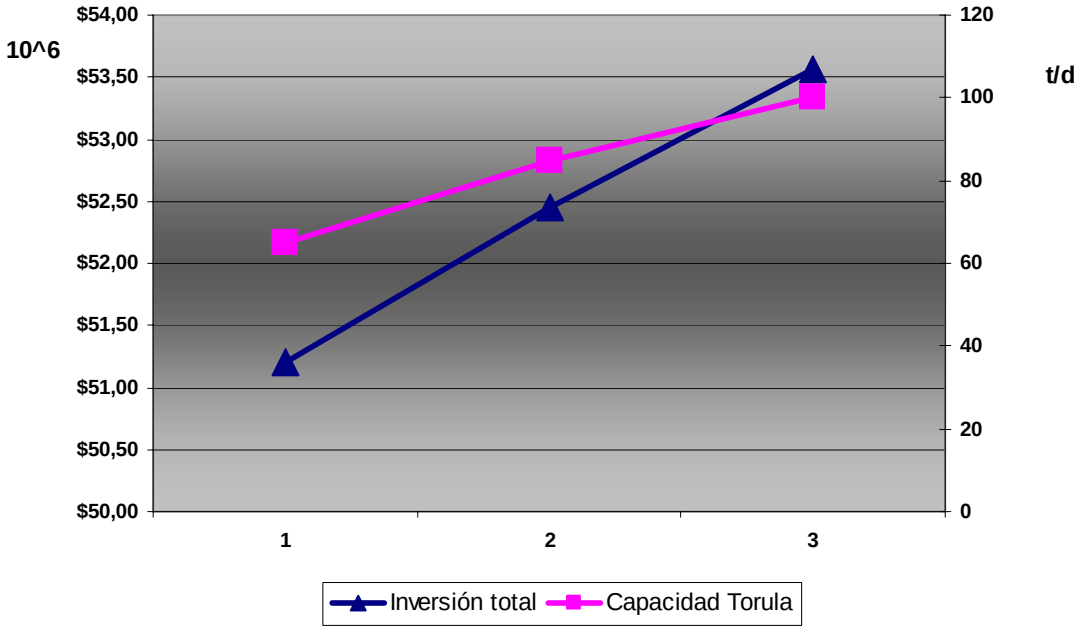


Figura 4. Comportamiento de la inversión para diferentes capacidades de producción.

Si analizamos los parámetros que más afectan el costo de producción podemos observar en la Figura 5 que en el costo de operación ($ 2 404 000 para 65 t/d, $ 2 904 000 para 85 t/d y $ 3 466 000 para 100t/d), el costo de las materias primas y el costo de mantenimiento y depreciación tiene valores semejantes, representando del total un 41 y 39% respectivamente. En este caso a medida que aumenta la capacidad el costo de producción disminuye alcanzando valores de 251 $/t para capacidades de 100 t/d y esto sucede porque a pesar de que los costos variables aumentan por ser proporcionales a la capacidad, los costos fijos disminuyen (Ver Figura 6).

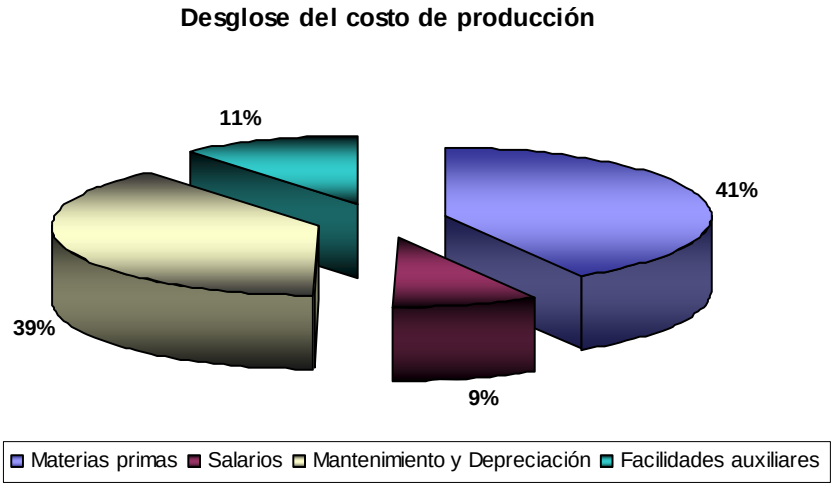


Figura 5. Desglose del costo de operación.

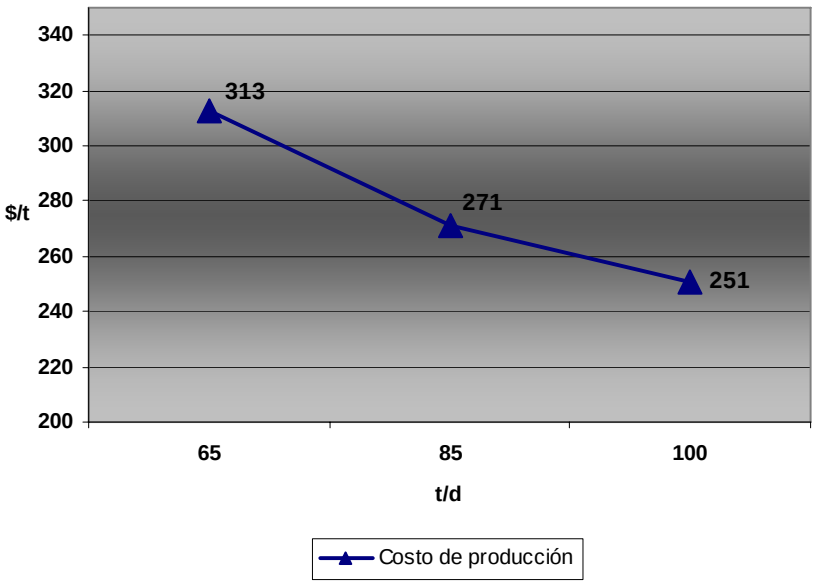


Figura 6. Costo de producción para las diferentes capacidades.

Tabla I. Indicadores económicos

Capacidad Torula (t/d)	Costo de Producción ($/t)	Inversión 10^6 ($)	Tiempo de recuperación (años)	TIR (%)	VAN ($)
65	313	51.21	12.61	7.93	-33 995 000
85	271	52.46	9.83	10.57	-21 161 000
100	251	53.56	8.51	11.75	-12 183 000

Los indicadores económicos obtenidos para cada capacidad aparecen en la Tabla I. En la misma podemos observar que los períodos de recuperación de la inversión disminuyen a medida que aumenta la capacidad y para el caso de la planta de 100 t/d tiene un valor de 8.51 años correspondiéndole un tasa interna de retorno de 11.75 %. El tiempo de recuperación de la inversión es alto principalmente porque son inversiones grandes y los costos de producción son altos y el precio del producto final está limitado por los precios de la soya en el mercado internacional.

No obstante esta propuesta se sustenta en que para los países que son altos productores de alcohol, resulta ventajosa la producción de levadura Torula a partir de vinazas de destilerías como una opción para el tratamiento de este residual porque se ahorrarían el pago de las altas cuotas por la contaminación que provoca al medio ambiente su vertimiento así como contarán con un producto de un valor proteico similar a otras fuentes utilizadas para la preparación de alimentos balanceados para la alimentación animal.

CONCLUSIONES

1. La producción de levadura forrajera resulta una vía para el tratamiento de residuales alcohólicos y brinda una alternativa de fuente proteica para la alimentación animal.
2. Los valores de las inversiones para este tipo de plantas son altos y están influenciado principalmente por la adquisición del equipamiento tecnológico, que representa el 54% del total.
3. A medida que aumenta la capacidad de 65 a 100 t/d los valores de inversión aumentan y disminuyen los costos de producción.
4. Para una planta de 100 t/d la inversión será aproximadamente de $ 53 563 950, el costo de producción 251$/t y se obtendrían indicadores económicos aceptables para la magnitud de la misma con un tiempo de recuperación de 8.51 años y 11.75 de TIR.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFÍCAS

1. (2003)“Nueva planta de levadura Torula”. *CubaAzúcar*, Vol XXXI, No. Especial, Marzo
2. Almazán, A; González, L (1998). “Alcohol etílico. Materias primas y medio ambiente”. *ICIDCA*, Vol XXXII, No. 2.
3. Estévez, R. E y otros (1999). “Manual de operaciones de las plantas de levadura de vinazas”.
4. Herrera, N; Díaz, I (1998). “Los residuales de la industria alcoholera como fuente de sustrato para la producción de proteína unicelular. *CentroAzúcar*, No. 3, 16-19.
5. Luna, N; Bedolla, E, Valdés Z. (1990). “Constituyentes y propiedades químico físicas de las vinazas de destilerías cubanas”. *Informe interno*. ICIDCA.
6. Saura, G et al (2002). “Análisis operacional del complejo destilería – planta de levadura en el CAI Antonio Guiteras. Parte I”. *ICIDCA*, Vol XXXVI, No. 1.

7. Saura, G et al (2002). “Análisis operacional del complejo destilería – planta de levadura en el CAI Antonio Guiteras. Parte II”. ICIDCA, Vol XXXVI, No. 2.
8. Saura, G; Otero, M.A; Martínez, J:A y otros (2003). “Propagation of yeast biomass from destillery wastes. Process and production evaluation”. *International Sugar Journal*, Vol 105, Issue 1249, 36-40.

EVALUACIÓN DE LA LEVADURA DE VINAZAS EN LA ALIMENTACIÓN DE PECES COMERCIALES

José E. Llanes Iglesias, José Toledo Pérez y José M. Lazo de la Vega Valdez.

Centro de Preparación Acuícola Mampostón. Carretera Central Km. 41, Morales,
San José de las Lajas, La Habana. Cuba. CP 32700.
jellanes@telemar.cu

RESUMEN

Se ensayaron dos dietas experimentales que difirieron en el porcentaje (10 y 20) de inclusión de levadura de torula obtenida a partir de vinazas de destilería, como sustituto parcial de la harina de pescado en el Alimento Comercial utilizado en el alevinaje superintensivo de *Clarias gariepinus* (1,30±0,01g peso promedio inicial). El diseño experimental fue un completamente aleatorizado y el análisis estadístico se realizo mediante el análisis de varianza y las medias se compararon a través del test de Duncan al 5%. Los resultados mostraron que los indicadores de crecimiento, conversión alimentaría, eficiencia proteica y tasas de supervivencias no fueron afectadas por los niveles de levadura evaluados (P>0,05). Se concluye que la levadura de vinazas puede sustituir un 20% de harina de pescado en el Alimento Comercial de alevinaje de *Clarias spp*, con un ahorro de 25,26% por conceptos de alimentación.

Palabras clave: alimentación, clarias, levadura, vinazas, torula.

ABSTRACT

Two diets, which differ in the percentage of inclusion of vinazas yeast (10 and 20 %), were tested as partial substitutes of fish meal in commercial feed, used in intensive fingerling farming of *Clarias gariepinus* sp.(1,30±0,01g average initial weight). The experimental design was completely randomized and the statistical analysis of the results was done through analysis of variance and the results were compared through the Duncan test at 5%. The results showed that growth indicators, feed conversion rate, protein efficiency and survival rate were not affected by the vinazas yeast levels evaluated (P>0,05). It is concluded that the substitution of 20% of fish meal with vinazas yeast in Commercial Fingerling Feed for *Clarias sp* is possible, with a 25,26% reduction of costs in relation to feeding concepts.

Keywords: feeding, clarias, yeast, vinazas, torula.

INTRODUCCIÓN

La tecnología de cultivo de *Clarias spp.* contempla una etapa de alevinaje superintensivo para obtener peces de 10 gramos de peso promedio en 35 días, utilizando un alimento balanceado comercial de 48% de proteína bruta, cuya base es la harina de pescado (60% de inclusión), pero en la actualidad es difícil su adquisición por la poca disponibilidad de de esta materia prima dado sus precios en el mercado internacional.

En nuestros días las proteínas unicelulares tales como microalgas, bacterias y levaduras se han convertido en fuentes no convencionales de mucha importancia en la alimentación animal. De ellas, las levaduras son usadas con mayor frecuencia en las formulaciones de alimentos acuícolas por ser una fuente rica en proteínas, vitaminas del complejo B, carbohidratos complejos y nucleótidos (Olvera-Novoa *et al*. 2002; Li y Gatlin, 2006), además de poseer niveles más bajos de fósforo que ayudarían a disminuir la contaminación del agua y el ambiente en relación a la harina de pescado y otras proteínas vegetales (Cheng *et al*. 2004).

Hoy la Agroindustria Azucarera Cubana produce una levadura de torula (*Candida utilis*) a partir de la fermentación de residuales del proceso de obtención de etanol llamada levadura de vinazas, la cual no difiere significativamente en cuanto a su calidad nutricional de la obtenida sobre mieles finales de caña (Saura, 2006).

En tal sentido, el objetivo de este trabajo es evaluar dos niveles de inclusión (10 y 20) de levadura de vinazas como sustituto parcial de la harina de pescado en el Alimento Comercial utilizado en el alevinaje superintensivo de *Clarias gariepinus.*

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron alevines de *Clarias gariepinus* (1,30$\pm$0,01g peso promedio inicial), los cuales fueron distribuidos en grupos de 70 en recipientes de fibra de vidrio con capacidad de 64 litros (1000 peces/m^3), correspondiendo 3 recipientes/ tratamiento. Durante el bioensayo el flujo de agua se estandarizo en los recipientes a 0.2 l/ minuto y se tomaban los valores de temperatura y concentración de oxígeno disuelto con un Oxímetro *HANNA.*

La levadura de vinazas utilizada en este estudio fue adquirida en el Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) cuya composición química se presenta en la Tabla I y con la cual se ensayaron dos dietas experimentales que difirieron en el porcentaje (10 y 20) de inclusión de esta materia prima, como sustituto parcial de la harina de pescado en el Alimento Comercial (AC) utilizado en el alevinaje superintensivo de *Clarias spp* (Tabla II).

Tabla I. Composición química de la levadura de vinazas

Indicador	%
Materia seca	91,89
Proteína bruta	44,03
Extracto etéreo	1,21
Fibra bruta	0,63

Tabla II. Composición porcentual y química de las dietas experimentales

Ingredientes	D1 (AC)	D2 (10)	D3 (20)
Harina de pescado	60	50	40
Levadura de vinazas	**0**	**10**	**20**
Harina de soya	15	15	18
Harina de trigo	19	19	16
Aceite Vegetal	4	4	4
Premezcla de Vit-Min	1	1	1
Dextrana	1	1	1
Total	100	100	100
Proteína Bruta (%)	47,86	46,01	45,12
Extracto etéreo	9,35	8,89	8,01
Extracto libre de nitrógeno	18,02	21,09	23,34
Energía digestible (Kcal/Kg.)	3209	3138	3046

Para la preparación de las dietas se molinaron las harinas a 250 um en un molino de martillo, mezclándose en seco hasta su homogenización (10 minutos), luego se agrego agua (30% del peso seco) y se continuo el mezclado (10 minutos). Posteriormente, la mezcla se peletizó en un molino de carne JAVAR 32 (manufactura colombiana), con un disco de orificios de 3mm. Los pellets fueron secados en una estufa con ventilación forzada a 55°C durante 48 horas.

Los análisis químicos de las dietas fue determinado según los métodos descritos por la AOAC (1995) y la energía digestible (ED) se calculo utilizando: 3.00 Kcal/g para carbohidratos (no leguminosa) y 2.00 (leguminosa), 4.25 proteína animal, 3.80 proteína vegetal y 8.00 para lípidos (Pezzato *et al*. 2001).

Dadas las diferencias de proteínas bruta entre las dietas experimentales, la tasa de adición de alimento fue calculada según el procedimiento descrito por Llanes *et al.* (2007), utilizando 7,50 g proteína bruta/ 100 g peso vivo como requerimiento de *Clarias gariepinus* (1,00 g de peso promedio), correspondiendo 15,67% del peso corporal/día para la D1; 16,33% para la D2 y 16,65% para la D3, las cuales fueron suministradas cuatro veces al día (8:30, 11:30, 14:00 y 16:30 horas) durante 40 días. Cada 10 días se realizaba un muestreo a todos los peces para el ajuste de la ración.

Los Indicadores nutricionales evaluados fueron: Peso medio final; Ganancia diaria = PF – PI / tiempo de cultivo; Eficiencia Proteica =Ganancia en peso/ Proteína suministrada; Conversión alimentaría =Alimento añadido /Ganancia peso; Supervivencia (S)= No. Animales finales/ No. Animales iniciales x 100.

A estos indicadores se les realizó una prueba de normalidad y homogeneidad de varianza y un análisis de varianza de clasificación simple. Las medias fueron comparadas por la prueba de comparación múltiple de Duncan por medio del paquete STATISTICA® para Windows, versión 6.0 (2000).

Se realizo una valoración económica con los precios de las dietas experimentales brindados por el Dpto. de Economía del Grupo Empresarial INDIPES (Ministerio de la Industria Pesquera) y las conversiones alimentarías obtenidas en este estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura y el oxigeno disuelto del agua de los recipientes oscilaron de 24,5 a 26^{o}C y de 3 a 5 mg/l respectivamente. El nivel de amonio fue monitoreado y mantenido en niveles bajos de 0,02mg/l, a través del sifón y la circulación de agua. Estos valores están dentro de los parámetros ambientales adecuados para un buen desarrollo de la especie según De Graaf, y Janssen (1996).
La composición química de las dietas experimentales (Tabla 2) arrojo que no son isoprotéicas pero presentan valores superiores e iguales a 45% de proteína bruta que cubren los requerimientos de esta especie para estos cultivos de altas densidades acorde a Vidotti *et al*. (2000), por lo cual no se evalúan porcentajes superiores de levadura para no disminuir los contenidos de proteína dietética.
Su aceptación fue buena y las cantidades de alimento suministrado eran consumidas rápidamente desde la primera semana.
La Tabla III presenta el comportamiento de los alevines de *Clarias gariepinus* alimentados con las dietas experimentales durante 40 días. El análisis estadístico mostró que el crecimiento (peso medio final y ganancia diaria), la conversión alimentaría, la eficiencia proteica y las tasas de supervivencias no difirieron estadísticamente (P>0,05), entre los tratamientos.

Tabla III. Resultados obtenidos con las dietas experimentales. Error estándar entre paréntesis

Indicadores	D1 (AC)	D2 (10)	D2 (20)
Peso medio final (g)	19,74±2,21	19,58±2,19	21,26±2,73
Ganancia diaria (g/día)	0,47±0,07	0,46± 0,06	0,50±0,07
Conversión alimentaría	1,43±0,15	1,49±0,11	1,29±0,09
Eficiencia proteica	1,50±0,13	1,43±0,10	1,79±0,04
Supervivencia (%)	73,66±0,06	74,66±0,05	78,00±0,06

Los resultados alcanzados en este trabajo tienen puntos coincidentes con los realizados anteriormente por Toledo *et al.* (2000) y Millares *et al*. (2000), quienes al comparar varias dietas artificiales combinadas con alimento vivo (M*oina spp*) en larvas de esta misma especie, obtuvieron

los mejores crecimientos y tasas de supervivencias con la dieta que contenía 50% de levadura de torula a partir de miel de caña. De igual forma, Olvera-Novoa *et al*. (2002), evaluando el remplazo de harina de carne por diferentes niveles (25 a 45%) de levadura de torula en larvas de tilapias (*Oreochromis mossambicus*) encontraron los crecimientos más altos y los mejores indicadores de utilización del alimento y proteína con 30 y 25% de inclusión respectivamente. Estos autores reportaron que la aceptación del alimento y la supervivencia no fueron afectadas por los contenidos crecientes de levadura. Por el contrario, otros estudios han mostrado que la utilización de levadura de cervecerías *Saccharomyces cerevisiae* (Rumsey *et al.* 1991) y proteínas unicelulares bacterianas (Perera *et al.*1995), por encima de 25% de inclusión disminuye el crecimiento y la utilización del alimento en truchas arco iris *(Oncorhynchus mykiss).* También, Otávio de Almeida *et al*. (2003) reportaron que 15% podía ser el límite de inclusión de levadura de cervecería en dietas para tilapias sin causar un efecto adverso en el consumo diario, desempeño productivo y composición corporal.

Los bajos crecimientos en peces alimentados con altos niveles de levaduras han sido atribuidos a un desequilibrio de aminoácidos dietéticos, altos contenidos de ácidos nucleicos y la baja palatabilidad de las raciones.

Es indiscutible el uso de raciones nutricionalmente completas y balanceadas en los cultivos intensivos de peces cuando no hay posibilidad al uso del alimento natural o plancton. En estos casos la alimentación abarca del 60-70% de los costos totales de producción (Pezzato *et al.* 2001), principalmente por que se necesitan raciones más proteicas que para otros monogástricos.

Tradicionalmente, se han utilizado las harinas de origen animal por presentar altos contenidos de proteínas, un balance de aminoácidos adecuado con relación a las exigencias mínimas de los peces carnívoros y omnívoros y tener buena palatabilidad, pero hoy sus altos precios han limitado su utilización en contraposición a los precios más accesibles de las proteínas de origen vegetal y unicelulares, que con las técnicas modernas de tratamientos se tornan más digeribles, lo cual pueden acabar por sustituir total o al menos parcialmente estas harinas de origen animal, garantizando la creación de una base alimentaría sostenible.

Consideramos que las tasas de supervivencias alcanzadas en este estudio fueron relativamente altas (mayores de 70%) para esta etapa (alevinaje) y tipo de cultivo (superintensivo), teniendo en cuenta que la especie es predadora omnívora y oportunista coincidiendo con De Graaf, y Janssen, (1996).

Los peces alimentados con la dieta de 20% de levadura presentaron alta supervivencia (78%), pero no difirió significativamente ($P>0,05$) a los otros tratamientos (73 y 74%). Múltiples estudios han demostrado los beneficios del uso de levaduras en las raciones de peces tales como: Sus propiedades inmunoestimulante por la capacidad que presentan para facilitar la actividad inmune no especifica particularmente bajo condiciones de inmuno-depresión y stress ambiental (Olvera-Novoa *et al*. 2002; Bagni *et al.* 2005; Li y Gatlin, 2006), presentes en estos tipos de cultivos, además, de su contenido de nucleótidos, los cuales a pesar de no ser considerados nutrientes esenciales por que se pueden sintetizar endógenamente, bajos condiciones de rápido crecimiento pueden ser beneficiosos ya que se limita la síntesis *de novo* de estas moléculas a partir de sus aminoácidos precursores (Carver, 1999). Estudios involucran juveniles de trucha arco iris (Adamek *et al.* 1996) y salmón del atlántico (Burrells *et al.* 2001) que han mostrado mejorías en la ganancia de peso con la inclusión de nucleótidos dietéticos.

La Tabla IV muestra los costos para producir una tonelada de alevines de Clarias de 20 g de peso promedio, donde se ahorra un 25,26% de moneda libremente convertible (CUC), al sustituir un 20% de harina de pescado. Además, los valores avalan las perspectivas de usar un nuevo subproducto de la agroindustria azucarera (levadura de vinazas) como portador de proteínas y otros nutrientes en la dieta de estos peces, lo que abarata las inversiones de esta tecnología de cultivo superintensivo.

Tabla IV. Valoración económica del empleo de la levadura de vinazas

Dietas	Precio (CUC/ton)	Conversión alimentaría	Costo de una ton de alevines (CUC/ton)	Ahorro (CUC/ton)	%
D1	910,84	1,43	1302,51	-	-
D2	828,21	1,49	1234,04	68,47	5,25
D3	751,62	1,29	969,59	332,92	25,56

Los resultados obtenidos en este estudio revisten gran importancia pues actualmente la fabricación de dietas para la acuicultura depende en gran medida de la harina de pescado. La progresiva escasez y altos precios de este insumo en el mercado internacional (1300,00 USD/TM), hace que las raciones comerciales de calidad dependan de soluciones locales para su sustitución, tanto en el aspecto nutricional como económico y en este caso se presenta la levadura de vinazas como una alternativa local que disminuye los costos de las raciones comerciales sin afectar los indicadores productivo del alevinaje de clarias.

CONCLUSIONES

La levadura de vinazas puede sustituir un 20% de la harina de pescado en el Alimento Comercial utilizado para el alevinaje superintensivo de C*larias gariepinus*, representando un ahorro de 25,26% por conceptos de alimentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Adamek, Z., Hamackova, J., Kouril, J., Vachta, R., Stibranyiova. (1996), Krmiva (Zagreb) 38, 11-20.

AOAO. (1995), 16th Edition. AOAC: Washington, DC. 1018 pp.

Bagni, M., Romano, N., Finoia, M., Abelli, L., Scapigliati, G., Tiscar, P., Sarti, M., Marino, G. (2005), Fish and Shellfish Immunology 18 (2), 311-325.

Burrells C., P. D. Williams, P. J. Southgate, S.L. Wadsworth. (2001), Aquaculture 199 (3-4), 171-184.

Carver J.D. (1999), Acta Pediatrics 88, 83-88.

Cheng, Z.J., Hardy, R. W., Huige, N. J. (2004), Aquaculture Research 35, 1-9.

De Graaf, G., Janssen, H. (1996), A Handbook. FAO fisheries technical Paper 362, 73 pp.

Li, P., Gatlin, D. M. (2006), Aquaculture 251(2), 141-152.

Llanes, J., Toledo, J., Lazo de la Vega, J. (2007). ACUACUBA 9(1), 5-7.

Millares, N., Toledo, J., Hernández, Y., Lazo de la Vega, J. (2000), ACUACUBA 2 (2), 38-45.

Olvera-Novoa, M.A., Martínez-Palacios, C. A., Olivera-Castillo, L. (2002), Aquaculture Nutrition 8, 257-264.

Otávio de Almeida Ozório, R., Merighi Iftoda, R., Possebon Cyrino, J. (2003), *CIVA 2003 (http://www.civa2003.org)*, 89-98.

Perera, W., Carter, C., Houlihan, D. F. (1995), British Journal of Nutrition 73, 591-603.

Pezzato, L., Castagnolli, N., Rossi, F. (2001), Manual No. 295. Serie de Acuicultura. Centro de Producciones Técnicas. Vicosa – MG. 72 pp.

Rumsey, G.L., Kinsells, j. E., Shetty, K. J., Hughes, S. G. (1991), Animal Feed Science and Technology 33, 177-183.

Saura, G. (2006), Disponible en:
http://www.cengicana.org/Portal/SubOtrasAreas/Etanol/Presentaciones/ResidualesAlcoholST.pdf

STATISTICA® For Windows. 6.0. 2000. Disponible en: http://www.statsoft.com

Toledo, J., Hernández, Y., Lazo de la Vega, J. (2000), ACUACUBA 2(2), 28-32.

Vidotti, M. R., Carneiro, J., Braga, E. (2000), Acta Scientiarum 22(3), 717-723.

EMPLEO DE LA MIEL FINAL EN EL ENSILAJE DE DESECHOS PESQUEROS Y SU EFECTO EN LA ALIMENTACIÓN DEL BAGRE AFRICANO *CLARIAS GARIEPINUS*

José Toledo Pérez, José E. Llanes Iglesias, José M. Lazo de la Vega Valdez.

Centro de Preparación Acuícola Mampostón. Carretera Central Km. 41, Morales,
San José de las Lajas, La Habana. Cuba. CP 32700.
sjtens41@yahoo.es

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes porcentajes de miel final como fuente de carbohidratos en el ensilaje de desechos pesqueros, así como el efecto del ensilado biológico de pescado en la dieta de *Clarias gariepinus.* Se utilizo machuelos fuera de talla comercial (*Opisthonema oglinum*), ensilados con 5, 10, 15 y 20% de miel de caña y 3% de yogurt comercial (*Lactobacillus acidophilus y Streptococcus thermophilus*). Los ensilados con 15 y 20% de miel final tuvieron los valores de pH más estables en los 30 días de almacenamiento. Se ensayó una dieta semi-húmeda con 40% de ensilado biológico (15% de miel final), la cual fue comparada con un alimento balanceado comercial (20% de harina de pescado) según diseño completamente aleatorizado, en la alimentación de alevines de *Clarias gariepinus* (4,95±0,02g de peso promedio) durante 60 días. Los resultados mostraron que no hubo diferencias (P>0,05) en los indicadores de crecimiento, utilización del alimento y supervivencia entre las dietas con harina y ensilado de pescado. La composición proximal de los músculos toráxicos no se afectó por el ensilado, ni tampoco se observaron deformaciones morfológicas, lo cual sugiere que el ensilado biológico de pescado puede remplazar totalmente la harina de pescado en la dieta de *Clarias gariepinus.*
Palabras Clave: alimentación**,** clarias, ensilado de pescado, miel

ABSTRACT

To evaluate different percentage of molasses as carbohydrate source in fishing offal silage as well as the effects of biological fish silage in the *Clarias gariepinus* diet was the objective of this work. Under commercial size fish (*Opisthonema oglinum*) were utilized and silage at (5, 10, 15 y 20%) of cane molasses and 3% of commercial yogurt (*Lactobacillus acidophilus y Streptococcus thermophilus*). The silage with the molasses at 15 and 20% were most stable pH during the 30 days storage. A half moist diet was tested with 40% of fishing silage and compared with a commercial food (20% fish meal) by a completely randomized design for *Clarias gariepinus* (4,95+ 0,02g) fingerling feeding during 60 days. The results showed no significantly different (P> 0,05) in growth, food utilization and survival rate between the diets with meals and fishing silage. The toraxic proximal muscle composition was not observed, what suggest that the biological silage can replace fish meal completely for *Clarias gariepinus* diets.
Keywords: feeding, clarias, fish silage, molasses.

INTRODUCCIÓN

La escasez de materias primas proteicas necesarias para el desarrollo sostenido de la acuicultura intensiva en Cuba y en el mundo genera una gran incertidumbre con respecto a la proyección de esta industria en los próximos años, considerando las tasas de crecimientos actuales. Uno de los insumos principales en las dietas para organismos acuáticos es la harina de pescado que proviene de las pesquerías pelágicas, recurso que se encuentra desde hace más de una década en un máximo nivel sostenible, por lo que se hace necesario la búsqueda de otras fuentes de proteínas locales menos costosas. Una alternativa es el ensilado de pescado preparado a partir de pescados enteros o desechos del procesamiento industrial, el cual presenta buena calidad nutricional y su producción es un proceso simple, práctico y económico (Vidotti *et al.* 2002a; González *et al*. 2007; Toledo y Llanes, 2007).

Existen dos metodologías para la preparación de los ensilados de desechos pesqueros, una química (ensilado químico) a través de la adición directa de diferentes ácidos orgánicos e inorgánicos, el cual fue evaluado como sustituto de la harina de pescado en la alimentación de *Clarias gariepinus* con buenos resultados (Toledo *et al.*, 2007) y otra por fermentación láctica (ensilado biológico) utilizando una fuente de carbohidratos y un cultivo de bacterias acido lácticas.

En tal sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes porcentajes de miel final como fuente de carbohidratos en el ensilaje biológico de desechos pesqueros y el efecto como sustituto total de la harina de pescado en la alimentación de alevines de *Clarias gariepinus.*

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de los ensilados de pescado

Se utilizaron machuelos (*Opisthonema oglinum*) fuera de talla comercial, los cuales se molinaron a un tamaño de 1 cm. La pasta resultante se dividió en 4 porciones iguales y a cada una se le adicionó 5, 10, 15 y 20% de miel de caña grado C (peso/peso) y 3% de yogurt comercial, *Lactobacillus acidophilus y Streptococcus thermophilus* (peso/peso), como cultivo de bacterias ácido lácticas. Las mezclas se triplicaron y almacenaron a temperatura ambiente, en tanques plásticos de 20 L con tapa durante 30 días, donde fueron medidos los valores de pH (3, 5, 7, 10, 15, 20, 25 y 30 días).

Confección de la dieta experimental

Se formuló una dieta semi-húmeda con el EBL húmedo (15% de miel final, según el resultado anterior), la cual se comparó con un Alimento balanceado comercial de 20% de harina de pescado (Tabla I), ambas normalizadas según Graaf y Janssen (1996) para cubrir los requerimientos de la especie. Para la preparación de la dieta se molinaron las harinas vegetales (soya, trigo y salvado de trigo) a 300 um, mezclándose en seco hasta su homogenización (15 min). El aceite de soya y la premezcla de vitaminas y minerales se adicionaron gradualmente y luego, se agregó el EBL dejándose el mezclado por 20 min. La peletización se realizó en un molino de carne JAVAR 32 (manufactura colombiana) con un disco de 2,5 mm de diámetro, confeccionándose 5 kg, los cuales se conservaron en un recipiente herméticamente cerrado a temperatura de -10^{o}C.

Tabla I. Formulación de las dietas experimentales (g/100g de alimento).

Ingredientes	Alimento comercial	Dieta semi-húmeda
Harina de pescado	20	-
Ensilado de pescado	-	40
Harina de soya	20	18
Harina de trigo	20	12
Salvado de trigo	32	27
Aceite de soya	3	2
Premezcla de vit. y min.	1	1
Dextrana	4	-
Total (%)	100	100

Procedimiento experimental

Se utilizaron alevines de *Clarias gariepinus* de 4,95±0,02g de peso promedio, los que se distribuyeron al azar en grupos de 20, ubicados en tanques circulares de fibra de vidrio de 200 L de agua (3 tanques/ tratamiento). El flujo de agua se estandarizó a razón de 0,3 L/ min. La tasa de adición de alimento se calculó en función del alimento a ingerir (1,60g PB/ 100g PV) según la metodología descrita por Llanes *et al.* (2007a) equivalente a 5,47% del peso corporal/día para el alimento comercial y 7,48% para la dieta semi-húmeda, suministrada en dos porciones iguales, a las 9,30 h y 16,00 h, durante 60 días. Diariamente se registraron la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto y el pH del agua y cada 15 d los peces se pesaban para el ajuste de la ración. Los valores de pH se determinaron con un peachímetro digital *HANNA* y la composición proximal (Tabla II) se realizo por triplicado a las dietas mediante el método descrito por la AOAC (1995). Al final del bioensayo se sacrificaron 6 peces por tratamiento (2 peces/ tanque), para el análisis proximal de los músculos toráxicos.

Tabla II. Composición proximal (DE) de las dietas experimentales (% de peso seco).

Indicadores	Alimento comercial	Dieta semi-húmeda
Materia seca	89,43 (0,60)	67,87 (0,57)
Proteína bruta	32,41(0,63)	31,92 (0,71)
Extracto etéreo	7,14 (0,39)	8,74 (0,48)
Fibra bruta	4,80 (0,23)	5,54 (0,27)
Cenizas	8,40 (0,25)	9,79 (0,34)
ED (MJ/kg)	12. 88 (0,21)	13.08 (0,29)

Los indicadores nutricionales evaluados fueron: Pesos finales (PF), Incremento de peso diario (IPD) = PF – PI / Tiempo de cultivo, Tasa de crecimiento específica (TCE) = 10^2 x (ln PF – ln PI) / Tiempo de cultivo, Tasa de eficiencia proteica (TEP)= Ganancia en peso/ Proteína consumida, Utilidad Proteica Neta (UPN) = Ganancia de proteína corporal /proteína consumida, Factor de Conversión alimentaría (FCA, base seca) = Alimento añadido (base seca)/ Ganancia de peso, Supervivencia (S)= No. Animales finales/ No. Animales iniciales x 100.

A los valores medios de los indicadores nutricionales se les realizó una prueba de normalidad y homogeneidad de varianza y se aplicó un análisis de varianza de clasificación simple. Las medias se

analizaron por la prueba de comparación múltiple de Duncan, por medio del paquete STATISTICA® para Windows, versión 6.0 (2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los valores de pH de los EBL experimentales se presentan en la Tabla III; estos fueron cercanos a 4,0 en los 30 días de almacenamiento, para 15 y 20% de miel final lo que coincide con valores reportados en otros trabajos usando diferentes tipos de pescado como sustrato (Lessis, 1994; Vidotti *et al.* 2002a; González y Marín, 2005; Toledo *et al*. 2007; Llanes *et al*. 2007b).

Tabla III. Valores de pH de los ensilados biológicos de pescado durante 30 días de almacenamiento

	3	7	10	15	20	30
EBL (5%)	5,56	5,21	5,19	-	-	-
EBL (10%)	4,25	4,20	4,35	4,39	4,45	4,47
EBL (15%)	4,21	4,13	4,09	4,12	4,10	4,13
EBL (20%)	4,19	4,11	4,10	4,09	4,06	4,10

Según Bello (1994), el pH es uno de los índices de mayor importancia que debe ser controlado durante todo el proceso y almacenamiento del ensilado biológico de pescado, ya que refleja el desarrollo del proceso, la calidad del ensilado y manifiesta cualquier cambio que pueda afectar el producto. Anteriormente, Fagbenro y Jauncey (1995) citaron que la estabilidad de los EBL se obtiene con valores de pH cercanos a 4,0. Dicho valor muestra la fase o fenómeno de acidificación por parte de los microorganismos, por lo que es importante la cantidad de miel final añadida para mantener un pequeño reservorio que le permita a las bacterias lácticas producir suficiente ácido y reducir el pH a un valor cercano a 4.0, auto inhibiendo el crecimiento microbiano.

La aceptación de la dieta semi-húmeda fue buena desde el principio y, durante todo el experimento, el alimento añadido se consumió aproximadamente en 3 min.

En la Tabla IV se observa que los indicadores de crecimiento (PF, IPD y TCE) no difirieron entre sí ($P>0.05$), esto concuerda con Lessis (1994) quien empleando una dieta semi-húmeda, remplazó la harina de pescado por EBL sin afectar el crecimiento de gamitas (*Colossomas macropomum*). También, Toledo *et al*. (2007), al alimentar *Clarias gariepinus* con diferentes ensilados químico de pescado, tampoco obtuvieron diferencias con relación al Alimento comercial.

Tabla IV. Indicadores nutricionales en *Clarias gariepinus* alimentados con ensilado biológico de pescado

Indicadores	Alimento comercial	Dieta semi-húmeda	EE±
Peso final (g)	42.19	41,98	3,75
IPD (g/día)	0.62	0,60	0,03
TCE (%/día)	3,58	3,56	0,02
FCA (base seca)	1,18	1,19	0,09
TEP	2,58	2,56	0,05
UPN (%)	29,17	28,46	0,30
Supervivencia (%)	93,33	96,70	1,67

Letras diferentes en la misma fila, difieren estadísticamente para P<0.05 según prueba de Rangos Múltiples de Duncan.

En la mayoría de los trabajos se reporta el ensilado de pescado en harina ó secado con otras fuentes de proteína (harina de soya, sangre y desechos de aves) como sustitutos parciales de la harina de pescado en *Anguila anguila* (Goncalves *et al.* 1989), truchas, *Salmo gairdneri* (Stone *et al*. 1989)**,** *Oreochromis niloticus* (Fagbenro, 1994) y Pacú, *Piaractus mesopotamicus* (Vidotti *et al.* 2002b), sin afectar el crecimiento.

Se han atribuido crecimientos desfavorables de peces alimentados con ensilados de pescado a la acidez de la dieta, la cual disminuye su aceptación y afecta la actividad de las proteasas pancreáticas (Rungruangsak y Utne, 1981), a lo anterior se adiciona una alta proporción de aminoácidos libres por la proteólisis de la proteína durante el almacenamiento (Stones *et al*. 1989), los que en algunos casos, pueden actuar como depresores del apetito. Al respecto, Fagbenro y Jauncey (1993), sugieren interrumpir el proceso de fermentación a los 7 días, con lo cual se asegura la disminución de la proteólisis del pescado. Por otro lado, Llanes *et al*. (2006), atribuyeron la disminución del crecimiento de tilapias rojas (*Oreochromis sp)* al no cuantificar la cantidad de materia seca y proteína bruta al suministrar el alimento semi-húmedo (con ensilado), lo cual es corregido en este trabajo.

Los FCA (Tabla IV), demostraron iguales valores para los peces que consumieron la harina de pescado (alimento comercial) y el ensilado (dieta semi-húmeda). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Fagbenro y Jauncey (1995) y Toledo *et al.* (2007) quienes no encontraron diferencias significativas en la conversión alimentaría de bagres africanos que recibieron dietas conteniendo ensilado de pescado comparada a una ración comercial.

Con relación a los datos de TEP (Tabla IV) podemos ver que no hubo diferencias significativas (P > 0,05) entre las dietas experimentales, mostrando la posibilidad de sustitución de harina por EBL. Los valores obtenidos para *Clarias gariepinus* son similares a los encontrados para *Piaractus mesopotamicus*, los cuales variaron de 2,11 a 2,61 (Vidotti *et al*. 2002b) y de 2,43 a 2,80 para *Rana catesbeiana* (Murrillo *et al.* 2002), alimentados con dietas a base de ensilado de pescado, sin embargo valores inferiores (1,49 -1,57) fueron reportados para *Clarias gariepinus* utilizando ensilado químico con desechos de pollos (Fagbenro y Fasakin, 1996).

Los resultados obtenidos en los indicadores de utilización de alimento (FCA, TEP y UPN) confirma que el aprovechamiento del ensilado de pescado por *Clarias gariepinus* fue bueno, lo que puede ser por diversas razones: la formación de aminoácidos de configuración L (levógiros), los que se absorben fácilmente, la alta digestibilidad (>80%), calidad de la proteína del ensilado fermentado de pescado (Fagbenro y Jauncey. 1993 y Vidotti *et al*. 2002a) y la formación de algunas sustancias estimulantes del crecimiento, a lo largo del proceso licuación–fermentación.

La composición de los nutrientes en los músculos (filetes) de *Clarias gariepinus* alimentado con las dietas experimentales, se muestra en la Tabla V. Los contenidos de materia seca, proteínas y lípidos difirieron altos (P<00,5), con relación a los valores iniciales, mientras que la ceniza fue menor.

Tabla V. Composición proximal del músculo (DE) de *Clarias gariepinus* alimentado con ensilado biológico de pescado (% de peso seco)

Indicadores	Inicio	Alimento comercial	Dieta semi-húmeda
Materia seca	22,09 (0,19) [a]	25,04 (0,29) [b]	25,23 (0,34) [b]
Proteína bruta	60,03 (0,38) [a]	62,76 (0,43) [b]	62,94 (0,52) [b]
Lípidos	18,99 (0,26) [a]	20,19 (0,63) [b]	20,87 (0,86) [b]
Cenizas	9,60 (0,21) [a]	7,83 (0,18) [b]	7,69 (0,26) [b]

Letras diferentes en la misma fila, difieren estadísticamente para $P<0.05$ según prueba de Rangos Múltiples de Duncan.

Nose (1989) citó que cuando los niveles de aminoácidos exceden la capacidad del hígado de sintetizar proteínas, el exceso de estos se pueden degradar y transformar en glicógeno o lípidos, lo que hubo correspondencia en este trabajo con los incrementos de lípidos corporales, al incluir proteína dietética autolizada. Resultados similares se encontraron en *Clarias batrachus* (Wee *et al.* 1986); *Clarias macrocephalus* (Edwards *et al.* 1987), *Rana castebeiana* (Murrillo *et al.* 2002), en tilapias rojas, *Oreochromis spp*. (Llanes *et al.* 2006) y *Oreochromis niloticus* (Oliveira *et al.* 2007) alimentados con dietas a base de ensilados de desechos pesqueros. No obstante, no se observaron deformaciones morfológicas de escoliosis y lordosis (curvatura lateral y vertical de la columna vertebral) asociadas a las deficiencias de triptófano en los ensilados de pescado, como los casos informados por estos mismos autores en las clarias.

Durante los 60 días de experimentación, la concentración de oxígeno del agua se mantuvo entre 5 y 7 mg/l, la temperatura varió entre 26–28^{o}C; y el pH de 7,5 –8.0. Estos indicadores físico-químicos se encuentran dentro de los rangos óptimos para el buen crecimiento de la especie (De Graff y Janssen, 1996).

Estos resultados surgieren que pueden ser utilizado 15% de miel final en la preparación del ensilado biológico de pescado y este puede remplazar totalmente la harina de pescado, sin alterar los indicadores de crecimiento, utilización del alimento y supervivencia en *Clarias gariepinus*, por lo que representa una alternativa de fuente proteica en peces dulceacuícolas de bajo valor comercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAO. (1995), 16th Edition. AOAC: Washington, DC. 1018 pp.

Bello, R. (1994), Memorias del Taller Regional organizado por el Instituto de Investigaciones Porcinas y la FAO en la Habana. 255 pp.

De Graaf, G. & Janssen, H. (1996), A Handbook. FAO fisheries technical Paper 362, 73 pp.

Fagbenro, O & Jauncey, K. (1993), Food Chemistry 48, 331-335 pp.

Fagbenro, O. (1994), The J. Aqua-Bamidgeh- Israeli. 46(3), 140-147 pp.

Fagbenro, O & Jauncey, K. (1995), Bioresource Technology 51, 29-35pp.

Fagbenro, O. A. & Fasakin, E. A. (1996), Bioresource Technology 58, 13-16 pp.

Edwards, P., Polprasert. C. & Wee, K. (1987), AIT Research. Report, 205, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 164-183 pp.

Goncalves, J. F., Santos, S., Pereira, I. B. & Coimbra, J. (1889), Aquaculture 80, 135-146 pp.

González, D., Marín, M. (2005), Revista Científica FCV-LUZ. XV (6), 560-567 pp.

González, D., Córdoba, J., Indort, F., Buitrago, E. (2007), Revista Científica FCV-LUZ. XVII (2), 166-172 pp.

Lessis, E. (1994), Memorias del Taller Regional organizado por el Instituto de Investigaciones Porcinas y la FAO. Habana, Cuba. 29-39 pp.

Llanes, J., Toledo, J & Lazo de la Vega, J. (2006), ACUACUBA 8(2), 24-32 pp.

Llanes J., Toledo, J & Lazo de la Vega J. (2007ª), ACUACUBA 9(1), 5-7pp.

Llanes, J., Toledo, J & Lazo de la Vega, J. (2007b), Disponible en: REDVET VIII (9), Sept. /2007. http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090907.html

Murrillo, E., Verardino, M., Vidotti, R. M. (2002), Ciencia Rural 32(3), 26-32pp.

Nose,T. (1989), Animal nutrition and Health Series. Roche, Switzerland, 13-44 pp.

Oliveira, J., Oliveira, E., Sing, P. (2007), Bioresource Technology 98(2), 602-606 pp.

Stone, F. E., Hardy, R. W., Shearer, K. D. & Scott, T. M. (1989), Aquaculture.(76), 108-118 pp.

Rungruangsak K & Utne F. (1981), Aquaculture 22, 67-79 pp.

STATISTICA® For Windows. 6.0. (2000): http:// http://www.statsoft.com.

Toledo, J., Botello, A. & Llanes, J. (2007), Memorias del VI Congreso Internacional de Ciencias Veterinarias. La Habana. Cuba.

Toledo, J & Llanes, J. (2007), Disponible en: REDVET VIII (9), Sept/2007 http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090907.html

Vidotti, R. M., Carneiro, D. J. & Macedo-Viegas, E. M. (2002a), Journal of the World Aquaculture Society 33(1), 57-62 pp.

Vidotti, R. M., Carneiro, D. J & Macedo-Viegas, E.M. (2002b), J. of Applied Aqua 12, 77-88 pp.

Wee, K. L., Kerdchuen, N & Edwards, P. (1986), J. Aquac. Trop 1, 127-137 pp.

Zhou, Q.C., Tan, B.P., Mai, K.S & Liu, Y.J. (2004), Aquaculture 241, 441-451 pp.

ESTUDIO DE LA SEPARACIÓN DE ENZIMAS CELULASAS EN SISTEMAS BIFÁSICOS ACUOSOS

B. Guerra Alvarez, J.C. Dustet Mendoza,

beatrizg@quimica.cujae.edu.cu, jcdm@quimica.cujae.edu.cu
Facultad de Ingeniería Química. Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría".
Calle 114 # 11901 e/119 y 127, Marianao, C. de la Habana, CUBA.

RESUMEN

Las enzimas celulasas constituyen uno de los biocatalizadores más estudiados, debido fundamentalmente a sus múltiples aplicaciones, entre las que se encuentra el mejoramiento de alimentos para animales. El objeto de estudio de este trabajo es una de las etapas del proceso de separación de enzimas celulasas obtenidas por fermentación en estado sólido de bagazo de caña como sustrato. El objetivo es encontrar el mejor sistema bifásico acuoso, que permita mantener la estabilidad de las enzimas celulasas de las cepas de hongos estudiadas. Se presenta un análisis de diferentes sistemas bifásicos, con diferentes combinaciones de sales y polietilenglicol (PEG). En el caso de la cepa Aspergillus niger J1 los mejores rendimientos se obtuvieron para los sistemas (K2HPO4/KH2PO4) - PEG 1 500 - crudo enzimático, y MgSO4 * 7H2O - PEG 600 - crudo enzimático. Se obtuvieron las curvas binodales, de sistemas que no habían sido estudiado sus comportamientos anteriormente, como los formados por (K2HPO4/KH2PO4)-PEG 1500-agua, (K2HPO4/KH2PO4)-PEG 6000-agua y (NH4)2SO4 -PEG 1500 -agua.

Palabras clave: enzimas celulasas, sistemas bifásicos acuosos, fermentación en estado sólido, alimento animal.

ABSTRACT

The cellulases enzymes constitute one of the biocatalyst more studied, due fundamentally to their multiple applications, among them they are the improvement of foods for animals and the treatment of solid waste and liquids. The fermentation in solid state is attractive for the obtaining of the system enzymatic cellulases starting from different species of microorganisms using agroindustrial waste as sustratos. The work is centered in finding the best watery two-phase system that allows maintaining the stability of the enzymes cellulases of the studied strains of mushrooms. An analysis of different watery two-phase systems is presented, with different combinations of salts and polietilenglicol (PEG). In the case of the strains Aspergillus niger J1 the best yields were obtained for the systems (K2HPO4/KH2PO4) - PEG 1 500 - raw enzymatic, and MgSO4 * 7H2O - PEG 600 - raw enzymatic. The curves binodales were obtained, of systems that their behaviors had not been studied previously, as those formed for (K2HPO4/KH2PO4)-PEG 1500-water, (K2HPO4/KH2PO4)-PEG 6000-water and (NH4)2SO4 -PEG 1500 -water.

Keywords: cellulases enzymes, watery two-phase systems, fermentation in solid state.

INTRODUCCIÓN.

Entre las múltiples sustancias y compuestos que pueden encontrarse en el mundo vivo, están las enzimas, las cuales no son más que proteínas especializadas en la catálisis de las reacciones biológicas. La hidrólisis enzimática de la celulosa ocurre por la acción de las enzimas celulasas, las cuales son capaces de reducir el biopolímero hasta unidades de D-glucosa. Las celulasas son enzimas hidrolíticas que participan en el rompimiento de los enlaces glicosídicos ß-1,4 presentes en los polisacáridos celulosa y hemicelulosa, respectivamente. Entre las fuentes naturales de celulosa se encuentra la lignocelulosa, la fuente de energía renovable más abundante de la tierra que está formada por tres componentes principales: la celulosa, hemicelulosa y la lignina, y su contenido es bajo en cenizas, proteínas, grasas y ceras. Han sido estudiados varios métodos para la purificación de dichas enzimas. Los mejores resultados obtenidos fueron aplicando sistemas bifásicos acuosos como método de separación. Esta considerado entre los más novedosos para lograr la purificación parcial de proteínas, debido fundamentalmente al alto rendimiento que se obtiene, el fácil escalado del mismo y a la biocompatibilidad de los elementos que lo forman, lo que reduce de manera considerable la desactivación de las enzimas.

OBJETIVO

- Encontrar el mejor sistema bifásico acuoso que permita mantener la estabilidad de las enzimas celulasas de las cepas de hongos 137 MCX1 *Trichoderma viride*, 149 MCX1 *Penicillium implicatum* y J.1 *Aspergillus niger*.

MATERIALES Y METODOS

En este trabajo se realizó la fermentación de bagazo de caña, aplicando las técnicas de cultivo en sustrato sólido con el fin de obtener enzimas celulasas a partir de diferentes cepas de hongos filamentosos para su posterior purificación.

MATERIA PRIMA UTILIZADA

Se emplea como fuente de carbono y energía bagazo de caña procedente del C.A.I. “Manuel Martínez Prieto”. La materia prima fue pretratada previo al proceso de hidrólisis enzimática con el objetivo de debilitar la unión estructural entre las distintas fracciones de la misma y permitir así el ataque de las enzimas celulasas (Tanaka M., Matsuno R., 1985).

PREPARACION DE LA MATERIA PRIMA.

El bagazo se seca en una estufa de laboratorio a una temperatura de aproximadamente 140°C, se muele en un molino de alta velocidad y posteriormente se tamiza hasta obtener un tamaño de partículas entre 0.125-0.8 mm (Morejón, M., 1995). Luego se somete a un pretratamiento con hidróxido de calcio al 5 %, garantizando 70 % de humedad y manteniéndose durante una hora en autoclave a 121°C y 2 atmósfera de presión. Por último se lava y se seca en la estufa a 100°C.

Como microorganismos con actividad celulolítica se emplearon 3 cepas de hongos filamentosos del cepario de la Facultad de Ingeniería Química, estos son: 137 MCX1 *Trichoderma viride*, 149 MCX1 *Penicillum implicatum*, J1 de *Aspergillus níger*. Los microorganismos fueron conservados en cuñas de agar extracto de

malta a 4°C. En todos los procesos de fermentación en estado sólido realizados se usó un inóculo de 10^7 esporas por gramos de bagazo seco inicial. Todos los ensayos fueron realizados a pH inicial 4.5. El tiempo de fermentación fue 72 horas a 35 °C para la cepa de *Aspergillus níger* y 30°C y 96 horas para las cepas 137 y 149. Terminado este tiempo se prensó todo el volumen de fermentación para obtener así el preparado enzimático. La curva binodal se determinó experimentalmente de la siguiente forma (Albertson, 1986): se prepara una solución de concentración conocida de la sal y el PEG, se añade un número de gramos de la solución de la sal en un tubo de ensayo y se va añadiendo gota a gota la solución de PEG a la de la sal, hasta que se formen las dos fases. Los sistemas estudiados fueron los siguientes: $MgSO_4$, agua y PEG de pesos moleculares 600, 1500 y 6000 respectivamente, $(NH_4)_2SO_4$ – PEG 600 – agua y K_2HPO_4/ KH_2PO_4 – PEG 600- agua. Estas curvas fueron construidas con agua, luego se sustituyo por la misma cantidad de crudo enzimático. La actividad enzimática celulasa se determina a partir de la actividad carboximetilcelulasa (CMCasa).

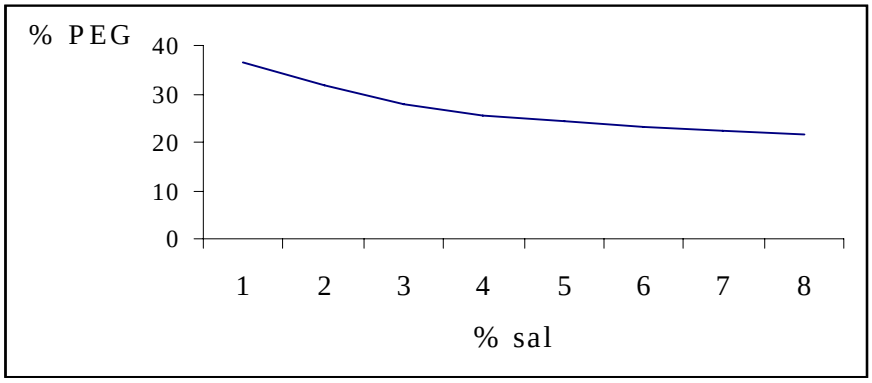
Para calcular el rendimiento se siguió el siguiente procedimiento:
Actividad inicial = volumen de crudo utilizado * actividad crudo (UI/ml).
Actividad fondo = volumen de la fase de fondo * actividad fondo (UI/ml).
Actividad tope = volumen de la fase de tope * actividad tope (UI/ml).

$$R_{tope} = \frac{act.tope}{act.inicio} * 100 \qquad R_{fondo} = \frac{act.fondo}{act.inicio} * 100$$

ANALISIS DE RESULTADOS

Para los sistemas cuyas curvas binodales se reportan en la literatura (K_2HPO_4/KH_2PO_4) –PEG 1500–agua, (K_2HPO_4/KH_2PO_4) –PEG 6000– agua y $(NH_4)_2SO_4$ –PEG 1500- agua, que no había sido estudiado el comportamiento del sistema celulasa en los mismos, se reprodujeron diferentes puntos de las curvas de equilibrio lográndose en todos los casos la formación de dos fases bien definidas. Al sustituir el agua por el crudo enzimático los volúmenes obtenidos para cada fase en el estado de equilibrio fueron menores, esto puede ser debido a los componentes presentes en el crudo enzimático (sales remanentes del medio de fermentación). El estado de equilibrio es muy dependiente de la composición y tipo de sales en el sistema. En los sistemas estudiados, para los que no se tenía información de las curvas binodales, las mismas se construyeron, estos fueron: $MgSO_4(7H_2O)$–Agua-PEG de peso molecular 600, 1500 y 6000, respectivamente y $(NH_4)_2SO_4$ –PEG 600–agua. En los mismos, todas las curvas binodales presentaron un mismo comportamiento. Se determinó para cada una los puntos de equilibrios, con los que se calcularon los % para el PEG y el % para la sal. Estos sistemas cuyas curvas binodales fueron obtenidas experimentalmente se usaron en los estudios posteriores con los crudos enzimáticos de celulasas producidos por los tres microorganismos usados en el trabajo. Es de gran importancia la construcción de una curva binodal ya que con la misma se obtienen los puntos de equilibrio, que representan las composiciones de cada componente en cada una de las fases acuosas que se forman. En la figura 1 se muestra un ejemplo de una curva binodal del sistema $MgSO_4 . 7\ H_2O$ – PEG 600 - Agua a T = 20ºC.

Figura 1. Sistema $MgSO_4 . 7 H_2O$ – PEG 600 - Agua a T = 20ºC



Los sistemas acuosos son usados como método de purificación para separar componentes biológicos de una mezcla, así como también para medios de reacción en sistemas enzimáticos como el celulasa donde se produce inhibición de la actividad por la acumulación de los productos. En esta última aplicación la reacción enzimática puede ocurrir en una fase y en la otra se recupera el producto de la reacción. Para cualquier aplicación que se conciba el sistema acuoso un aspecto imprescindible es que la actividad enzimática se mantenga estable. En el estudio de la estabilidad de los crudos enzimáticos con celulasas en los sistemas **(K_2HPO_4/KH_2PO_4) – PEG–**crudo se utilizó la misma combinación de sales de potasio y se varió el peso molecular del PEG (600, 1500 y 6000), observándose (Fig.2) que los mejores resultados fueron los logrados en el sistema donde se utilizó PEG 1500, para las enzimas de la cepa ***Aspergillus niger***, donde se reportan valores apreciables de la enzima endo – 1, 4 gluconasas en la fase de tope, no siendo así para la fase de fondo. La actividad CMCasa se recuperó fundamentalmente en la fase de tope para todos los sistemas estudiados.

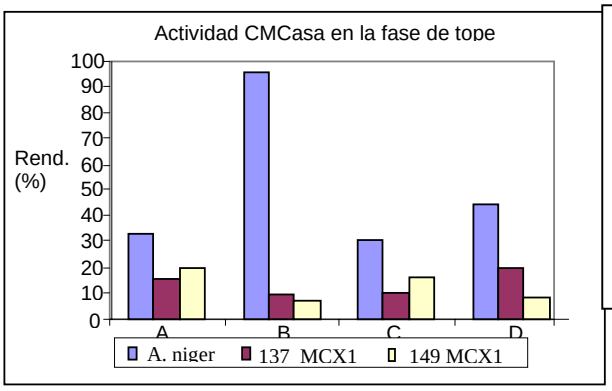


Figura 2. Rendimiento de la actividad CMCasa en la fase de tope para las enzimas de las cepas *Aspergillus niger* J1, *Trichoderma viride* 137 MCX1 y *Penicillium implicatum* 149 MCX1, en diferentes puntos de equilibrio del sistema bifásico (K_2HPO_4/KH_2PO_4) – PEG 1500 – crudo a T = 20ºC.

Sistema 2	A	B	C	D
K_2HPO_4 (g)	0.798	0.882	0.982	1.17
KH_2PO_4 (g)	0.438	0.484	0.539	0.643
PEG 1 500 (g)	1.137	1.074	0.999	0.856
Crudo (ml)	7.6	7.6	7.5	7.3

Haciendo una comparación entre los rendimientos obtenidos en los sistemas bifásicos el sistema acuoso que contiene la sal $MgSO_4 * 7 H_2O$ en función del peso molecular del PEG, se comprobó que para la enzima del microorganismo ***Penicillium implicatum*** 149 MCX1 el rendimiento disminuye con el aumento del peso molecular del PEG. En cuanto a la enzima de ***Aspergillus niger*** los mejores resultados se obtienen cuando el

peso molecular del PEG es 1500, mientras que la enzima de ***Trichoderma viride*** 137 MCX1 se comporta con un rendimiento muy similar en todos los sistemas independientemente del peso molecular del PEG. En este último caso los rendimientos fueron bajos. Lo anterior puede tener su explicación a partir de la estructura que tiene cada enzima y las interacciones físicas y/o químicas que se pueden presentar entre las enzimas y el PEG, aspecto que no fue estudiado en el trabajo.

CONCLUSIONES

1. El mayor rendimiento resultó para la enzima de la cepa *Aspergillus niger* J1 para el sistema acuoso en dos fases (K_2HPO_4/KH_2PO_4) –PEG 1 500 – crudo enzimático.
2. Para el sistema acuoso en dos fases $MgSO_4(7H_2O)$–PEG 600–crudo enzimático la enzima de la cepa *Penicillium implicatum* (149 MCX1) alcanzó el mayor valor de rendimiento.
3. Los valores de rendimiento para la cepa *Trichoderma viride* (137 MCX1), para los diferentes sistemas analizados, fueron similares y no excedieron el 60 %.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Albertsson., Per-Ake. Partition of cell particles and macromolecules. Second edition. 1986, 30 – 56.
2. Blanco, R.M. (1991). Immovilization-stabilization of porteases as a tool to improve the industrial design of peptides synthesis. Biomed. Bioch. Acta, Vol.50, 10/11, 110-113.
3. Castellanos, P.; Lancho, A; Rengifo, M. y Vilches, L. (1999). Biosíntesis de celulasa: Aislamiento de cepas celulolíticas. VIII Reunión Científica del ICBAR. Lima. pág. 67.
4. Tanaka, M.; Matsuno, R. (1985). Conversión of lignocellulosic materials to single-cell protein (SPC): Recent development and problems. Enzyme Microb. Tech., Vol. 7, May, 107-205.
5. Morejón, M. y Ahamad, H. (1995). Estudio de la degradación celulolítica del bagazo de caña por Fermentación en Estado Sólido. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería Química. ISPJAE.

IMPACTO DE LAS TÉCNICAS TERMOANÁLITICAS EN LA SEGURIDAD AGROALIMENTARIA.

Cristina Gastón Peña, Gloria Bueno, M. A. Brizuela, M. Elena Díaz de Villegas, Eulalia Gómez, Paulina Serrano, Laura Aguilar.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
Vía Blanca 804 y Carretera Central. E-mail. cristina.gaston@ icidca.edu.cu
fax (537) 6 98 82 43.

Resumen

En este trabajo se presentan ejemplos de la utilización de las técnicas de Análisis Térmico, en especial la calorimetría diferencial de barrido (DSC) y la termogravimetría (TG), aplicadas a productos utilizados en la agricultura y la industria alimentaria y el papel que estás técnicas juegan en garantizar el establecimiento y validación de metodologías analíticas para la caracterización de bioproductos de utilidad en la agricultura, para contribuir a la solución de problemas de seguridad alimentaria. Además, de facilitar la implementación de métodos de análisis que permitan la determinación de las propiedades físico-químicas, fisiológicas y toxicológicas de diversos bioproductos empleados en la agricultura con la exactitud requerida.

Palabras clave: Calorimetría diferencial de barrido, Termogravimetría, propiedades físico-químicas, Seguridad Agroalimentaria.

Abstract

In this work examples of the use of the Thermal Analysis techniques are presented, especially the Differential scanning calorimetry (DSC) and the Thermogravimetry (TG), applied to products used in the agriculture and alimentary industry, and the paper that these techniques play in order to guarantee the establishment and validation of analytical methodologies for the characterization of bio-products of utility in the agriculture, to contribute to the solution of problems of alimentary security. Also, these techniques are able of facilitating the implementation of analysis methods that allow the determination of physical-chemical properties, physiologic and toxicological properties of diverse bio-products used in the agriculture with the required accuracy

Key words: Differential scanning calorimetry (DSC), Thermogravimetry (TG), physical-chemical properties, alimentary security

Introducción

La caña de azúcar, originaria de la India y conocida como una gramínea de alto valor agregado, está constituida fundamentalmente por la corteza, fibra de un alto contenido de celulosa y jugo rico en azúcares, que al ser procesada para la fabricación de azúcar, permite obtener varios derivados de primera y segunda generación entre los cuales se encuentran diversos materiales algunos de ellos con características

poliméricas, biotecnológicas que le confieren gran importancia a la industria de los derivados y un alto valor agregado al ser obtenidos por diferentes vías y que han mostrado aplicación algunos en la agricultura como los bioherbicidas, estimuladores de crecimiento de las plantas, etc para mejorar los cultivos, y otros que pueden ser utilizados en la alimentación animal e incluso humana como los probióticos, levadura, proteínas, carbohidratos, biopolimeros, bioplaguicidas, y otros materiales relacionados con la agroalimentación requieren de un grado de seguridad en su obtención, secado, manipulación, almacenamiento.

El análisis Térmico permite disponer de técnicas que garanticen un grado de confiabilidad en los estudios que se realicen a los nuevos materiales producto de las investigación, (Wendlandt, W. WM 1974) los requerimientos para solicitar el otorgamiento de registros de los productos que se comercializan para estos fines, exigen cada vez más el cumplimiento de los parámetros establecidos para la seguridad agroalimentaria ya que estos van a estar estrechamente relacionados con el grado de conservación y las propiedades nutricionales que los alimentos posean. Por lo que resulta de vital importancia contar con herramientas de análisis confiables dada la necesidad de exactitud y reproducibilidad en los parámetros Físico Químicos. (Riganocos K. A 1992)

El empleo de estas técnicas de avanzada, es de gran utilidad en la determinación de las diferencias o semejanzas cualitativas y cuantitativas que desde el punto de vista térmico pudieran aparecer entre diferentes compuestos, ya que la huella térmica de un material es única, siempre que se registre el termograma en igualdad de condiciones.

La evaluación cuantitativa de la pérdida de peso que sufre un material al descomponerse, en sus componentes en el tiempo a una temperatura dada mediante estudios (ISOTERMICOS), puede ser evaluada, además, de los realizados en modo (DINAMICO) en diferentes atmósferas lo que permite conocer la cinética de degradación, secado de los materiales mediante Termogravimetría, (TG), y su derivada (DTG).

Materiales y métodos

Probicid: producto probiótico granulado obtenido a partir de bacterias lácticas producido de acuerdo a tecnología desarrollada por el ICIDCA y mezclas de excipientes carbohídricos con contenido de humedad del 20%.

Nemacid: producto biológico obtenido a partir de los efluentes de la fermentación del hongo entomopatógeno *Lecanicillium lecanii,producido en Cuba-10 ICIDCA.*

Goma Xantano: constituye un heteropolisacárido extracelular producido por fermentación a partir de la bacteria *Xanthomonas campestris en los laboratorios del ICIDCA.*

Herbio*:* producto obtenido en el *ICIDCA de* Pseudomonas *aeruginosa* PSS M

Equipo DSC la firma METTLER TA 4000.
Crisoles de Aluminio para DSC.
Crisoles de Alumina para TG.

Las muestras (10-12 mg) pesadas en crisoles de aluminio sellados de 40 μL,, fueron sometidas a calentamiento, en un calorímetro Diferencial de Barrido en un rango de temperatura entre 30 y 150 a una velocidad de 10 °C/min en atmósfera de aire dinámico realizándose las experiencias por triplicado.

Resultados y Discusión

Se describen algunas de las posibilidades de las distintas técnicas termoanáliticas en diferentes materiales utilizados como los probióticos, biopolímeros, bioherbicidas, etc, en la agroalimentación, productos los cuales han sido obtenidos a partir de investigaciones realizadas en los laboratorios del ICIDCA.

Estudio del comportamiento térmico de producto formulados probiótico

- **Influencia del soporte en la estabilidad térmica**
-

La obtención de formas terminadas estables continúa **siendo** un aspecto importante para la validación de la tecnología de producción de cualquier bioproducto. Con respecto al Probicid, tanto las perspectivas de desarrollo y aplicación como aditivo alimentario en animales, como sus potencialidades como nutracéutico, justifican la necesidad de diversificar los estudios acerca de las posibles formas terminadas, en que puede ser presentado este bioproducto..(Brizuela, M. A. 2003)

Por otra parte, la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC, siglas en ingles) es una técnica del análisis térmico que detecta, monitorea, y caracteriza transiciones conformacionales inducidas térmicamente y transiciones de fase en función de la temperatura. Cuando los microorganismo son calentados se observa un número de transiciones sobrelapadas con un pico endotérmico**.** El efecto de transición observado corresponde a la desnaturalización de componentes celulares. Adicionalmente, los termogramas de DSC son comparados con los resultados de viabilidad para evaluar la relación entre la estabilidad de los componentes de la célula y la muerte celular.

En la figura 1 se presenta termograma de DSC de los formulados obtenidos a partir del medio MRS. Si comparamos el valor del pico endotérmico (63ºC, medio MRS) con los alcanzados al soportar el cultivo en almidón de maiz (65.6ºC), levadura torula (71.1ºC), lactosa (64.2ºC) y zeolita (71.8ºC) podemos apreciar un corrimiento de los picos a temperaturas mas alta en todos los casos con valores más altos para la levadura torula y zeolita. Los resultados nos muestran que el empleo de soportes mejora la estabilidad y por tanto pueden proteger, soportar y mejorar la estabilidad o biodisponibilidad de las formulaciones.

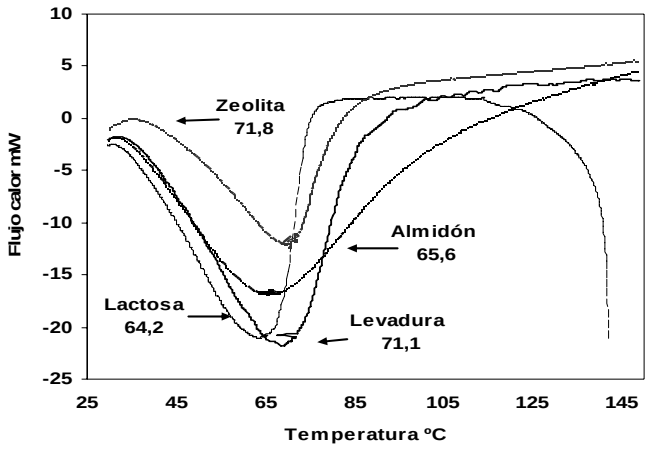


Figura 1 Termograma del efecto de la naturaleza del soporte en la resistencia al calor de microorganismo probiotico (Medio MRS).

- **Análisis Térmico del producto granulado probiótico húmedo**

En la Fig 2 se muestran las curvas termogravimétricas de TG y derivativas (DTG) correspondientes al experimento isotérmico obtenidas del análisis del granulado húmedo con 20% de humedad.

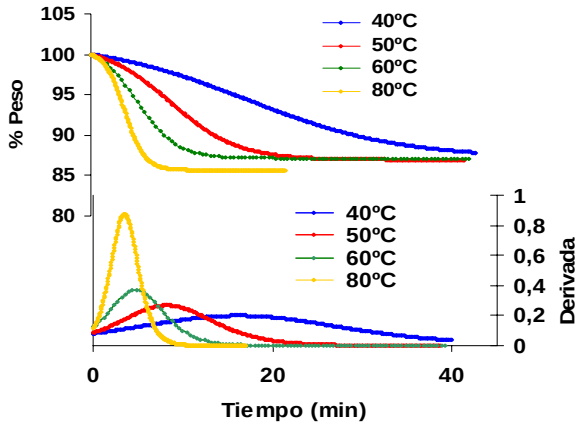


Figura 2. TG y DTG a diferentes temperaturas.

Se aprecia un corrimiento en el tiempo de la pérdida de peso y su derivada en función de la temperatura. El análisis isotérmico indica que se produce una pérdida de peso medio ± intervalo de confiabilidad (95%) de 86.90 % ± 1.43, un 100% de remoción de agua y un incremento en la velocidad de deshidratación a diferentes tiempos en dependencia de la temperatura. El punto de cambio de la velocidad en la curva de DTG señala el punto de máxima pérdida por lo que su contenido de agua puede corresponder a la humedad crítica (Wc) que se obtienen de forma similar a partir de curvas experimentales de secado (Gastón, C. 2006) .Se encontró que existe correlación entre la perdida de masa y viabilidad del microorganismo. En la medida que disminuye la masa se produce el efecto negativo en el microorganismo (Fig 3).

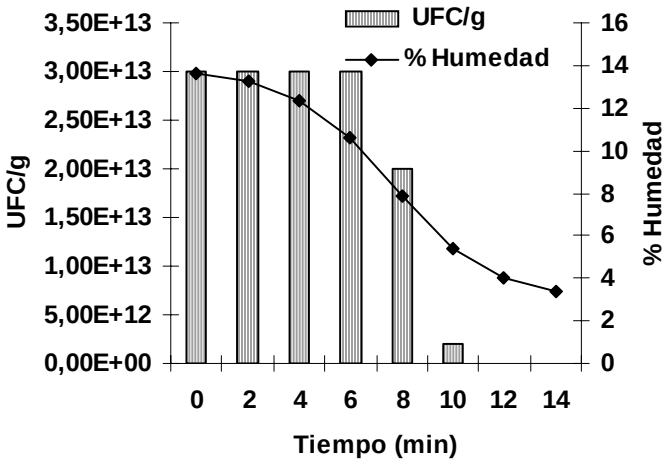


Figura 3 Cinética de secado y viabilidad celular del principio activo prebiótico

Estos resultados sugieren la posibilidad de empleo del análisis isotérmico en materiales sujetos a descomposición para estimar en tiempos cortos el % de humedad crítica y con ello predecir el tiempo de

secado del material a la humedad deseada sin realizar la curva experimental de secado facilitando el estudio de diferentes formulaciones. También permitió a partir de las isotermas estimar parámetros cinéticos como la energía de activación aplicando diferentes métodos y humedad crítica necesaria para predecir el secado

Estudio de termoestabilidad de goma xantano.

La goma xantano constituye un heteropolisacárido extracelular producido por fermentación a partir de la bacteria *Xanthomonas campestris* Dada sus características estructurales, cuenta con propiedades reológicas y de estabilidad importante, que garantizan un amplio espectro de uso en calidad de agente espesante, de suspensión, texturizante, etc., durante la formulación de alimentos, fármacos, cosméticos, agroquímicos, entre otros. (Aguilar, L 2003) El desarrollo de dichas aplicaciones implica que el polisacárido sea sometido a tratamientos térmicos durante un tiempo dado, que pueden afectar su estructura y como tal sus propiedades físico-químicas. (Gastón C. 2004)

Considerando la potencialidad de las técnicas de análisis térmico para la caracterización de biopolímeros, se estudió el comportamiento del polímero 11S-1, en comparación con el producto comercial Keltrol (en un amplio rango de temperatura, tanto por termogravimetría (TG) como por calorimetría diferencial de barrido (DSC). El análisis térmico de las muestras de xantano, mostró un comportamiento semejante de ambos materiales en el intervalo de temperatura estudiado (Fig. 4).

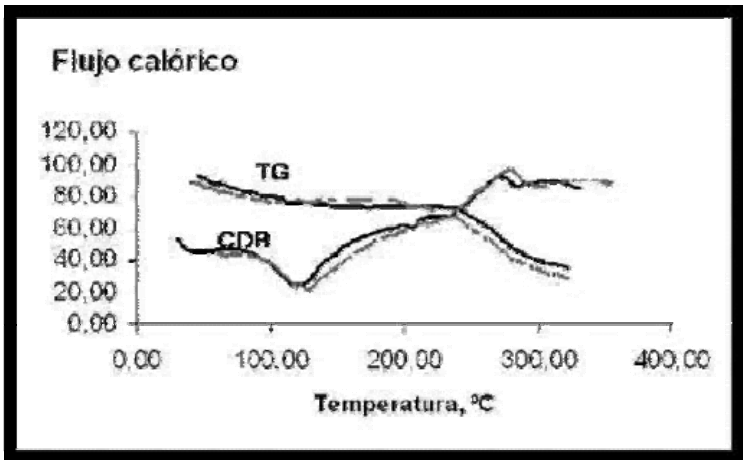


Figura 4 TG y DSC de los biopolímeros S-11-1 y Keltrol

En función de las aplicaciones para la formulación de diferentes productos industriales, que requieren tratamiento térmico durante su preparación, resultó de interés estudiar la estabilidad del xantano 11S-1, en diferentes temperaturas entre 80-180 ºC donde se registró el pico endotérmico, como se observa en la figura 5, el comportamiento que el producto muestra a 80 ºC se diferencia notablemente del comportamiento exhibido a las demás temperaturas.

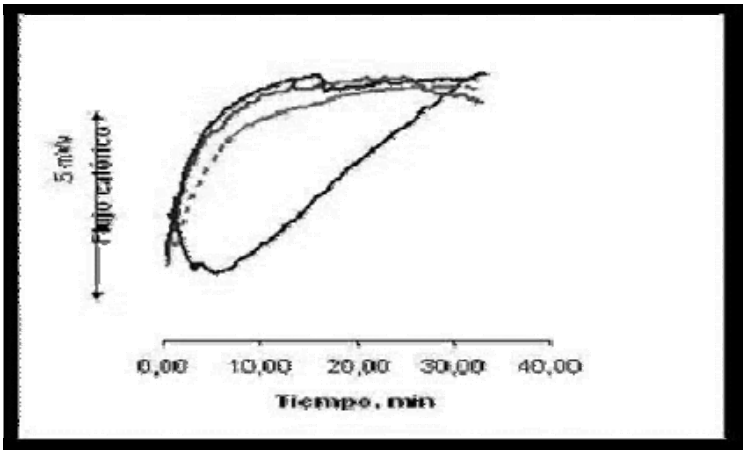


Figura 5 Isotermas de S11-1 a diferentes temperaturas 80ºC (1), 120ºC , (2), 150ºC (3) y 180ºC (4).

Un segundo análisis de CDB en régimen dinámico según la huella térmica de las muestras tratadas a todas las temperaturas, demostró que por encima de 80 ºC ocurren cambios con formaciones irreversibles, que se registran con mayor velocidad a medida que se incrementa la temperatura (Fig. 6).

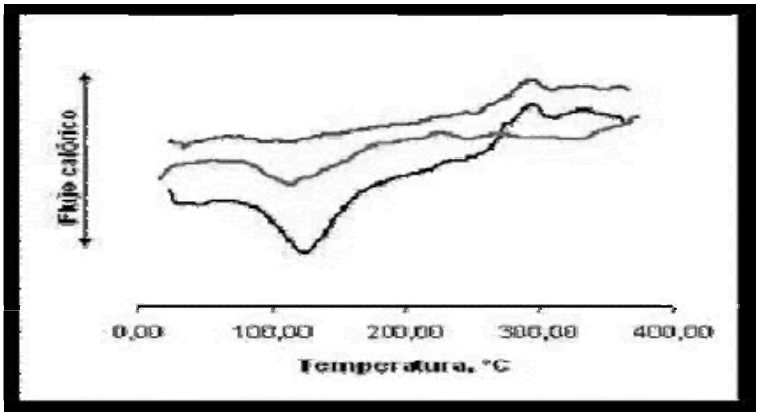


Figura 6 DSC del biopolímero S-11-1 tratadas isotérmicamente

Los resultados obtenidos demostraron la semejanza estructural del biopolímero de X. campestris 11S-1 con respecto al producto comercial, Keltrol, además se observó que durante el tratamiento térmico de muestras del biopolímero 11S-1, entre 80-200 ºC, ocurre un proceso endotérmico, que puede ser dado por la fusión y agregación de la macromolécula, el cual conlleva a variaciones estructurales irreversibles, lo que debe tenerse en cuenta para las aplicaciones del producto.

Estudios de muerte térmica de la *Pseudomonas aeruginosa PSS*

El comportamiento del producto HERBIO herbicida bioquímico de contacto, utilizado para el control post-emergente de malezas de hoja ancha, cuyo ingrediente activo está compuesto por Fitotoxinas de naturaleza peptídica, producidas por la *Pseudomonas aeruginosa* PSS. fue estudiado mediante técnicas de Análisis

Térmico en particular se utilizó la Calorimetría diferencial de barrido para el estudio de la muerte térmica del microorganismo.

Para la evaluación de los valores D de la *Pseudomonas aeruginosa* PSS a partir de los datos de células viables después del tratamiento isotérmico, se determinó el número de células viables sujetas al tratamiento isotérmico a 70, 80 y 90ºC. Los valores de D fueron determinados para cada tratamiento a partir de la pendiente del ploteo de $\log_{10}$ (N/N0) vs el tiempo. En la Tabla I se presenta el resultado.

Tabla I. Valores de D obtenidos a partir de los tratamientos isotérmicos de la *Pseudomonas aeruginosa* PSS

D70	2,10703751
D80	0,46654847
D90	0,30562347

D se define como el tiempo necesario para reducir la población de un microorganismo en un log . Se calcula a partir de curvas semilogarítmicas de supervivencia en función del tiempo bajo condiciones isotérmicas a diferentes temperaturas (Lee y Kaletunc, 2002)

De los valores de D obtenidos, se aprecia que a medida que aumenta la temperatura se requiere de un menor tiempo para reducir en un 10% las células viables.de la *Pseudomonas aeruginosa* PSS (Fig. 7)

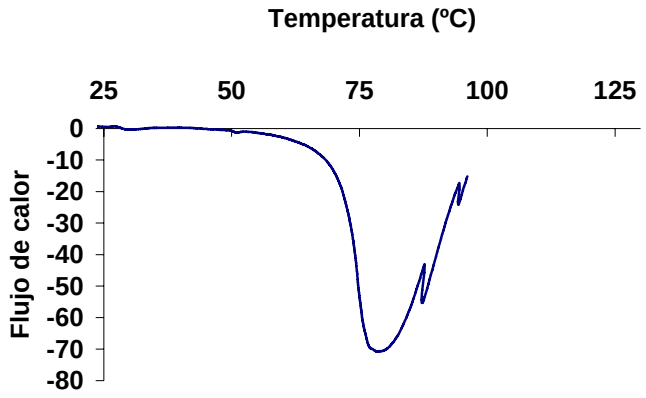


Figura 7 DSC de cepa de *Pseudomonas aeruginosa* PSS

Como se puede observar, se produce un pico endotérmico con caída de entalpía a 80^0 C, que sugiere la ocurrencia de muerte térmica del microorganismo.

Caracterización del Nemacid mediante el empleo de técnicas DSC

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 (Gómez E. 2004)

La caracterización de este producto mediante el empleo técnicas de análisis Térmico brindaron la 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.

El estudio del efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática se muestra en la figura 8 como puede apreciarse estas enzimas mantienen la actividad hasta 60 ^{0}C, el incremento de temperatura por encima de los 65^{o}C produce la pérdida de la actividad de la misma. Resultados similares fueron obtenidos por (Den Belder 1994) empleando el hongo *Paecilomyces lilacinus,* donde se reporta la pérdida de actividad de las enzimas proteolíticas a temperaturas por encima de 70^{o}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. Adicionalmente, este estudio permitió definir la estabilidad del producto en el almacenamiento encontrandose que el mismo es estable a temperatura ambiente (30ºC) hasta 13 meses, sin pérdidas en su actividad proteolítica.

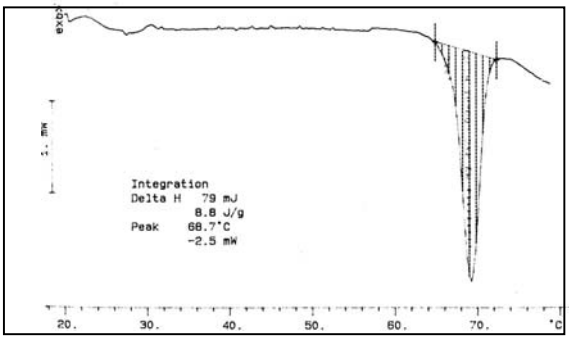


Figura 8 Efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática proteolítica

Conclusiones

- En este trabajo se demuestran las potencialidades de las técnicas de Análisis Térmico según su entorno.
- La aplicación de la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) permite de forma rápida y precisa evaluar la inactivación térmica de sistemas biológicos a partir de un simple termograma al obtenerse información de las transiciones de fase y conformacionales de estos sistemas. En la práctica es una herramienta que nos permite la selección de microorganismos, evaluar factores nutricionales o condiciones de cultivo y estabilidad de productos formulados en tiempos cortos.
- El empleo del análisis isotérmico en materiales sujetos a descomposición permite estimar en tiempos cortos el % de humedad crítica y con ello predecir el tiempo de secado del material a la humedad deseada sin realizar la curva experimental de secado facilitando el estudio de diferentes formulaciones.
- Los resultados obtenidos por estas técnicas demostraron la semejanza estructural del biopolímero de X campestris 11S-1 con respecto al producto comercial Keltrol.
- La aplicación de estas técnicas ha permitido conocer la estabilidad en el estudio del producto Nemacid.
- Con la utilización de la Calorimetría fue posible la determinación de diferentes parámetros físico-químicos en productos biológicos procedentes de distintos microorganismos.

Referencias bibliográficas

1. Brizuela, M.A. Selecciones de Cepas de Bacterias Ácido Lácticos para la obtención de un preparado probiótico y su evaluación en cepas. Tesis presentada en opción al grado de Dr. en Ciencias Veterinarias. C. Habana (2003)
2. Gastón, C. y colaboradores. III Simposio Internacional de Química ISBN (978-959-250-337-3)
3. Aguilar, L.; García, T.; Valdés, I.; Torres, L. (2003) ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar XXXVI (3), p. 40-48.
4. Gastón, C., Hernández Adolfo y otros, (2004) ICIDCA Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña. Pag. 12-14.
5. Lee J. and Kaletun G. (2002). Appl. Env. Microbiol. 68 (11): 5379-5386.
6. Gómez E. (2004) Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la caña. ISBN 959-7165-17-1
7. Den Belder, E., Boants, P. and Waalwijk, C. (1994). "New alkaline serine protease of Pacccilomyces lilacinus" Patent Wo 94/25579
8. Hernández Adolfo, M. Reyna, y otros. (2004). Revista ICIDCA, Sobre los derivados vol. 2, 2004.
9. Rodríguez, H.; Aguilar L. (1997) J. Ind. Microbiol. & Biotechnol. 18: p.232-234.
10. Wendlandt, W. WM.; Thermal Methodos of Analysis. Volume 19, Second Edition, (1974)
11. Riganocos K. A., Demertzis P.G., Kontominas M.G., (1992) Proc. 7th Int. Flavour Conf. On "Recent development in food science and nutrition", Samos Greece, pp. 277-285.

ADITIVOS ZOOTÉCNICOS BIOLÓGICOS COMO ALTERNATIVA A LOS ANTIBIÓTICOS PROMOTORES DE CRECIMIENTO (AAPC) EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Autores: M. A. Brizuela, P. Serrano, J.A. León, G. Bueno, G. Delgado, I. Iglesias, K. Tortoló, M. Ibañez.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca #804 y Carretera Central. Aptdo Postal 4026. S. M. del Padrón. C. de la Habana, Cuba
e-mail: maranto.brizuela@icidca.edu.cu

Resumen

Los aditivos son usados en la alimentación animal con tres fines fundamentales: mejorar características en las materias primas, piensos o productos animales, prevenir enfermedades, y aumentar la eficiencia de producción de los animales. Dentro del grupo de los aditivos se encuentran los antibióticos que se utilizan como promotores del crecimiento animal (AAPC) también denominados "modificadores digestivos". Actualmente, se ha visto reducida drásticamente la autorización para la utilización de los AAPC en la crianza animal, debido a la peligrosidad de estas sustancias por crear resistencia cruzada con los antibióticos utilizados en medicina humana y por la presencia de residuos de estos en los productos de origen animal. La prohibición de uso de AAPC tiene importantes implicaciones económicas en el sector zootécnico, ya que conlleva a un aumento de los costos de producción. Estos inconvenientes podrían paliarse con alternativas eficaces al uso de antibióticos, entre las que se destacan como principales opciones probióticos, prebióticos y enzimas. Este trabajo ofrece resultados acerca de las posibilidades y beneficios del empleo de probióticos y enzimas como alternativa natural al empleo de aditivos antibióticos promotores de crecimiento en la producción animal. Se presentan los estudios y resultados alcanzados por el ICIDCA en el desarrollo de los procedimientos de obtención de aditivos probióticos compuestos por bacterias ácido lácticas y enzimas y resultados de su escalado hasta niveles de planta piloto, lo que permitió demostrar la reproducibilidad de los procesos. Se informan además resultados acerca del efecto del empleo de estos productos en la alimentación animal.
Palabras claves: Aditivos promotores del crecimiento, antibióticos, enzimas, probióticos, alimentación animal.

Abstract

Additives are used in the animal feeding with three fundamental purposes: to improve characteristic of the raw materials, feeding stuffs and animal products, to prevent illnesses, and to increase the animal production efficiency. Within the group of the additives is possible to find the antibiotics that are used as promoters of animal growth (AAPC), and are also denominated "digestive modifiers." The authorization for the use of the AAPC in the animal upbringing has been reduced drastically, due to the potential danger of these substances because of their capacity to create a cross resistance with the antibiotics used in human medicine and for the presence of residuals of them in the products of animal origin. The total prohibition of the use of AAPC has important economic implications in the zootechnical sector, since it bears to an increase of the costs of production. These inconveniences could be reduced with the employment of effective alternatives to the use of antibiotics, among them it stand, as main options probiotics, prebiotics and enzymes. This work present

some results about the possibilities and benefits of employment of probiotics and enzymes as natural alternative to the employment of antibiotic promoters of growth in the animal production. Show the studies and results obtained by ICIDCA refer to the development of a procedure to obtain probiotic products from lactic acid bacteria and enzymes. Show the scale-up procedure up to pilot plant operation that allows confirming the process reproducibility. The results obtained using the probiotic compounds in animal feeding also shown.

Key words: Additives growth promoters, antibiotics, enzymes, probiotics, animal feeding.

INTRODUCCIÓN

Un factor importante promotor de resistencia a los antimicrobianos reside en nuestro suministro de alimentos y está relacionado con los agentes infecciosos que se alojan en los productos que comemos y bebemos. Desde que se descubrió que los antibióticos tienen la capacidad de promover el crecimiento y combatir enfermedades, los agricultores, piscicultores y ganaderos utilizan antimicrobianos en toda clase de producción, desde la de manzanas hasta la de acuicultura. Hasta el año 2000 se reportaba que sólo la mitad de todos los antibióticos producidos mundialmente se programan para el consumo humano. Los demás se utilizan para tratar animales enfermos, como promotores del crecimiento del ganado y para eliminar de los cultivos alimenticios diversos organismos destructores.

Desde su descubrimiento los antibióticos han representado una herramienta importante para el tratamiento de las enfermedades infecciosas en el hombre y los animales. Se han suministrado a los animales de granja como promotores del crecimiento y para prevenir las enfermedades. Moore y otros (1946) presentaron un trabajo en el que la adición de estreptomicina mejoró el crecimiento de los animales entre un 10 y un 30%. A partir de estos trabajos se multiplicaron rápidamente las investigaciones hasta desarrollar el que ha sido hasta hoy el concepto de aditivos antibióticos promotores de crecimiento (AAPC). La producción animal ha utilizado desde entonces los AAPC principalmente en porcino, terneros, pollos y pavos con eficacias de mejora en la productividad oscilando entre el 1 y el 8 %, dependiendo, entre otros, del grado de higiene de las explotaciones, edad de los animales así como de otros aditivos e ingredientes del pienso.

Sin embargo, el uso continuo de estos productos, a veces en forma indiscriminada, produjo la aparición de cepas bacterianas resistentes, proceso que se potencializó por la capacidad de transferir la resistencia entre bacterias, inclusive de diferentes géneros y especies. Las terapias con antibióticos, en especial las administradas por vía oral, si bien controlan los microorganismos patógenos, también afectan a muchos microorganismos benéficos produciendo trastornos en equilibrio de la microbiota gastrointestinal y modificaciones en el tejido del intestino delgado (Kastner, 2006). Muchos de estos antibióticos o sus residuos pueden quedar en los tejidos animales destinados al consumo humano. La utilización continua para el crecimiento y la profilaxis, generalmente en dosis bajas, da inevitablemente lugar al desarrollo de resistencia en las bacterias alojadas en el ganado o cerca de este e intensifica el temor de que aparezcan nuevas cepas resistentes que atraviesan las barreras entre las especies. *Enterococcus faecium* resistente a la vancomicina (ERV) es un ejemplo particularmente ominoso de una bacteria resistente presente en los animales que puede haber "saltado" a los sectores mas vulnerables de la población humana. A menudo bacterias inocuas para el ganado son mortales para el ser humano.

A pesar de que los AAPC autorizados no se usen en terapéutica veterinaria ni humana y actúen solo contra bacterias Gram-positivas (las cuales, teóricamente, no tienen una capacidad significativa de transferencia de resistencias según Lacey (1984) en los países de la UE se ha creado una fuerte corriente políticosocial a favor de la limitación del uso de antibióticos en alimentación animal. En 1986, Suecia prohibió la utilización

de los AAPC en su territorio. Finalmente la UE, con Dinamarca, Alemania y Finlandia al frente, prohibieron el uso de la Avoparcina en alimentación animal en 1997, y de Tilosina fosfato, Espiramicina, Bacitracina de Zinc y Virginiamicina a finales de 1998 (http://europa.eu.int/eur-lex/es/lif/reg/es_register_035010.html).

Por otra parte, en la opinión pública existe una tendencia generalizada al rechazo de todo lo que no sea "natural". Las crisis provocadas por la aparición de la encefalopatía espongiforme bovina en el Reino Unido, la contaminación por dioxinas en Bélgica y el escándalo asociado al uso de lodos procedentes de aguas residuales en Franci a sensibilizaron a los consumidores con el mensaje de que la seguridad de los alimentos de origen animal empieza por la seguridad de los alimentos para los animales, incluidos los aditivos. Estos elementos han motivado el interés por el uso de aditivos alimentarios naturales y terapias alternativas no medicamentosas en reemplazo de los antibióticos utilizados en producción animal, entre las cuales se destacan el uso de probióticos, prebióticos y enzimas.

La prohibición del uso de los AAPC tiene un impacto negativo sobre los productores principalmente debido a un aumento de la incidencia de diarreas en lechones por *E. coli* y disentería porcina (Mateos y otros, 2000). Así mismo, la utilización de antibióticos en piensos medicados también se ha reducido y en el futuro puede reducirse mucho más por lo que se han acelerado los estudios de aditivos que permitan la sustitución progresiva de los AAPC en la producción animal .

IMPORTANCIA DEL EQUILIBRIO DE LA MICROFLORA INTESTINAL.

La flora intestinal en los mamíferos no rumiantes consta de unos 10^{11}-10^{14} microorganismos vivos (Tannock y otros, 1990). La complejidad del microcosmos intestinal es consecuencia, en parte de la influencia del exterior por ser un medio abierto. El equilibrio de la microflora intestinal se basa en conseguir una relación más o menos estable de dominancia de los microorganismos no patógenos sobre los microorganismos potencialmente patógenos capaces de inducir una respuesta inmunitaria vigorosa. Dicha respuesta también conocida como estrés inmunológico, daría lugar a cambios metabólicos destinados a maximizar la respuesta inmune en detrimento de los parámetros productivos del animal (Saxelin y otros, 2005). De entre las múltiples causas que pueden alterar el equilibrio de la microflora intestinal podemos destacar las 5 siguientes:

1. La composición nutrientes/ingredientes de la dieta.
2. Las características físicas de la dieta.
3. Las situaciones de estrés, como el estrés inmunológico mismo.
4. La sanidad ambiental.
5. La carga microbiana de la dieta.

La mejor forma de maximizar crecimiento y productividad es un buen estado sanitario. Por ejemplo, pollos alojados en ambientes libres de gérmenes crecieron un 15% más rápido y presentan mejores conversiones que pollos criados en ambientes convencionales donde están continuamente expuestos a la microflora ambiental (incluso en ausencia de patógenos y enfermedades infecciosas). Las diferencias son mucho más grandes cuando las condiciones higiénicas ambientales empeoran. De forma similar los antibióticos en la dieta (AAPC) parecen reducir la frecuencia con que los microorganismos potencialmente patógenos pueden atravesar el epitelio intestinal y prevenir de esta forma el estrés de origen inmunológico (Bengmark, 1998). De hecho, los animales libres de gérmenes no responden a la acción de AAPC lo que demuestra claramente la importancia de su efecto sobre la flora microbiana incluso en animales aparentemente sanos. Otros aditivos utilizados en alimentación animal y que parecen mejorar los parámetros productivos, pueden actuar

igualmente modificando las interacciones entre huésped y microorganismos en intestino con reducción del estrés inmunológico (Roura y Xalabarder, 1999).

INGREDIENTES MINORITARIOS DE LA DIETA QUE MEJORAN EL COMPORTAMIENTO ANIMAL INCLUYENDO LOS ADITIVOS.

La revisión de las principales estrategias nutricionales que pueden reducir el impacto de la prohibición de los AAPC ha sido motivo de numerosos trabajos en la última década e incluyen conceptos que van desde la utilización de fuentes proteicas de alta digestibilidad a la suplementación vitamínico mineral para potenciar la actividad del sistema inmunitario pasando por dietas inductoras de la proteína anti-secretora -PAS- (Mateos y otros 2000). Simultáneamente a estos estudios nutricionales se han ido desarrollando estudios sobre otros ingredientes minoritarios y aditivos, con actividades muy específicas. Realmente la sustitución efectiva de los AAPC pasa por la correcta aplicación de principios nutricionales y la combinación acertada de los otros microingredientes y aditivos.

ADITIVOS PARA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Aditivo Alimentario: Los aditivos alimentarios se definen como sustancias o preparaciones usadas en nutrición animal que promuevan los siguientes efectos:

- Afecta favorablemente las características de materiales utilizados como alimento o de los componentes de alimentos para animales o de los productos de origen animal.
- Satisface las necesidades nutritivas de animales o mejora la producción animal, en particular afectando la flora gastrointestinal o la digestibillidad del alimento animal.
- Introduce en la nutrición, elementos que conlleven a lograr objetivos nutritivos particulares o para satisfacer las necesidades nutritivas específicas de animales en un momento particular.
- Previene o reduce el efecto dañino causado por excreciones animales o mejore el ambiente animal.

El origen de que la opinión pública sea contraria al uso de aditivos para la alimentación animal hay que buscarlo tanto a la falta de rigor informativo de los grandes medios de comunicación, que gustan de servirse de los escándalos para justificar el titular de venta fácil, como a la falta de educación del consumidor final en la cría intensiva de ganado. Existe una reacción en cadena que ha dado lugar a la situación actual de una creciente dureza de las legislaciones de diferentes países en cuanto a la limitación del uso de los aditivos. Sin embargo, el vacío que dejan los AAPC ha abierto una puerta al desarrollo de algunas familias de aditivos que pueden verse por el gran público como alternativas naturales.

Los aditivos alimentarios pueden ser divididos en las siguientes categorías:

Suplementos: Esta categoría incluye vitaminas y provitaminas, aminoácidos, elementos trazas y compuestos nitrogenados de naturaleza no proteica (UREA).

Estimuladores digestivos: Sustancias que mejoran el crecimiento y eficacia de la conversión alimentaria y disminuyen la excreción de nutrientes entre los que se encuentran los Aditivos Zootécnico de origen biológico. Hay dos posibles razones por las que estas sustancias son capaces de mejorar eficacia del alimento: o ellos afectan la flora intestinal o ellos afectan metabolismo.
Otros: Antioxidantes, Saborizantes, Preservantes, Colorantes, Emulsificantes, Aditivos que ayudan al paletizado, Acidificantes. Cocciodióstáticos.

ADITIVOS ZOOTÉCNICOS DE ORIGEN BIOLÓGICO

El equilibrio de la microflora intestinal se basa de hecho en conseguir una relación más o menos estable y mayoritaria de microflora no patógena sobre microorganismos potencialmente patógenos. La adición de microorganismos saprófitos a la dieta pretende favorecer la implantación y mantenimiento de este equilibrio evitando la presencia y colonización intestinales por parte de agentes fuertemente inmunogénicos en base a un mecanismo de exclusión competitiva. A estos tipos de aditivos, en base fundamentalmente a microorganismos de los géneros *Lactobacillus*, *Bacillus* (bacterias del ácido láctico) y levaduras se les conoce como probióticos.

Bajo el término "probiótico" se incluyen una serie de cultivos vivos de una o varias especies microbianas, que cuando son administrados como aditivos a los animales provocan efectos beneficiosos en los mismos mediante modificaciones en la población microbiana de su tracto digestivo. La mayoría de las bacterias que se utilizan como probióticos en los animales de granja pertenecen a las especies *Lactobacillus*, *Enterococcus* y *Bacillus*, aunque también se utilizan levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) y hongos (*Aspergillus oryzae*). El mecanismo de acción de los probióticos se basa pues en la habilidad de regular la microflora intestinal evitando situaciones de estrés inmunológico y aprovechando dichos microorganismos como fuente productora de enzimas digestivas (Lestradet, 1994). La utilización práctica de probióticos incluye dos vertientes principales: por una parte la mejora de la digestibilidad de nutrientes y por la otra la exclusión competitiva de agentes como *Salmonella, Coliformes* y *Campylobacter* (Line y otros, 1997, 1998).

En los rumiantes adultos se ha observado que el uso de probióticos (*Saccharomyces cerevisiae* y *Aspergillus oryzae*) puede incrementar la producción de leche (entre 1 y 2 kg por animal y día) y la ganancia diaria de peso de terneros en ceba (hasta un 20 %). Los probióticos impiden a los microorganismos patógenos (p.e. *Salmonella*, *E. coli*) colonizar el tracto digestivo, o al menos reducen su concentración o su producción de toxinas. Asimismo, se han registrado aumentos de la concentración de inmunoglobulinas en el tracto digestivo de cerdos tras la administración de *Bacillus clausii*, por lo que otro efecto de los probióticos podría ser la estimulación del sistema inmunológico del animal. El resultado es que los animales que reciben probióticos presentan un mejor estado sanitario que se puede traducir en una mejora del crecimiento.

El mecanismo de acción de las levaduras en el caso de los animales rumiantes es múltiple y complejo: eliminan trazas de oxígeno que penetran en el rumen y favorecen así el crecimiento de las bacterias anaerobias estrictas; compiten con las bacterias amilolíticas productoras de lactato por la glucosa y oligosacáridos, disminuyendo la producción de lactato; liberan al medio ruminal ácido málico que favorece el crecimiento de *Selenomonas ruminantium*, la cual es capaz de metabolizar el lactato hasta popionato; y producen nutrientes que estimulan el crecimiento de la bacterias ruminales. Los probióticos son aditivos totalmente seguros para los animales, el consumidor y el medio ambiente. Aunque la primera autorización de un probiótico en la Unión Europea no se produjo hasta 1994, actualmente existen más de veinte preparaciones probióticas con autorización provisional, y su número va en aumento.

Reportes de la literatura muestran una variabilidad importante en la eficacia de la aplicación de aditivos probióticos ya que todavía se desconocen todos los factores que intervienen en la implantación eficaz de un determinado tipo de microorganismos en el intestino animal (De Angelis,2006). Especial énfasis se da a la edad del animal (importante la aplicación del probiótico a partir de las primeras horas de vida), al estado higiénico de la explotación y del alimento (como fuentes constantes de microorganismos patógenos) y a las cepas de microorganismos utilizados y a su viabilidad *"in vivo"* ya que han de ser muy activos para promover una colonización apropiada.

Ejemplos de utilización eficaz son las publicaciones recientes de utilización de aditivos probióticos en dietas para diferentes especies animales (Biourge, 1998, Madden y otros, 2005), de levaduras del tipo *Saccharomyces* (Line y otros, 1997, 1998) o de productos mixtos que pueden incluir numerosas cepas diferentes de los microorganismos ya mencionados o de *Aspergillus*, *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Propionibacterium* o *Streptococcus* .

Prebióticos:

El término "prebiótico" incluye una serie de compuestos indigestibles por el animal, que mejoran su estado sanitario debido a que estimulan del crecimiento y/o la actividad de determinados microoganismos beneficiosos del tracto digestivo, y que además pueden impedir la adhesión de microorganismos patógenos. Las sustancias más utilizadas son los oligosacáridos, que alcanzan el tracto posterior sin ser digeridos y allí son fermentados por las bacterias intestinales. Los oligosacáridos son un grupo de carbohidratos que se componen de 2 a 10 unidades de azúcares monoméricos. Los más conocidos son los oligosacáridos de la serie de la rafinosa, los manano-oligosacáridos (MOS), los fructo-oligosacáridos (FOS) y los xilo-oligosacáridos (XOS).

Los oligosacáridos son metabolizados con mucha facilidad por *Lactobacillus* y *Bifidobacterias* que forman parte de la microflora intestinal no patógena y beneficiosa por exclusión competitiva. Aunque los resultados expuestos en la bibliografía muchas veces son contradictorios, los investigadores han ido descubriendo los aspectos más específicos de los oligosacáridos relacionados con mejoras de crecimiento. En cuanto a lo que podría representar uno de sus mecanismos de acción como promotores de crecimiento, los oligosacáridos evitan la unión al epitelio intestinal de algunas bacterias patógenas. Por ejemplo, microorganismos como *E.coli* y *Salmonella* que para unirse a los enterocitos dependen de receptores de membrana glicoproteínicos de superficie pueden ser desplazados por la acción de los MOS. Los oligosacáridos bloquearían el centro activo de unión de la bacteria con la glicoproteína de membrana. Otras bacterias, como *Serpulina* y *Campylobacter*, utilizan otros mecanismos para unirse al epitelio intestinal y pueden ser más resistentes a la acción de los oligosacáridos. Otros autores defienden la utilización de algunos oligosacáridos como fuente de ácidos orgánicos volátiles (como el butírico) en el intestino grueso (Piva, 2000).

Con una cuidada selección de los oligosacáridos, se puede favorecer el crecimiento de las bacterias beneficiosas. Por ejemplo, se ha observado que los fructo-oligosacáridos favorecen el crecimiento de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* en el ciego de las aves y aumentan así su ritmo de crecimiento, pero no se ha observado este efecto en los cerdos. En los cerdos se ha observado que la administración de manano-oligosacáridos produce mejoras en la ganancia de peso vivo similares a las observadas con algunos antibióticos promotores del crecimiento. Debido a que estos compuestos son sustancias totalmente seguras para el animal y el consumidor, es de esperar que su utilización se incremente en el futuro, y que continúen las investigaciones para identificar las condiciones óptimas para su uso. Por otra parte, ya que los modos de acción de los probióticos y los prebióticos no son excluyentes, ambos pueden utilizarse simultáneamente (constituyen así los denominados "simbióticos") para obtener un efecto sinérgico.

Enzimas

La suplementación enzimática en alimentación animal es una práctica habitual en diversas especies sobretodo no rumiantes como aves y cerdos. El objetivo principal de esta suplementación es la mejora de la digestibilidad de los nutrientes de la dieta bien sea mediante la suplementación de la actividad enzimática endógena (por ejemplo actividad α-amilasa y proteasa en lechones) o la suplementación con actividades

enzimáticas no existentes a nivel endógeno (por ejemplo xilanasa, β-glucanasa, α-galactosidasa y fitasa). Además, la prohibición de uso de algunas fuentes de proteína animal de alta digestibilidad (como harinas de carne) y el aumento de los precios de los cereales produjo un incremento del uso de fuentes de proteína de menor digestibilidad aumentando, si cabe, el interés por la suplementación enzimática en estas especies. Los enzimas exógenos afectan el perfil fermentativo en el intestino y, por lo tanto, tienen la capacidad de modificar su microflora. Tres ejemplos claros de ello son el efecto sobre la digestibilidad de factores antinutricionales, proteínas vegetales y fitatos.

El contenido en factores antinutricionales (polisacáridos no amiláceos, saponinas, taninos, fitatos, inhibidores de proteasas, lectinas, glucosinolatos, cianógenos y goitrógenos) de las materias primas utilizadas en alimentación animal afecta no sólo la digestibilidad de las mismas sino también el desarrollo de la microflora y, por lo tanto, la actividad del sistema inmunitario. Las lectinas (presentes sobretodo en leguminosas), pueden estimular las células epiteliales del intestino afectando igualmente la motilidad y la microflora asociada. Algunos factores antinutricionales como los azúcares complejos (xilanos, β–glucanos y α- galactósidos) se disuelven en el intestino dando lugar a un marcado aumento de la viscosidad del contenido intestinal. El aumento de la viscosidad intestinal hace mas lento el tránsito del alimento lo que permite un aumento de la proliferación bacteriana.. La presencia de β-glucanos y arabinoxilanos se han asociado a aumentos en la viscosidad del contenido intestinal y a un incremento de la incidencia de enteritis necrótica y proliferación de *Clostridium perfringens* en el intestino delgado así como de disentería en cerdos Por lo tanto, más allá de la mejora de la digestibilidad, la suplementación enzimática reduce la viscosidad intestinal acelerando la velocidad de tránsito del alimento a través del intestino y consecuentemente se reduce el grado de fermentación microbiana en el intestino delgado (Pluske y otros, 1996).

El caso particular de los fitatos y la suplementación con fitasas merece un aparte especial ya que las bases de la suplementación con fitasas son la mejora de la disponibilidad del P dietético y el descenso de la contaminación ambiental al reducir el contenido de P en heces, así como un mejor aprovechamiento del resto de nutrientes de la dieta como consecuencia de la degradación de los fitatos (Ravindran, 2000).

EXPERIENCIAS DESARROLLADAS POR EL ICIDCA EN LA OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE ADITIVOS ZOOTÉCNICOS BIOLÓGICOS EN LA PRODUCCIÓN ANIMAL.

PROBICID: Probiótico compuesto por *Lactobacillus rhamnosus*, con concentración de células viables de 10^9-10^{10} UFC mL^{-1} obtenido mediante tecnología desarrollada en el ICIDCA por Brizuela y otros, 2003.

Cepa: ***Lactobacillus rhamnosus*** **LB/103-1-5** seleccionada por sus características prebióticas.

Procedimiento tecnológico: El producto se obtiene mediante un proceso de fermentación sumergida a pH y temperatura controlada en un medio de cultivo compuesto por miel como fuente de carbono e hidrolizado de levadura como fuente de nitrógeno, siendo complementado con una mezcla de sales. El proceso en estas condiciones se desarrolla en un tiempo de 12-14 horas, obteniéndose un producto final líquido con una titulación de 10^{11}-10^{12} UFC/mL. El control microbiológico al final de la fermentación se realiza mediante siembra en placas de MRS Agar, Agar Nutriente y Malta Agar.

El producto seco se obtuvo por centrifugación en centrífuga tipo BOWL con velocidad mínima de 15 000 rpm y secado por atomización en Secador Spray con temperatura de entrada 140ºC y temperatura de salida de 60ºC.

Características del PROBICID Líquido

Conc. Celular: 10^{13} UFC/mL
ART (g/L): 0.5-1
Acido Láctico (g/L): 14-18
Materia Seca (g/L): 4.0-4.5
pH: 6.4-6.6
Densidad a 25ºC (g/mL): 1,022-1.03
Viscosidad cPa: 1,55-1.15
Estabilidad: T ambiente 30 días
15ºC 2meses

Características del PROBICID Sólido

Conc. Celular: 10^{9}-10^{10}
Humedad: 10-12%
Color: Pardo
Sabor: Peculiar
Textura: Polvo impalpable
Contaminantes: $<10^{3}$
Ausencia: de E. coli y Salmonellas
Estabilidad: T ambiente 60 días
15ºC 2-4 meses

Se realizó el escalado en la Planta Semicomercial Cuba 10, en un fermentador 500 L de capacidad, obteniéndose una alta reproducibilidad en el proceso y en las características del producto. El procedimiento tecnológico está protegido en la Oficina Cubana de Propiedad Industrial y se cuenta con el Certificado de Registro de Marca con Nº de Solicitud 2001-1030, otorgado según Resolución Nº 1045/2004. En el 2006 se obtuvo la Inscripción en el Registro General de Productos para la Alimentación Animal del Producto Probiótico PROBICID líquido y en polvo con número de registro A 106, la Licencia de Producción y Comercialización con el No. 200406-AAP106 y el Certificado de Libre Venta otorgados por la Oficina del Registro General de Productos para la Alimentación Animal del Instituto de Medicina Veterinaria del MINAGRI (para su utilización en aves y cerdos).

PROBIZYM: Producto obtenido según metodología desarrollada en el ICIDCA por Rodríguez León y otros, 2004 compuesto por una matriz sólida de cáscara cítrica y pool enzimático (Fitasa 5,65 U/g, Pectinasa 90,25 U/g, Xilanasa 15,31 U/g, Celulasa 3,78 U/g y humedad de 15%) y probiótico PROBICID.

Procedimiento tecnológico: El producto fue producido en condiciones piloto durante 18 meses, utilizando para ello un equipo de lecho fluidizado (SLF), AEROMATIC AG que consta de un soplador con condiciones de operación entre 0-130 m^3/h de flujo de aire, resistencia eléctrica, recipiente cónico y termostato con un rango de temperatura de secado entre 20-110ºC con controles de tiempo temperatura de entrada y salida. Se utilizó para esta producción los siguientes parámetros: 30ºC, flujo de aire de 80 m^3/h y tiempo de secado de 35 minutos. Se controló la actividad enzimática de las cuatro enzimas que componen el pool y la viabilidad celular de las bacterias ácido lácticas en el producto final.

Características del PROBIZYM

Enzima	Fitasa U/g	Pectinasa U/g	Celulasa U/g	Xilanasa U/g	Células Viables UFC/g
Conc. Final	2,98	732,85	2,50	18,55	1,0 X10^{9}

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LOS ADITIVOS ZOOTÉCNICOS BIOLÓGICOS EN DIFERENTES ESPECIES ANIMALES

Se realizó un estudio con el PROBICID en polvo en una unidad de la Provincia de Matanzas perteneciente al Grupo de Producción Porcina (GRUPOR). En la misma se utilizaron 294 cerditos provenientes de 28 camadas de madres híbridas (Yorkshire-Landrace) distribuidos aleatoriamente en dos tratamientos

experimentales. Los tratamientos experimentales consistieron en un control donde no se utilizó ningún aditivo en la dieta y otro donde se incluyó el probiótico PROBICID sólido a razón de 16,7 kg./t, en piensos balanceados destinados a los cerdos de 7 a 33 días de edad. Las reproductoras a cuya descendencia se les suministró el probiótico consumieron desde los 21 días antes del parto hasta 7 días después de este un pienso al cual se le incluyó el mismo probiótico a razón de 0,4 kg./t. Se controló el efecto paridad, así como los indicadores: nacidos totales (cab), nacidos vivos (cab), tamaño y peso de la camada al nacer y al destete (kg.), consumos totales de alimento (kg.), así como mortalidad (%), animales retrasados (%) e incidencias de diarreas (%), entre otros indicadores.

En la Tabla I se presentan los resultados de la validación del efecto del PROBICID en polvo en cerdos lactantes donde se observa un mayor porciento de crías vivas en el tratamiento donde se incluyó el probiótico en la alimentación de las madres y crías. El tamaño de la camada al nacer y al destete no difirió significativamente entre tratamientos. Los pesos de la camada al nacer y al destete fueron significativamente mejorados ($p<0,05$ y $p<0,01$) respectivamente en el tratamiento experimental lo que concuerda con lo reportado por Noblet y Etiene (1987), para camadas de 10 crías ó más.

Tabla I: Principales rasgos de comportamiento productivo y reproductivo de cerdos tratados con PROBICID polvo.

Indicadores	Probiótico PROBICID, kg/ t		
	0	16,7	ES
Número de reproductoras	14	14	
Paridad promedio	2.6	3.5	
Nacidos totales	170	162	
Nacidos vivos	145	149	
Nacidos vivos, %	85.3	92.0	
Tamaño de la camada al nacer	10.35	10.64	0.42
Tamaño de la camada al destete	8.8	9.00	0.33
Peso de la camada al nacer, kg.	14.58	15.25	0.60*
Peso de la camada al destete, kg.	54.69	59.16	1.1**

*p< 0.05

En los indicadores de salud, el porciento de animales retrasados fue inferior en 42% a favor del tratamiento con el probiótico PROBICID con relación al control, encontrándose como aspecto de gran interés el hecho que los cerditos que consumen el pienso con probióticos disminuyeron las diarreas en 48% en el período hasta el destete (Tabla II). Los resultados concuerdan con lo planteado por Tortuero y otros (1995).Es de destacar que las cerdas a las que se les suministró el probiótico 20 días antes del parto tuvieron un 92% de nacidos vivos contra un 85,3% las que no fueron tratadas con el PROBICID unido esto a que el peso promedio al nacer de las camadas de las cerdas tratadas fue de15,25 kg. mientras que en las no tratada fue de 14,58 kg.

Tabla II: Indicadores sanitarios de cerdos tratados con PROBICID polvo.

Indicadores	Probiótico PROBICID kg/t	
	0	16,7
Mortalidad, %	15	15
Animales retrasados, %	6.90	4,00
Incidencia de diarreas, %	23.0	12,00

Se realizó una evaluación en pollos de ceba que tuvo como objetivo evaluar la respuesta productiva de pollos de ceba frente a la suplementación de la dieta con el PROBICID sólido y su comparación con otros productos comerciales. Los probióticos utilizados fueron:

Sorbial: Preparado probiótico compuesto por una flora con predominio láctico, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus rhamnosus*, levaduras del tipo *Saccharomyces* parte viva y parte muerta, sobre un soporte de maíz extrusionado y con un procedimiento de estabilización **(Sorbial, 1999)**.

Zoolac: Preparado probiótico compuesto por ácido láctico, lactato de calcio, cepas específicas de *Lactobacillus acidophilus* termoestabilizadas a 140 ^{0}C , sobre un soporte de cáscara de soya finamente molida **(Bremer Pharma GMBH, 1999).**

PROBICID^S: Preparado probiótico seco obtenido por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar a partir de una cepa termotolerante seleccionada de *Lactobacillus rhamnosus* **(Brizuela y col. 2001).**

Se utilizaron 2240 pollos, de un día de edad, los cuales fueron ubicados según un diseño completamente aleatorizado con siete tratamientos de cuatro réplicas, constituidas cada una por un cuartón con 80 aves para un espacio vital de 10 aves/ m^2. Los tratamientos consistieron en probar tres probióticos según el siguiente esquema:

T1 - Dieta control sin probiótico.
T2 Dieta control con Sorbial a razón de 1.0 kg/T de pienso en el inicio y crecimiento y de 0.5 kg/T en la dieta de acabado.
T3 Dieta control con Sorbial a razón de 1.5 kg/T de pienso en el inicio y crecimiento y de 1.0 kg/T en la dieta de acabado.
T4- Dieta control con Zoolac a razón de 1.0 kg/T de pienso en el inicio y crecimiento
T5 Dieta control con PROBICID^S a razón de un 10 kg/T en el inicio y de 5 kg/T en el crecimiento y en el acabado.
T6- Dieta control con PROBICID^S 5 kg/T en toda la crianza.
T7- Dieta control con PROBICID^S 2 kg/T en toda la crianza.

En la Tabla III se muestra la dinámica de peso vivo obtenida para los probióticos estudiados en éste trabajo, donde se observan diferencias significativas para p$\angle$ 0.05 entre algunos tratamientos en todas las edades. Los pesos vivos estuvieron favorecidos en el grupo control y en el grupo que consumió Zoolac a los 7 días, pero al arribar a los 14 días de edad, todos los tratamientos igualaron estadísticamente sus pesos vivos con la excepción del grupo que consumió el Sorbial a 1 Kg / T en inicio - crecimiento y 0.5 Kg / T en el acabado ceba, el cual alcanzó menor peso (298.8 g) que el promedio de los grupos que igualaron al control (332.92 g) con la diferencia de 34 g menos por pollo. Sin embargo, en el grupo que consumió PROBICID^S a 10 kg en el inicio y 5kg en crecimiento y acabado se obtuvieron los pesos más altos (354.3 g) con una diferencia de 21g más de peso con el control y de 55 g más de peso que las aves que consumieron Sorbial a menor dosis. El tratamiento con PROBICID^S a 5 kg /T en toda la crianza sólo fue diferente del grupo con Sorbial a menor dosis.

Tabla III Valores medios de los pesos vivos de pollos de ceba suplementados con diferentes probióticos a las diferentes semanas de edad.

Tratamientos	Peso vivo, g 7 días	Peso vivo, g 14 días	Peso vivo, kg 28 días	Peso vivo, kg 35 días	Peso vivo, kg 42 días
T1 Control	143.3a	333.0b	0.951c	1.397bc	1.829bc
T2 Sorbial	127.8d	298.8c	0.998c	1.367c	1.806c
T3 Sorbial	132.6cd	329.9b	1.026b	1.396bc	1.794c
T4 Zoolac	139.0ab	329.2b	1.096a	1.444ab	1.871ab
T5 Probicid^{S}	136.9bc	354.3a	1.105a	1.488a	1.900a
T6 Probicid^{S}	129.5d	343.5ab	1.095a	1.449a	1.874ab
T7 Probicid^{S}	131.0d	329.0b	1.029b	1.356c	1.829bc
ES / SIG.	± 2.01 *	± 5.58 *	± 0.016 *	± 0.017 *	± 0.020 *

*p< 0.05

Por otra parte, las aves que consumieron Zoolac y PROBICID^{S} en las dosis más altas, lograron estadísticamente los mejores pesos a los 28 días coincidiendo con lo reportado por Bougon y otros (1987**)** , en cuanto a que la flora intestinal no es significativamente modificada por los probióticos hasta después de las tres semanas de consumo del alimento conteniendo dicho producto. A los 35 días de comenzado el experimento, las aves que consumieron Zoolac comenzaron a tener pesos vivos iguales al control, manteniéndose con los mejores pesos las que consumieron altas dosis de PROBICID sólido que además no difirieron estadísticamente del grupo que consumió Zoolac. A los 42 días, el único tratamiento que difirió del control (1.829 kg) con pesos superiores a éste fue el grupo con consumo de PROBICID sólido de 10 kg / t al inicio y 5 kg / t en las dietas de crecimiento y acabado (1.9 kg), las aves alimentadas con Zoolac y la otra dosis alta de PROBICID (T6) tuvieron una tendencia a tener mejores pesos que el control, pero no difirieron estadísticamente ni de este último ni del grupo que consumió el tratamiento T5 con PROBICID.

Los parámetros estudiados a los 42 días se muestran en la Tabla IV. Se halló diferencias significativas para p∠ 0.05 para el peso vivo, lo cual fue discutido anteriormente y para la viabilidad, no así para la conversión y el consumo que no se favoreció con el empleo de los probióticos. En el caso de la viabilidad, se observa un 6 % de incremento a los 42 días a favor de los grupos de aves que consumieron Sorbial y PROBICID^{S} a las mayores dosis (T5 y T6). La mejora en la viabilidad ha sido reportada en la literatura por diversos autores (Piard y otros 1999**).** Según Badin y otros. (1997**),** las bacterias lácticas estimulan el sistema inmune, ya que la administración oral de lactobacilos puede estimular la producción de linfoquines producidos por los T-linfocitos y de esta forma activar los macrófagos. Bougon y otros. (1987), plantearon que la presencia de bacterias lácticas favorecían la producción de anticuerpos, particularmente la secreción de Inmunoglobulina A (IgA) en el lumen intestinal. La IgA forma parte de la primera línea de defensa contra infecciones en el organismo y posiblemente actúa inhibiendo la adhesión de bacterias patógenas a la superficie de la membrana mucosa (Schiffrin y otros. 1997). De lo anterior se infiere, que los lactobacilos actúan estimulando tanto la inmunidad humoral como la imnunidad celular, de ahí que se produzca una respuesta en la viabilidad.

Tabla IV. Valores medios y errores estándar de los parámetros analizados a los 42 días de edad.

Tratamientos	Peso vivo, kg 42 días	Consumo, kg 42 días	Conversión,[a] 42 días	Viabilidad, % 42 días
T1 Control	1.83 bc	4.01	2.19	87.51 b
T2 Sorbial	1.81 c	4.02	2.23	91.96 b
T3 Sorbial	1.79 c	3.99	2.23	93.64 a
T4 Zoolac	1.87 ab	3.99	2.15	91.00 b
T5 Probicid^S	1.89 a	4.11	2.16	94.04 a
T6 Probicid^S	1.87 ab	4.10	2.19	92.94 a
T7 Probicid^S	1.83 bc	4.07	2.24	91.25 b
ES / SIG.	0.02 *	0.04	0.03	0.09 *

*p< 0.05

Se realizó con el producto PROBICID líquido una evaluación en el laboratorio de camarones del CIGB Camaguey en tanques de 50 L que se sembraron a 40 animales/L. Se usaron postlarvas 10 y se cultivaron por 21 días terminando en estadio postlarva 31. El producto se aplicó por 7 veces por un espacio de 2 días entre cada tratamiento. La concentración de células que se empleó fue de 10^5 UFC/mL. Los resultados fueron procesados estadísticamente mediante la Prueba de Rangos Múltiples Tukey para un 95 % de confianza.

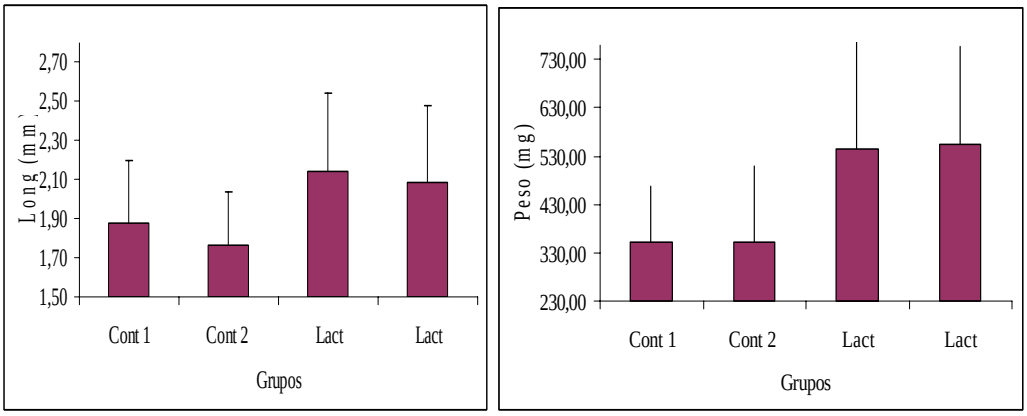


Figura 1 Efecto del PROBICID líquido sobre la longitud y peso en camarones de cultivo

Los resultados de la evaluación preliminar del efecto del PROBICID líquido en camarones de cultivo se muestran en las Figura 4 donde puede observarse que el producto ejerció un efecto positivo significativo que se evidenció en un aumento de la longitud y el peso de los animales tratados con el probiótico en comparación al control no tratado. Estos resultados aunque preliminares concuerdan con lo planteado por varios autores (Balcázar y Luna-Roja, 2007, Balcázar y col.,2007, Gomez y Balcázar, 2008) con relación a las posibilidades de uso de microorganismos probióticos como estrategia de control microbiano en acuicultura y abren amplias posibilidades de aplicación a estos productos como alternativa al empleo de antibióticos en la producción acuícola, lo que permitirá una acuicultura orgánica libre de productos químicos que puedan afectar el producto final.

EVALUACIÓN DEL ADITIVO PROBIZYM EN GALLINAS PONEDORAS.

Se realizó el estudio con 80 gallinas White Leghorn, de 27 semanas de edad (1 a 2 meses de postura), distribuidas siguiendo un diseño completamente aleatorizado en 4 tratamientos con 20 réplicas cada uno. Se comparó el efecto de adicionar a una dieta control (T1), el 1% del aditivo PROBIZYM compuesto por probiótico y enzima (T2) y 0.06% del producto enzimático CYTROZYM como control enzimático (T3).

Tabla V. Valores medios para los indicadores productivos acumulados a las 42 semanas. ([a] cantidad de alimento (kg) / decena de huevos)

Indicadores	**Control**	**Probizym**	**Citrozym**	ES / Sig
Consumo, kg	32.79	32.96	32.83	± 0.34
Consumo ave / día, g	111.5	112.0	111.6	
Huevos / ave	238.8 b	248.6 a	240.5 ab	± 2.99 *
Huevos rotos, %	0.28	0.28	0.23	± 0.03
Conversión [a]	1.37	1.33	1.35	± 0.026
Viabilidad, %	95	100	100	± 2.5

Valores con letras no comunes difieren por Duncan a $p < 0.05$

Los valores medios y errores estándares hallados para los indicadores productivos controlados en la evaluación del producto en gallinas ponedoras se muestran en la Tabla V, donde se aprecia que no fueron estadísticamente diferentes a $p < 0.05$, los valores del consumo acumulado, el porciento de huevos rotos, la conversión, dada por la cantidad de alimento ingerido (kg) para producir una decena de huevos y el porciento de viabilidad entre los tratamientos. Sin embargo, la producción de huevos de las aves que consumieron la dieta con el PROBIZYM (248.6) fue diferente a $p < 0.05$, al tratamiento Control (238.8) y no difirió de las aves que consumieron Citrozym (240.5). Por lo que, hubo una respuesta favorable para la producción de huevo al consumo del Aditivo probiótico PROBIZYM y una tendencia a mejorar la producción cuando se utilizó solamente la enzima fitasa (Citrozym) en la dieta.

Durante las 42 semanas que duró el experimento, las aves estuvieron sometidas a un stress producido por cambios climáticos en la semana 39, que provocó una disminución en el consumo de pienso y por consiguiente una caída en la producción de huevos desde las 39 a las 42 semanas, en todos los tratamientos. En la Figura 1. se observa el descenso brusco de la producción mucho más marcado en el grupo control que en el resto de los tratamientos, lo cual nos hace pensar que las aves que consumieron el aditivo probiótico tuvieron una mejor flora digestiva que favoreció una mejor absorción de nutrientes, cuando se produjo el stress. Este efecto favorecedor del tracto digestivo ha sido señalado por Cross, ((2002), Shoeib y Madian, (2002).

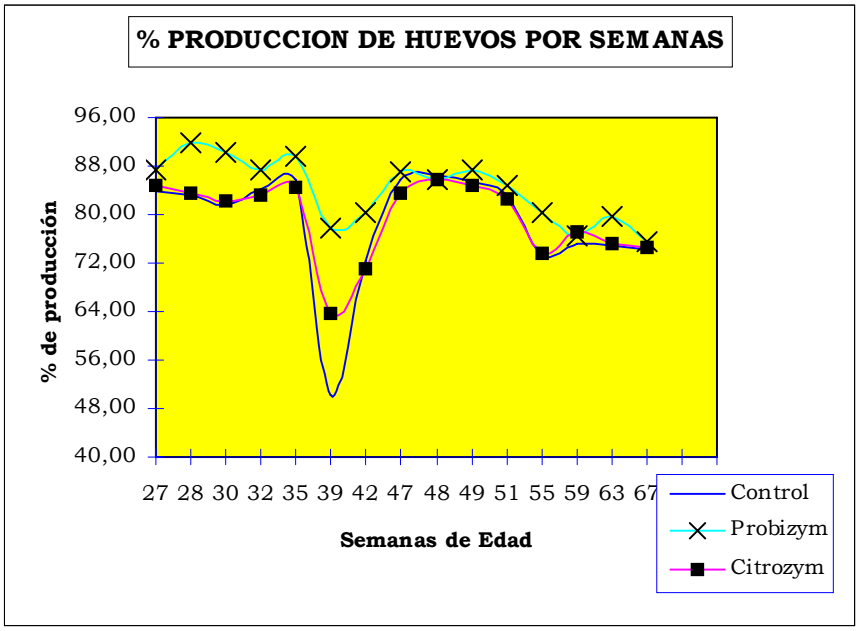


Figura 2. Porciento de producción de huevos por semanas durante las 42 semanas del experimento

Los resultados demostraron que el producto PROBIZYM, obtenido a partir de la combinación del producto PROBICID a una concentración de 10^9 UFC/mL y el pool enzimático producido a partir de la fermentación sólida de la cáscara cítrica, logró mejorar la producción de huevos y disminuir los costos de la dieta por la sustitución de un 34 % del fosfato dicálcico en la fórmula. Estos resultados coinciden con lo reportado por Owens y otros, 2003 quienes utilizaron extracto de levadura, acidificante, antibiótico y enzimas y obtuvieron un efecto diferente por separado o con las combinaciones, siendo el mejor resultado la combinación del extracto de levadura y la enzima que logró mejorar la conversión del alimento.

REFERENCIAS BIBLIOGÁFICAS

Balcázar J.L., Luna-Rojas T. (2007). Current Microbiology 55, 409-412

Balcázar J.L., Rojas-Luna T., Cunningham D. (2007). Journal of Invertebrate Pathology. 96, 147-150.

Bengmark S., Ecological control of the gastrointestinal tract.(1998). Gut 42, 2–7.

Biourge, V., Vallet, C., Levesque, A., Sergheraert, R., Chevalier, S., Roberton, J. (1998). *J. Nutr*. 128, 2730S-2732S.

Bougon M**.,** Le Menec H., Launay, M. (1987). Bul d'Ínf. Station Exp. d'Aviculture de Ploufragan. 27 pp, 120-125.

Bremer Pharma GMBH. 1999. Programa de salud preventivo para pollos de engorde, ponedoras y su reemplazo, reproductoras y su reemplazo. Bremerhaven, Alemania.

Brizuela M. A. (2003). Selección de bacterias ácido lácticas para la obtención de un preparado con propiedades probióticas y su evaluación en cerdos**.** La Habana. 120 h**.** Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. ICIDCA- Ministerio del Azúcar.

Brizuela, M. A., Bueno L., Guyot J.P., García-Quintans N., López P. (2001). Rev. Cubana de Ciencia Avícola. 25, 1-9.

Cross, M.L. (2002). FEMS Immunol. Med. Microbiol., 34, 245-253.
De Angelis M., Siragusa S., Berloco M., Caputo L., Settanni L., Alfonsi G., Amerio Grandi M., Ragni A., Gobbetti M. (2006). Research in Microbiology 157 , 792–801.
Gómez G.D., Balcázar J.L. (2008). FEMS Immunology & Medical Microbiology. 52, 145-154.
http://europa.eu.int/eur-lex/es/lif/reg/es_register_035010.html
Kastner S., Perreten V., Bleuler H., Hugenschmidt G., Lacroix C., Meile L., (2006). Systematic and Applied Microbiology 29, 145–155.
Lacey, R.W. (1984). Are resistant gram-positive bacteria in animals a threat to man? A:Antimicrobials and agriculture. Studies in the agricultural and food sciences. (Woodline, M. Ed.). Butterworths, London, pp.221-235.
Lestradet, H. (1994). *Med. Chirur. Dig.* 23, 421-424.
Line., J.E., Bailey, J.S., Cox, N.A., Stern, N.J. (1997). *Poultry Sci*. 76, 1227-1231.
Line., J.E., Bailey, J.S., Cox, N.A., Stern, N.J., Tompkins, T. (1998). *Poultry Sci*. 77, 1227-1231.
Madden J.A.J. (2005) International Immunopharmacology 5, 1091–1097
Mateos, G.G., Lazaro, R., Medel P. (2000). Feeding strategies for intensive livestock production without in feed antibiotic growth promoters. In: III Conf. On sow feed manufacturing in the Mediterranean region. March, 22-24, Reus, Spain.
Moore, P.R., Evenson, A., Luckey, T.D., McCoy, E., Elvehjem, C.A., Hart, B.E. (1946). *J. Biol. Chem*. 16, 437.
Piard, J.C**.,** Le Loir, I., Langella, Y.P. (1999). Biotecnología, Ciencia y Desenvolvimiento. 8 pp: 80- 84.
Piva, A, Prandini, A., Fiorentini, L., Morlacchini, M., Galvano, F., Luchansky, J.B. (2000). J. Anim. Sci. Vol 78 (Suppl. 1), 184 (Abs.).
Pluske, J. R.., Siba P.M, Pethick, D.W., Durmic, Z., Mullan B.P., Hampson D.J. (1996). J. Nutr. 126, 2920-2933.
Ravindran, V., Selle, P.H., Bryden, W.L. (2000). Role of microbial phytase in pig and poultry nutrition. 3rd European Symposium on Feed Enzymes, abstracts of lectures and posters, Noordwijkerhout, The Netherlands, may 2000, p.33.
Rodríguez, J.A., (2004). Informe Final de Proyecto " Producción de fitasa y otras enzimas de interés para su empleo en la Alimentación Animal. ICIDCA-CITMA. 60 p Disponible en: Biblioteca Virtual ICIDCA. http//www.icidca.cu.
Roura, E., Xalabarder, A. (1999). Descripció de l'activitat immunomoduladora de nutrients, ingredients i additius en alimentació animal. In: Homenatge acadèmic al doctor Francesc Puchal i Mas. Ed. Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, december of 1999. pp:198-231.
Saxelin, M., Tynkkynen S., Mattila-Sandholm T., M de Vos W.(2005).Current Opinion in Biotechnology . 16, 204–211.
Schiffrin E**.**, Brassart D., Servin A., Rochat F. y Donnet A. (1997). Am. J. Clin. Nutr. 66(2) pp:515S-520S.
Shoeib, H.K., Madian A.H., (2002). Assiut Vet. Med. J., 47, 112-125.
SORBIAL (1999). La Bio-technologie Apliquée.Los probióticos al servicio de la gandería. Folleto Comercial Sorbial Biotechnologie, Francia. DT PRO 05/99.
Tannock, G.W., Fuller, R., Smith, S.A., Hall, M.A. (1990). *J. Clin. Microbiol*. 28, 1225-1228.
Tortuero, F., Rioperez, J., Fernandez, E., Rodriguez, M.L. (1995). J. Food Protect. 58, 1369- 1374.
Wang X., Ma G., Zheng B., Tiam H. (1995). Wei Sheng Wu Hsueh Pao. 35(6), 455-459.

OBTENCIÓN DE UN SUPLEMENTO DIETÉTICO AVIAR Y PORCINO A PARTIR DE LA SACAROSA

Rubén Cuervo Fernández, Beatriz Guilarte Maresma

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras. Edificio IPROYAZ, Carretera al central Manuel M. Prieto km 2½, Boyeros, Ciudad de La Habana, Cuba.
ruben.cuervo@icinaz.minaz.cu

RESUMEN

Los fructooligosacáridos son una mezcla de azúcares constituida principalmente por 1-kestosa, nistosa y fructofuranosil-nistosa. Actualmente se emplean como suplemento en dietas para humanos, pollos de ceba, en la cría de cerdos y también en animales domésticos. En este trabajo se desarrolló un sistema de células de *Aspergillus sp.* inmovilizadas en alginato de calcio. Las esferuelas con mayor actividad fructosiltransferasa fueron obtenidas a partir de mezclas de composición masa celular y alginato de sodio 7.5 % (p/v) y 2.0 %, respectivamente. Los valores máximos de actividad fructosiltransferasa estuvieron comprendidos en el rango de pH 5.5-6.0, la eficiencia en la conversión de la sacarosa en fructooligosacáridos resultó ser superior al 90 %. La actividad fructosiltransferasa del micelio inmovilizado alcanzó su valor máximo a la temperatura de 65 ºC. La estabilidad del biocatalizador se mantuvo constante durante 30 días a 40 ºC, mientras que a 50 ºC perdió alrededor de un 8 % de su actividad inicial en el mismo periodo de tiempo. En contraste, la actividad residual a 55 ºC presentó una continua disminución alcanzando a los 16 días el tiempo de vida media. La mayor productividad en la producción de fructooligosacáridos se obtuvo al alimentar el reactor de lecho empacado con una solución de sacarosa de 615 $g.dm^{-3}$ a una de velocidad espacial de 0.2 h^{-1}. Bajo estas condiciones, la composición de fructooligosacáridos en la mezcla fue mayor de 55 % y el sistema inmovilizado funcionó continuamente por más de 15 días sin pérdida significativa de su actividad enzimática.

Palabras claves: fructooligosacáridos, suplemento dietético, inmovilización de células, alginato

ABSTRACT

Fructooligosaccharides are a sugar mixture constituted mainly by 1-kestose, nystose and fructofuranosyl-nystose. At present, they are used as supplement in diets for humans, broiler chickens, growing pigs and also in domestic animal. In this work a system of *Aspergillus sp.* cells immobilized in calcium alginate was developed. Beads with greater fructosyltransferase activity were obtained from composition mixtures of cell mass and sodium alginate 7.5% (p/v) and 2.0%, respectively. The maximum values of fructosyltransferase activity were found in the pH range of 5.5-6.0, the efficiency of sucrose conversion in fructooligosaccharides was superior to 90%. The fructosyltransferase activity of the immobilized mycelium reached the maximum value at temperature of 65 ºC. The bio-catalyst activity was maintained constant during 30 days at 40 ºC, whereas at 50 ºC it lost around 8% of the initial activity in the same period of time. On the other hand, the residual activity at 55 ºC presented a continuous diminution reaching the half-life time at 16 days. The greater productivity in fructooligosaccharide production was obtained when the packed-bed reactor was fed

with a sucrose solution of 615 $g.dm^{-3}$ at space velocity of 0.2 h^{-1}. Under these conditions, the fructooligosaccharide composition in the mixture was greater of 55% and the immobilized system worked continuously by more than 15 days without significant loss of its enzymatic activity.

Key words: fructooligosaccharides, dietetic supplement, cell immobilization, alginate,

INTRODUCCIÓN

Los fructooligosacáridos, FOS, son una mezcla de azúcares constituida principalmente por 1-kestosa, nistosa y fructofuranosil-nistosa, en los cuales cada uno de los residuos fructosil se encuentran enlazados entre si mediante enlaces β-2-1. Pueden ser sintetizados *in vitro* a partir de la sacarosa por la acción de enzimas que poseen actividad fructosiltransferasa, Antosová y otros (2001) y Cuervo y otros (2007).

Se ha encontrado que la administración de dietas para pollos y cerdos suplementadas con fructooligosacáridos cambia la composición de la flora fecal debido a que ocasiona un incremento de la población de bifidobacterias en la microflora intestinal. Además, pueden reducir la susceptibilidad a la colonización de *Salmonellas* y prevenir la atrofia de la mucosa epitelial del colon, Buddington y otros (1999) y Letellier y otros (2000)**.** Los FOS no son hidrolizados por ninguna de las enzimas existentes en el tracto gastrointestinal, pero al alcanzar el colon son fermentados casi cuantitativamente por las bifidobacterias incrementando su composición y reduciendo la correspondiente a los microorganismos patógenos y la putrefacción que estos ocasionan, Swanson y otros (2002). Por ello, los FOS son ampliamente utilizados como suplementos dietéticos para humanos y animales, Nakakuki (2003).

El desarrollo de la enzimología industrial ha hecho posible la bio-síntesis de FOS a gran escala utilizando enzimas producidas por hongos. Este proceso se realiza en dos etapas. En la primera se desarrolla la fermentación mediante la cual se produce la enzima β-frutofuranosidasa, que generalmente se encuentra unida a la masa celular, y se realiza su separación del mosto por centrifugación o filtración. En la segunda etapa, se lleva a cabo la síntesis de los FOS a partir de soluciones de sacarosa empleando, ya sea, la enzima soluble, unida a la masa celular o inmovilizada. La producción de FOS puede ser realizada mediante procedimientos discontinuos o continuos. En el primero, por lo general se utilizan enzimas solubles y en el segundo, se utilizan enzimas o células inmovilizadas, Yun (1996) y Sheu y otros (2001)**.** El empleo de enzimas o células inmovilizadas proporciona algunas ventajas: pueden ser reutilizadas repetidamente, no se introducen impurezas en la mezcla de reacción, retienen su actividad catalítica, etc., Arroyo (1998)**.** La estabilidad de los sistemas con células inmovilizados para la producción de FOS, en reactores de lechos mezclados, puede llegar a ser hasta de 3 meses, Chacón (2006).

Las compañías Meiji Seika de Japón y Cheil Foods & Chemicals de Corea del Sur utilizan procesos continuos en los cuales emplean células de *Aspergillus niger* y de *Aureobasidium pullulans,* respectivamente, atrapadas en gel de alginato de calcio, Yun (1996). En estos sistemas de reacción se emplean altas concentraciones de sacarosa, entre 600 $g.dm^{-3}$ y 850 $g.dm^{-3}$, ya que: se reduce la aparición de contaminantes microbianos, los grupos hidroxilos de los azúcares ejercen una acción estabilizadora sobre las enzimas y se abaratan los costos del proceso final de evaporación, Yun y otros (1992) y Yun (1996). Además, se han estudiado varios adsorbentes e intercambiadores iónicos para la inmovilización de la β-Frutofuranosidasa y diferentes variantes empleando el gel de alginato, Cruz y otros (1998).

El objetivo de este trabajo consiste en desarrollar un sistema de células inmovilizadas para la producción de fructooligosacáridos.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Reactivos

La 1-kestosa y la nistosa fueron obtenidas a partir de Sigma-Aldrich-Fluka. Los restantes reactivos químicos utilizados fueron de grado analítico comprados a PANREC. En la preparación de los medios de cultivo se utilizó sacarosa de grado alimenticio.

Microorganismo

Se empleó el *Aspergillus sp* 27H, aislado de suelo de campos sembrados de caña, Cuervo y otros (2004). Esta cepa se cultivó en agar extracto de malta durante 7 días. La suspensión de esporas obtenida se mezcló con una solución de glicerol, se estandarizó a 6.0 x 10^7 esporas.cm^{-3} y se conservó en congelación hasta su posterior uso.

2. Biosíntesis de la β-fructofuranosidasa.

Se emplearon erlenmeyers de 1000 cm^3 que contenían 200 cm^3 de medio de cultivo los cuales se inocularon con 0.3 cm^3 de la suspensión de esporas estandarizada. La composición del medio en % (p/v) fue la siguiente: sacarosa 18.0, $NaNO_3$ 1.5, KH_2PO_4 0.4, $MgSO_4.7H_2O$ 0.05, $MnCl_2.4H_2O$ 0.03, $FeSO_4.7H_2O$ 0.001 y extracto de levadura 2.0. El pH del medio se ajustó a 5.8. Los cultivos se desarrollaron en una incubadora orbital a 200 rpm y 30 °C hasta completar la fase exponencial de crecimiento, alrededor de 72 h, donde se alcanza el máximo de producción de enzima. Los caldos resultantes se filtraron al vacío por una malla de 48 μm de diámetro de poro.

La formación de esferuelas de alginato de calcio al 2 % y de 2.5 mm de diámetro promedio se llevó a cabo realizando la secuencia de operaciones siguientes: el caldo de fermentación resultante del cultivo de la cepa 27H se colocó dentro de una cámara de enfriamiento, se destruyeron los grumos mediante el empleo de un homogenizador Ultra Turrax T 25 y la dispersión obtenida se pasó a través de una malla de 200 μm de tamaño de poro. Finalmente, esta dispersión se mezcló con alginato de sodio, se paso por una aguja hipodérmica y se formaron las esferuelas al caer las gotas de la mezcla de alginato de sodio-micelio sobre una solución de cloruro de calcio al 2 %

Los experimentos se realizaron utilizando un sistema tampón tris-acetato 0.05 M, en un rango de valores de pH, de 3 a 9, para no alterar la estabilidad química de las esferuelas de alginato de calcio. Este sistema posee una capacidad buffer $\beta_{pH=5.5}$ = 0.055 equiv-g.dm^{-3} (de NaOH) ó $\beta_{pH=5.5}$ = 0.019 equiv-g.dm^{-3} (de HCl) y un valor, $\Delta pH_{1/2}$ = +0.02.

3. Determinación de actividad enzimática

La actividad enzimática se determinó de la siguiente forma: una cantidad adecuada de la enzima libre, masa celular o esferuelas se adiciona a 4.9 cm^3 de una solución de sacarosa de 615 g.dm^{-3} en tampón tris-acetato 0.2 M de pH 5.5. La reacción se lleva a cabo a 55 °C durante 60 min. Todas las determinaciones de actividad enzimática se realizaron por cuadruplicado.

Las unidades de actividad enzimática se definieron de forma similar a las descritas con anterioridad, Cuervo y otros (2004).

Las concentraciones de azúcares presentes en las mezclas de reacción se determinaron por HPLC, con excepción de algunos ensayos, señalados en el texto, donde se emplea el método del acido 3,5 dinitrosalicílico, Miller (1959), para determinar los azúcares reductores los cuales se expresan como glucosa**.** Las proteínas fueron determinadas por el método de Bradford, Bradford (1976).

4. Cromatografía HPLC analítica

Se utilizó un equipamiento consistente en una columna Aminex HPX-87C (7.8 x 300 mm, Bio Rad Laboratories), una bomba LKB 2150, un detector de índice de refracción Knauer 9801 y un integrador de datos Merck Hitachi D-2500. La temperatura de la columna se mantuvo en 80 ºC; como fase móvil se utilizó agua Milli-Q desgasificada con Helio a un flujo de 0.6 $cm^3.min^{-1}$. Antes de la inyección las muestras se filtraron por membranas de 0.2 μm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Estudio de la composición de las mezclas utilizadas para la formación de las esferuelas.

Por tradición en ingeniería química, la influencia de la transferencia de masa sobre el proceso de reacción completo se representa por el factor de efectividad, η. En el caso específico de los bio-procesos, con sistemas de células o enzimas inmovilizadas, este parámetro muestra los efectos de los fenómenos de transporte que se originan al realizar la inmovilización y relaciona las actividades enzimáticas asociadas al micelio antes y después de la inmovilización.

Con el objetivo de obtener esferuelas con características apropiadas para su empleo en la producción de FOS a partir de la sacarosa, se estudiaron mezclas de otras composiciones y las esferuelas formadas se sometieron a un tratamiento con glutaraldehído al 0.5 %. Este reactivo bifuncional ha sido muy utilizado para incrementar la estabilidad de sistemas de enzimas y células inmovilizadas por el entrecruzamiento (crosslinking agent) que forma entre las moléculas de proteínas, Walt y otros (1994). Las concentraciones de las distintas sustancias empleadas así como los resultados obtenidos se muestran en la Tabla I. Las concentraciones, tanto de alginato de sodio como de cloruro de calcio, utilizadas para conformar las esferuelas de alginato de calcio, fueron seleccionadas después de un riguroso estudio de la literatura existente sobre este método de inmovilización utilizado para células.

Tabla I. Composición de las mezclas utilizadas para la formación de las esferuelas.

Variante	Concentraciones %(p/v)			$A_{\beta-Ffasa}$	S	IC	η
	Alginato	Gelatina	$m_{celular}$				
A	2.0	0	4.1	21.37	0.52	0.41	66.51
A+Glut*				21.42	0.14	0.16	x
B	2.0	1.0		20.66	0.11	0.16	67.92
B+Glut*				20.29	0.75	0.72	x
C	2.5	0		19.86	0.01	0.02	60.14
C+Glut*				21.15	0.78	0.77	x

*Concentración de glutaraldehído en el tampón 0.5 %; m_c: masa celular

Las actividades β-Fructofuranosidasas por gramo de esferuela para cada una de las diferentes variantes resultaron ser similares lo que evidencia que las composiciones de las mezclas a partir de las cuales se formaron las esferuelas no influyeron significativamente en este parámetro. Sin embargo, el factor de efectividad correspondiente al proceso de inmovilización que utiliza la mezcla C resultó menor que los restantes, lo cual puede ser resultado de una mayor contracción de las esferuelas en el proceso de su formación, por presentar esta mezcla un mayor contenido en alginato, Smidrov (1990).

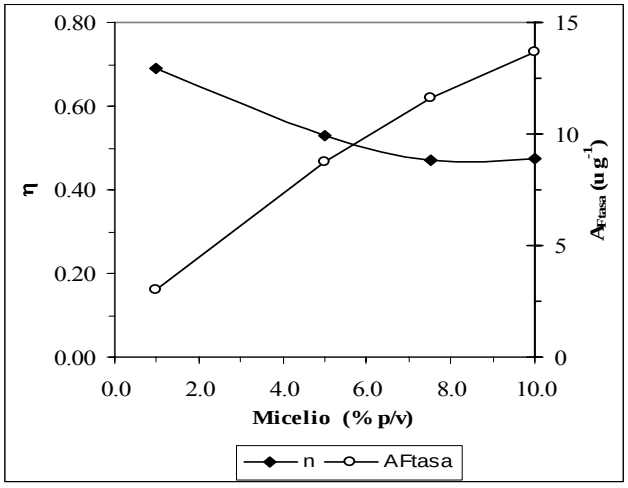


Figura 1. Efecto de la concentración de micelio, en la composición de la mezcla alginato de sodio-micelio, sobre la eficiencia del sistema inmovilizado y la A_{Ftasa} de esferuelas de aproximadamente 2.5 mm de diámetro.

Por otro lado, la actividad detectada en las soluciones de $CaCl_2$ fue muy pequeña, resultado no mostrado. Este resultado indica que prácticamente toda la masa celular presente, en la mezcla con el alginato, se atrapó dentro de las esferuelas y por ello son las limitaciones difusionales las causas principales de la disminución del factor de efectividad al realizar el atrapamiento de los micelios. En ambos ensayos se empleó el método del acido 3,5 dinitrosalicílico para determinar la glucosa en la mezcla de reacción.

Se estudió el efecto de la concentración de biomasa, entre 1 y 10 % (p/v), en mezclas con alginato de sodio al 2 % sobre la actividad fructosiltransferasa y el factor de efectividad. Este factor disminuye gradualmente con el incremento de la concentración celular en las esferuelas y sus valores están en el rango de 0.58 a 0.44, como se muestra en la Figura 1.

Tomando en cuenta aspectos prácticos y los resultados anteriores, se decidió conformar las esferuelas con una concentración de masa celular de 7.5 % (p/v) las cuales mostraron un valor de coeficiente de efectividad de 0.47 y una mayor actividad fructosiltransferasa que a concentraciones celulares menores. Esferuelas con concentraciones celulares superiores al 7.5 % (p/v) no presentaron forma esférica.

2. Estabilidad de los sistemas de células inmovilizadas.

Para conocer la estabilidad de las células inmovilizadas obtenidas a partir de las mezclas constituidas por 2.0 y 7.5 % (p/v) de alginato de sodio y masa celular, respectivamente, las esferuelas fueron colocadas en solución tampón tris-acetato 0.05 M de pH 5.5 y en solución de sacarosa de concentración 615 g.dm^{-3} a 30 °C, por periodos de 4 horas durante 10 ciclos. Los resultados se muestran en la Figura 2. En las curvas (1) se observa como la actividad β-Fructofuranosidasa residual de las esferuelas mantenidas en la solución tampón disminuye con el número de veces que se repite la operación, a pesar de que no se detecta la presencia de proteína en los sobrenadantes. Sin embargo, los diámetros de las esferuelas aumentaron lo que puede ser la causa de la disminución de la actividad enzimática por gramo de esferuelas. Este fenómeno no se observó en las esferuelas colocadas en solución de sacarosa donde la actividad enzimática se mantuvo prácticamente constante durante todo el experimento, curvas (2). En este ensayo se empleó el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico para determinar la concentración de glucosa en la mezcla de reacción.

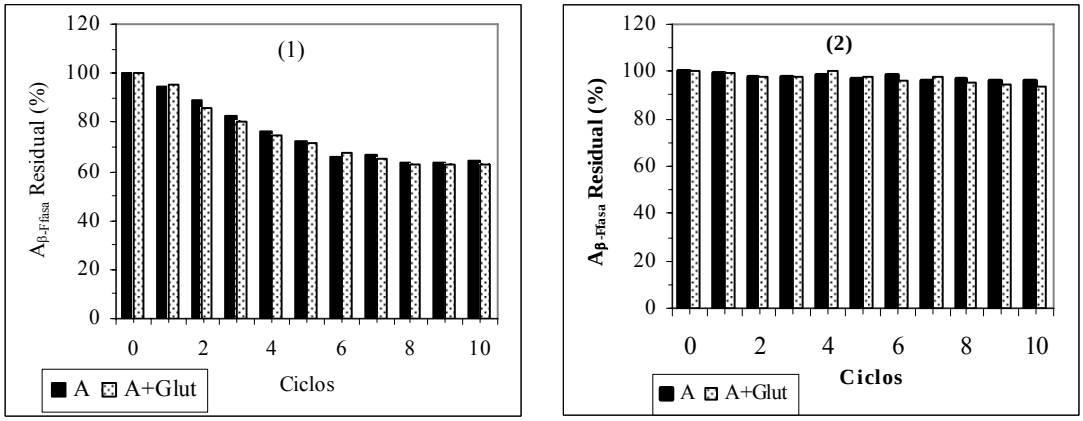


Figura 2. Estabilidad de los sistemas inmovilizados. **(1)** y **(2)** esferuelas mantenidas en tampón tris-acetato 0.05 M de pH 5.5 y en solución de sacarosa 615 $g.dm^{-3}$, respectivamente. Cada ciclo se desarrolló a 30 °C y 200 rpm, durante 4 horas.

El procedimiento de inmovilización utilizando geles de alginato se considera ventajoso para la producción de fructooligosacáridos y específicamente para el desarrollo de la reacción de transferencia de residuos fructosil debido a que los geles de alginato se endurecen, a las altas concentraciones de sacarosa a las cuales se realiza la reacción, adquiriendo una alta estabilidad por largos periodos de tiempo. Esta observación, recogida en algunas publicaciones, Yun y otros (1992), permite explicar la diferencia existente entre los resultados al colocar las esferuelas en el tampón tris-acetato y en la solución de sacarosa, Figura 2.

3. Efecto del pH sobre la actividad enzimática

Se estudió la influencia del pH sobre la actividad enzimática del sistema de células inmovilizadas en alginato de calcio, Figura 3. El comportamiento de las actividades fructosiltransferasa e hidrolítica presentes en las esferuelas de alginato de calcio frente al pH resultó ser similar al que presenta el sistema con células libres, Cuervo y otros (2004). La eficiencia en la conversión de la sacarosa en FOS resultó ser superior al 90 % a valores de pH mayores de 5.0, lo cual corrobora que durante la reacción enzimática la sacarosa se transforma casi en su totalidad en FOS.

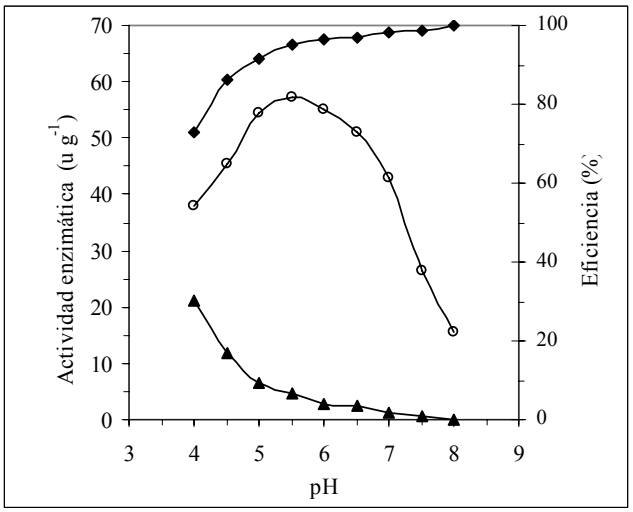


Figura 3. Efecto del pH sobre la actividad del sistema inmovilizado con la β-Fructofuranosidasa unida a los micelios del *Aspergillus sp.* 27H. Mezcla de reacción: 1.2 u de A_{Ftasa} por cada gramo de sacarosa a 55 ºC por 60 min. (♦) Eficiencia, (o) A_{Ftasa} y (▲) A_H.

4. Efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática

Se estudió la influencia de la temperatura sobre la actividad enzimática del sistema de células inmovilizadas en alginato de calcio. La actividad fructosiltransferasa alcanzó su valor máximo a 65 ºC y decreció de forma aguda a temperaturas mayores que esta, como se muestra en la Figura 4. El desplazamiento positivo de la temperatura de máxima actividad fructosiltransferasa, en 5 ºC con relación a la obtenida para el sistema empleando células libres, Cuervo y otros (2004), puede ser el resultado de la protección que ejerce la esferuela de alginato sobre la β-fructofuranosidasa unida al micelio, Yun y otros (1992). Simultáneamente, la actividad hidrolítica aumentó aun a temperaturas por encima de 65 ºC. El comportamiento frente a los cambios de temperatura de ambas actividades determina el curso de la eficiencia de la bio-conversión de la sacarosa en FOS. Los valores de la eficiencia se mantienen próximos a 90 % a temperaturas inferiores a 65 ºC, pero decaen abruptamente por encima de esta temperatura.

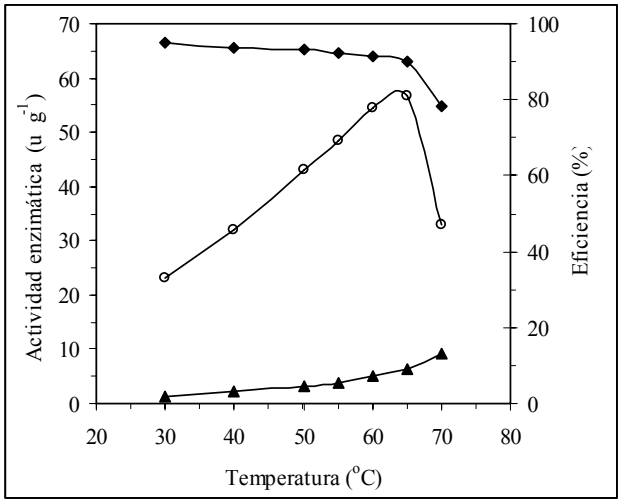


Figura 4. Efecto de la temperatura sobre la actividad del sistema inmovilizado con la β-Fructofuranosidasa unida a los micelios del *Aspergillus sp.* 27H. Mezcla de reacción: 1.2 u de A_{Ftasa} por cada gramo de sacarosa a pH 5.5 por 60 min. (♦) Eficiencia, (o) A_{Ftasa} y (▲) A_H.

Al graficar los valores del logaritmo natural de las actividades fructosiltransferasa contra el inverso de la temperatura, expresada en grados Kelvin, se obtuvo una línea recta a temperaturas inferiores de 55 ºC, Figura 5. Este resultado indica que la reacción catalizada por esta enzima presenta una dependencia con la temperatura acorde con la ecuación empírica de Arrhenius.

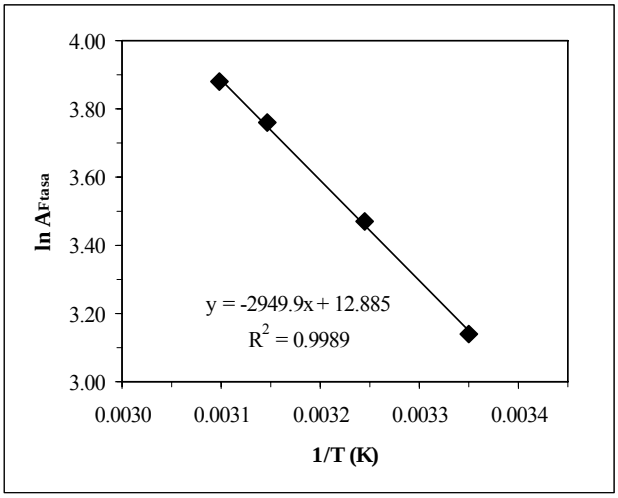


Figura 5. Ploteo de Arrhenius para la A_{Ftasa} del *Aspergillus sp.* 27H inmovilizado en el rango de 30 a 55 ºC. Mezcla de reacción: 1.2 u de A_{Ftasa} por cada gramo de sacarosa a pH 5.5 por 60 min.

La actividad fructosiltransferasa no llega a duplicarse por un incremento de 10 ºC en la temperatura, como sucede con muchas reacciones químicas. Esto puede ser el resultado de la ocurrencia simultánea de varias reacciones que involucran el mismo sustrato o productos de la reacción de transferencia de residuos fructosil. La energía de activación para la reacción es de 24 438 $kJ.kmol^{-1}$.

5. Efecto de la concentración de sacarosa en la formación de productos de transferencia

Se estudió el efecto de la concentración de sacarosa sobre la formación de productos y su composición a concentraciones iniciales de sacarosa en la mezcla de reacción de 340, 470 y 615 $g.dm^{-3}$. La reacción se desarrolló a 55 ºC durante 60 min. Los resultados se muestran en la Figura 6. A medida que la concentración de sacarosa aumenta se observa un pequeño incremento en la cantidad de fructooligosacáridos formados y la cantidad de sacarosa residual aumenta, Figura 6a, lo cual conduce a la disminución de la composición de FOS en la mezcla de reacción Figura 6b. Esto apunta a que en el sistema reaccionante la enzima esta saturada por la sacarosa aun a la menor concentración ensayada.

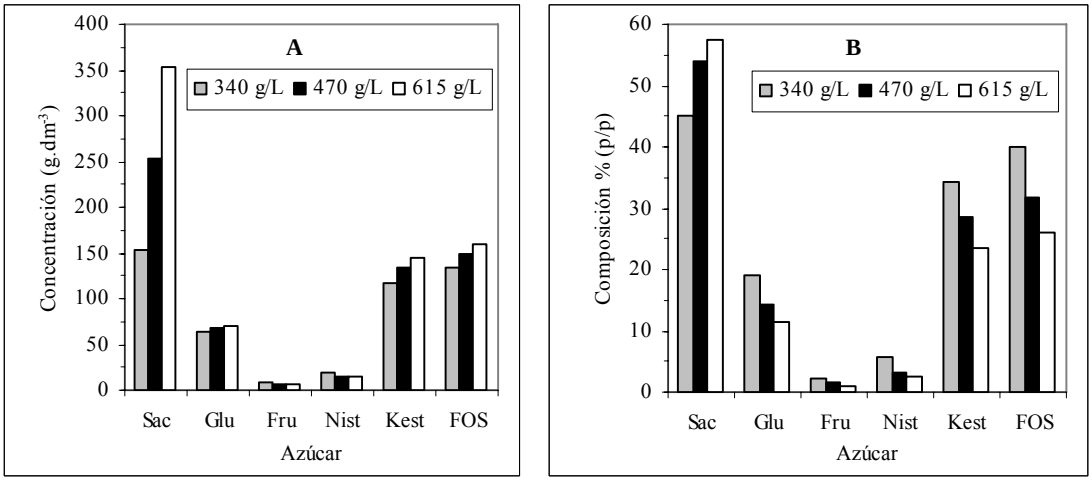


Figura 6. Efecto de la concentración de sacarosa sobre la formación de productos por el sistema inmovilizado con la β-Fructofuranosidasa unida a los micelios del *Aspergillus sp.* 27H. Mezcla de reacción: 1.2 u de A_{Ftasa} por cada gramo de sacarosa a pH 5.5 y 55 ºC por 60 min. (A) y (B) concentración y composición de carbohidratos en la mezcla de reacción, respectivamente.

Al aumentar la concentración de sacarosa en la mezcla de reacción se produce una disminución de la cantidad de fructosa formada, lo cual indica que la reacción de hidrólisis resulta insignificante. Por otra parte, para obtener composiciones en FOS similares a las que poseen algunos productos industriales y por la conveniencia de desarrollar la bio-síntesis a altas concentraciones de sacarosa, resulta necesario emplear en las mezclas de reacción relaciones actividad enzimática/cantidad de sacarosa y tiempos de reacción mayores, de acuerdo con las experiencias realizadas con células libres, Cuervo y otros (2004).

6. Efecto de la temperatura sobre la estabilidad del sistema enzimático en un reactor de lecho empacado.

La estabilidad durante la operación de un reactor de lecho empacado de 120 cm^3 (de 1.6 cm x 16 cm) se estudió a tres valores de temperatura, 40, 50 y 55 ºC, durante 30 días, pasando soluciones de sacarosa de concentración 615 $g.dm^{-3}$ a una velocidad espacial de 0.15 h^{-1}, los resultados se muestran en la Figura 7. El sistema mantuvo su actividad durante 30 días a 40 ºC, mientras que a 50 ºC perdió alrededor de un 8 % de su actividad inicial en el mismo periodo de tiempo. En contraste, la actividad residual a 55 ºC presentó una continua disminución alcanzando a los 16 días el tiempo de vida media, $t_{½}$. Estos resultados no están en contradicción con el valor de temperatura óptima de 60 a 65 ºC, para un tiempo de reacción de una hora, pues se trata de condiciones experimentales totalmente diferentes. En general el incremento de la temperatura reduce la estabilidad de bio-procesos que se desarrollan durante periodos de tiempo prolongados. En este ensayo se empleó el método del acido 3,5 dinitrosalicílico para determinar la glucosa en la mezcla de reacción.

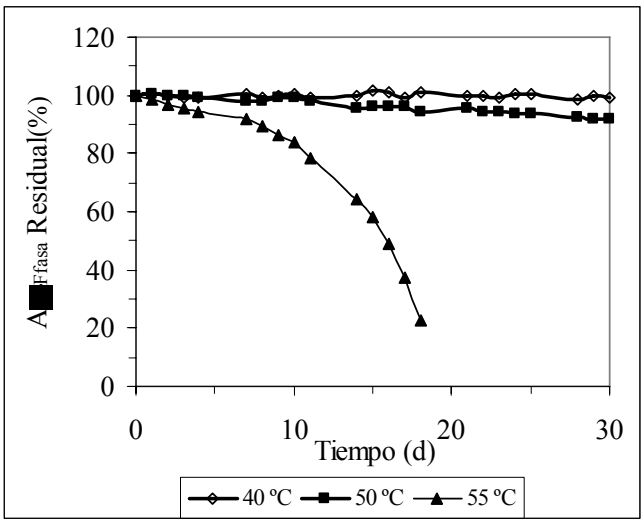


Figura 7. Estabilidad operacional del sistema de células inmovilizadas a diferentes temperaturas en un reactor de lecho empacado de 1.6 cm x 16 cm. El ensayo se realizó durante 30 días, alimentando soluciones de sacarosa de 615 $g.dm^{-3}$ a una velocidad espacial de 0.15 h^{-1}.

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la Figura 7, resulta conveniente desarrollar las transformaciones en el reactor a 50 ºC. A esta temperatura se ha reportado la operación de reactores de lecho empacado durante periodos de tiempo de hasta tres meses con valores altos de productividad, Yun (1996).

Por otra parte, como el sistema inmovilizado presenta un comportamiento al variar la temperatura que se ajusta a la expresión empírica establecida por Arrhenius, al llevar a cabo la reacción a 50 ºC la productividad en la producción de FOS será mayor a la obtenida a 40 ºC. Además, a 50 ºC es menos probable que el sistema pueda sufrir una contaminación microbiana y con ello se evita tener que operar el sistema completo bajo condiciones estériles.

7. Efecto del flujo de solución de sacarosa sobre la síntesis de FOS.

La producción de fructooligosacáridos se estudió a 50 ºC en un reactor de lecho empacado de 120 cm^3, alimentado con soluciones de sacarosa de concentraciones 615 $g.dm^{-3}$ y 770 $g.dm^{-3}$ a velocidades espaciales en el intervalo de 0.1 h^{-1} a 0.3 h^{-1} (12 $cm^3.h^{-1}$ a 36 $cm^3.h^{-1}$). Los resultados se muestran en la Figura 8.

En experiencias realizadas con anterioridad se determinó que en condiciones similares de pH, temperatura y concentración de sacarosa, las mezclas de reacción con composiciones en FOS entre 58 y 60 % presentaban concentraciones de glucosa de 176.5 ± 9.0 $g.dm^{-3}$ y de 221.77 ± 11.2 $g.dm^{-3}$ correspondientes a concentraciones iniciales de sacarosa de 615 $g.dm^{-3}$ y 770 $g.dm^{-3}$, respectivamente. Este recurso fue utilizado para monitorear de forma indirecta las concentraciones de FOS, a través de la concentración de glucosa, en las mezclas de reacción. La glucosa se determinó por el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico.

Al incrementar el flujo de la solución de sacarosa de concentración 770 $g.dm^{-3}$ se observó que a valores de velocidad espacial superiores a 0.1 h^{-1} la concentración de glucosa en la mezcla de reacción comenzó a disminuir, indicando que lo mismo acontece con la composición en FOS. Mientras que cuando el ensayo se realizó con la solución de sacarosa de 615 $g.dm^{-3}$, el decrecimiento en la composición en FOS comenzó a manifestarse a valores de VS superiores a 0.2 h^{-1}.

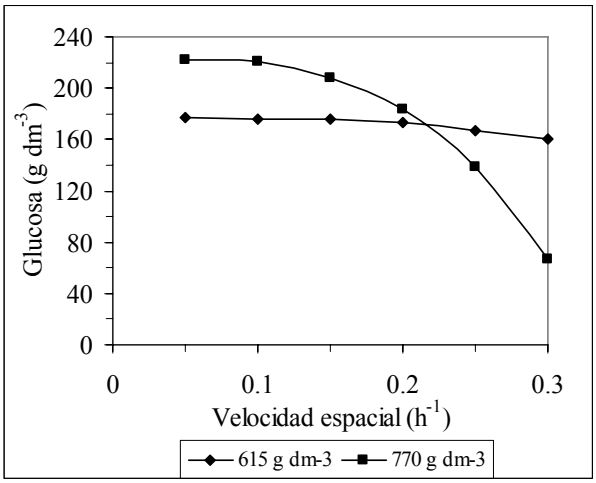


Figura 8. Efecto de la velocidad de flujo sobre la producción de FOS en un reactor de lecho empacado de (1.6 x 60) cm a 50 ºC. Se alimentaron soluciones de sacarosa de 615 y 770 $g.dm^{-3}$ a velocidades espaciales entre 0.1 y 0.3 h^{-1}.

Bajo estas condiciones resulta más beneficioso alimentar el reactor, debido a que da lugar a una productividad mayor en la producción de FOS que la que se obtiene alimentando la columna con la solución de sacarosa de 770 $g.dm^{-3}$ a un valor de VS de 0.1 h^{-1}.

8. Producción de fructooligosacáridos

La producción de FOS se estudió estableció en un reactor de lecho empacado de 1 dm^3 de capacidad, 5.0 cm x 51 cm. Para alimentar este reactor se empleó una solución de sacarosa de concentración 615 $g.dm^{-3}$ a velocidad espacial de 0.2 h^{-1} (flujo volumétrico de 200 $cm^3.h^{-1}$), la temperatura del reactor se mantuvo a 50 ºC. Bajo estas condiciones, la concentración de glucosa en la solución a la salida del reactor fue de 176.35 ±

9.11 g.dm^{-3}, durante todo el periodo de operación, Figura 9. Esta concentración de glucosa corresponde a una composición en FOS > 55 % (p/p).

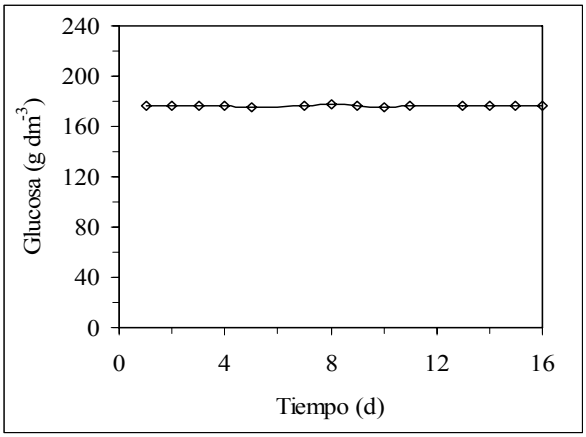


Figura 9. Producción de FOS por el sistema inmovilizado en un reactor de lecho empacado de 1 dm^3. Condiciones de operación: velocidad espacial 0.2 h^{-1}, concentración de sacarosa a la entrada del reactor 615 g.dm^{-3} y 50 ºC.

Algunos productos comerciales obtenidos a partir de β-fructofuranosidasas de *Aspergillus niger* y *Aureobasidium pullulans* poseen composiciones en FOS similares, Yun y otros (1993) y Hirayama y otros (1989).

CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema de células inmovilizadas en alginato de calcio que resulta apropiado para la producción de fructooligosacáridos en reactores de lecho empacado. Bajo las condiciones establecidas es posible obtener mezclas de reacción cuyas composiciones tengan mas de 55 % (p/p) de fructooligosacáridos continuamente por mas de 15 días.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antosová M., Polakovic M. (2001), Fructosyltransferases: The enzymes catalyzing production of fructooligosaccharides. Chem Papers 55: 350-358.
- Arroyo M. (1998), Immobilized enzymes: Theory, methods of study and application. Ars Pharm 39: 23-39.
- Bradford M.M. (1976), A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein - dye binding. Anal Biochem 72: 248-254.
- Buddington R.K., Buddington K.K., Sunvold G.D. (1999), Influence of fermentable fiber on small intestinal dimensions and transport of glucose and proline in dogs. Am J Vet Res 60(3): 354-8.
- Chacón-Villalobos A. (2006), Perspectivas Agroindustriales Actuales de los Oligofructosacáridos (FOS). Agronomía Mesoamericana 17: 265-286.
- Cruz R., Cruz V.D., Belini M.Z., Belote J.G., Vieira C.R. (1998), Production of fructooligosaccharides by the mycelia of *Aspergillus japonicus* immobilized in calcium alginate. Bioresourse Technol 65: 139-43.

- Cuervo R., Guilarte B., Juárez A., Martínez J. (2004), Production of fructooligosaccharides by β-fructofuranosidase from *Aspergillus* sp. 27H. J Chem Technol Biotechnol 79: 268–272.
- Cuervo R., Ottoni C.A., Sabino E., Saito R.M., Carter J.M., Magossi L.R., Alves M.A., de Andrade M.F., Guilarte B., Maiorano A.E. (2007), Screening of β-fructofuranosidase-producing microorganisms and effect of pH and temperature on enzymatic rate. J Applied Microbiol Biotechnol 75: 7-93.
- Hirayama M., Sumi N., Hidaka H. (1989), Purification and properties of a fructooligosaccharide-producing β-fructofuranosidase from Aspergillus niger ATCC 20611. Agric Biol Chem 53: 667-673.
- Letellier A., Messier S., Lessard L., Quessy S. (2000), Assessment of various treatments to reduce carriage of Salmonella in swine. Can J Vet Res 64(1): 27-31.
- Miller G.L. (1959), Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar, Anal Chem 31: 426.
- Nakakuki T. (2003), Development of Functional Oligosaccharides in Japan. Trends in Glycoscience and Glycotechnology 15: 57–64.
- Sheu D.C., Lio P.J., Chen S.T., Lin C.T., Duan K.J. (2001), Production of fructooligosaccharides in high yield using a mixed enzyme system of β-fructofuranosidase and glucose oxidase. Biotechnol Lett 23: 1499-503.
- Smidrov O. (1990), Alginate as immobilization matrix for cells. TIBTECH 8: 71-78.
- Swanson K.S., Grieshop C.M., Flickinger E.A., Bauer L.L., Wolf B.W., Chow J., Garleb K.A., Williams J.A., Fahey G.C. (2002), Fructooligosaccharides and *Lactobacillus acidophilus* Modify Bowel Function and Protein Catabolites Excreted by Healthy Humans. J Nutr 132: 3042–3050.
- Walt D.R., Agayn B.I. (1994), The Chemistry of enzyme and protein immobilization with glutaraldehyde. Trends Anal Chem 13: 425-430.
- Yun JW, Jung KH, Jeon YJ, Lee J.H. (1992), Continuous production of fructo-oligosaccharides from sucrose by immobilized cells of *Aureobasidium pullulans*. J Microbiol Biotechnol 2: 98-101.
- Yun J.W., Seung K.S. (1993), The production of high-content fructo-oligosaccharides by the mixed enzyme system of fructosyltransferase and glucose oxidase. Biotechnol Lett 15: 573-576.
- Yun J.W. (1996), Fructooligosaccharides: Occurrence, preparation and application. Enzyme Microb Technol 19: 107-117.

APLICACIÓN DE BIOICIL EN LA PRESERVACIÓN DE PASTOS, FORRAJES Y RESIDUOS DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Autores: Serrano, P., Brizuela, M.A., Delgado, G., López P., Cabello, A., Cañete, A., Costales, R.. Padilla, J., Rodríguez, R., Iglesias, I., Legra, S., Armenteros, S., Zuasnabar, Z.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Email: ***paulina.serrano@icidca.edu.cu*** **-** ***maranto.brizuela@icidca.edu.cu***

RESUMEN

En Cuba existe una alta dependencia de los pastos y forrajes naturales para alimentar el ganado, sin embargo producto de las condiciones climáticas, aproximadamente sólo un tercio de este forraje puede ser consumido sin ningún tipo de tratamiento. Uno de los métodos utilizados para dar solución a esta problemática es el ensilaje cuya efectividad depende del control del proceso fermentativo que se origina en el silo.

Por otra parte las condición de Cuba como país productor de azúcar de caña, brinda la posibilidad de disponer de productos (Azúcar, Mieles A y B) y subproductos (Miel Final, Mostos, Residuos de la Cosecha cañera, Bagazo, Cachaza) que cobran importancia debido a su su alta disponibilidad y al desarrollo de nuevas tecnología más eficiente y diversificadas para su empleo en la alimentación animal , sobre todo los subproductos ligno-celulósicos, cuya problemática es su almacenamiento para periodos de no zafra debido a la presencia en estos productos agroindustriales de fuentes carbonadas, nitrogenadas y minerales que los convierten en un sustrato fértil para el crecimiento y proliferación de toda clase de microorganismos causantes directos del deterioro de estos materiales durante su almacenamiento, por lo que en la actualidad se emplean aditivos que dirigen y controlan estos procesos.

En este trabajo se presentan los resultados experimentales alcanzados con el empleo de un Preservante Biológico de Bacterias Lácticas (BIOICIL), cuya función es controlar y dirigir los procesos fermentativos que ocurren durante el almacenamiento de estos materiales.

Palabras claves： Biopreservación, aditivos, Residuos de la cosecha cañera, forrajes, Cachaza

ABSTRACT

Cuba has highly dependence on natural pasties and forages for animal feeding. However, due to the specific climatic conditions prevailing in the country only one third of all the forages available can be used without previous treatment. One of the methods used to salve such situation is the silage, whose effectiveness depend on the control of the fermentation process that takes part in every silo.

On the other hand, being Cuba a sugar producing country allows it to take advantage of the final intermediate and co products of that agro industry (sugar, A and B molasses, black strop molasses, still age crop residues, bagasse and filter cakes, etc.), products that are increasing importance due to the fact that the development of new technologies more efficient and diversified the impact of such products on animal

production especially of those of lignocelluloses character, that have the additional inconvenience of being reasonable production and must be storied during the non-harvest period. But the situation becomes more complicated because the lignocelluloses residues always contain significant amounts carbons sauces, nitrogen and other minerals that conform, as a whole and ideal substrate for the growth of a very wide range of microorganims that deteriorate in very short periods the storage products. That fact force to use additives that controlled and directed the unavailable fermentation processes.

The present paper show the experimental and productive results obtained when BIOICIL (a bio preserver, based on Lactic Bacterial) had been used in the preservation of storage lignocelluloses residues

Key words: Bio preservation, Additives, sugar cane, crops residues, bagasse, filter cake

INTRODUCCIÓN

Las exigencias modernas para la producción de leche y carne requieren de alimentos de calidad para el ganado, por lo que alcanzar adecuados niveles de producción demanda de concentrados, forrajes y otros productos y subproductos fibrosos de buena calidad higiénica y nutricional. Es por ello que se hace cada vez más necesario hacer un máximo aprovechamiento de los recursos con que cuenta el país.

En Cuba existe una alta dependencia de los pastos y forrajes naturales para alimentar el ganado, sin embargo aunque en la actualidad se poseen los conocimientos para producir forrajes con alta productividad y rendimiento por hectárea, producto de nuestras condiciones climáticas, aproximadamente sólo un tercio de este forraje puede ser consumido sin ningún tipo de tratamiento, es por ello que para dar solución a un mejor aprovechamiento del forraje se han utilizado diferentes métodos para su conservación, tales como: henificación, peletización, y ensilaje, este último uno de los métodos más empleados para la preservación de este material; sin embargo los procesos fermentativos no controlados que ocurren en el silo provocan pérdidas considerables del material ensilado (Cusi, D.S., 1980) por lo que en la actualidad se emplean aditivos que dirigen y controlan estos procesos.

Por otra parte nuestra condición de país productor de azúcar de caña, brinda la posibilidad de disponer de cantidades considerables de productos (Azúcar, Mieles A y B, jugo de caña) y subproductos (Miel Final, Mostos de Destilerías, Residuos de la Cosecha cañera, Bagazo, Cachaza) que cobran cada día más importancia debido a la diversificación de su empleo en la alimentación animal y la alta disponibilidad de los mismos sobre todo los subproductos ligno-celulósicos, cuya problemática fundamental es su almacenamiento para periodos de no zafra, debido a la acción de los microorganismos sobre su alto contenido inicial de azucares, la gran heterogeneidad de sus tejidos y el daño sufrido por el material durante las operaciones agroindustriales.

La presencia en estos productos de fuentes carbonadas, nitrogenadas y minerales hacen de los mismos un sustrato fértil para el crecimiento y proliferación de toda clase de microorganismos, causantes directos del deterioro de estos materiales durante su almacenamiento, por lo que el desarrollo de métodos satisfactorios para su preservación y almacenamiento tiene que estar estrechamente relacionado con el control de los fenómenos no deseables que afectan la calidad del material.

Ha sido demostrado el efecto preservante de los inoculantes de bacterias lácticas debido a la capacidad de estos microorganismos de producir ácido, lo cual permite un descenso en el pH hasta valores que inhiben la proliferación de la flora microbiana causante del deterioro del material ensilado (Cusi, D.S., 1980; Aman, P., 1990; Atchinson V.E.,1981; Brizuela, M.A , 1999)

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados experimentales alcanzados con el empleo de un Preservante Biológico de Bacterias Lácticas, que controla y dirige los procesos fermentativos que ocurren durante el almacenamiento de pastos, forrajes y otros residuos agroindustriales (residuos de la cosecha cañera, y otros desechos como bagazo, cachaza,etc.).

MATERIALES Y METODOS

Aditivos utilizados

Inoculante **BIOICIL** según Tecnología desarrollada por el ICIDCA (Patente No 22986)

Procedimientos para la preservación de los materiales bagazo, cachaza, pastos y forrajes

El BIOICIL es aplicado en los materiales fibrosos mediante aspersión, goteo, y/o mezclado, en dosis según carga microbiana autóctona del material a tratar, con posterior compactación en pilas, silos y pacas con densidades entre 400-600 Kg./m^3. El almacenamiento se realiza al aire libre.

Bagazo: Se aplica el inoculante a una relación de 5-7L/t de bagazo integral y de 5-6L/t de bagazo desmedulado (45-55% de humedad) y se adiciona al material por aspersión, en la línea suministradora de bagazo o en el receptor de bagazo de la empacadora. Posteriormente se conforman pacas a una densidad entre 500 y 600 Kg./m^3, las cuales son almacenadas al aire libre en pilas de 2000 a 3000 T de bagazo. El muestreo se realizó al inicio, 20 , 46 días , 5 y 7 meses de almacenamiento (Brizuela, M.A y col., 1990).

Cachaza: Se aplica el preservante en una relación de 8-10 L/t y es asperjado sobre capas de 40 t del material (65-70% de humedad). El almacenamiento de 2000 t de cachaza se realizó en un plato asfaltado, confeccionándose una pila en forma de pirámide de 2.5 x 3 x 1.8 m, compactada hasta alcanzar una densidad de aproximadamente 600 Kg./m^3. Se realizó un muestreo al inicio, 3 y 5 meses de almacenamiento. (Leon, M,. y col., 1992)

Residuos de la Cosecha Cañera (RCC): Se confeccionó un silo de montón de 200 t de residuos de la cosecha cañera, procesados en una Planta (PAMUSAL) situada en una empresa azucarera, el preservante fue aplicado en una relación de 5-6 L/ t de residuo húmedo (55-65% de humedad). El muestreo se realizó al inicio y después de 3 meses de ensilado. (Brizuela, M.A y col., 2000)

Pastos y Forrajes: Se aplica el inoculante en una relación de 5 L/t del material húmedo (65-70% de humedad) inoculando sobre capas de 30 a 50 t, mediante un equipo diseñado para ser acoplado al tractor, que permite regular un flujo por unidad de superficie en un tiempo dado garantizando la homogeneidad del proceso de ensilaje. Se hicieron 2 silos de montón de 1200 t (Pasto Estrella 77,8%, Guinea 5.3%, Bermuda 6.3%, Kingrass 10.6%) y Silo de 1480 t (Kingrass 100%). (Brizuela, M.A. 1999)

TECNICAS DE CONTROL

- ART (Azúcares Reductores Totales): Método de Eynon-Lane.(Biart, J.R. l975)
- Biomasa Volumétrica por centrifugación a 3000 r.p.m
- Materia Seca Gravimétrica por desecación a 105°C durante 24 h.
- Conteo Microbiológico en Placa: Método de las diluciones seriadas y siembra a profundidad en placas de MRS Agar. Las placas son incubadas a 37°C durante 48 h para el conteo de las colonias. Para las levaduras el control microbiológico se realizó mediante conteo directo de viables en Cámara de Newbauer. (Manual de Técnicas Analíticas de la subdirección de Biotecnología ICIDCA.).

RESULTADO Y DISCUSIÓN

PRESERVACION DE BAGAZO

Como cualquier material ligno-celulósico el bagazo se deteriora durante su almacenamiento, esto ocurre debido a la presencia en el mismo de jugos residuales que contienen principalmente sacarosa y azucares invertidos, proteínas y minerales que hacen del bagazo un sustrato fértil para el crecimiento y proliferación de microorganismos muchos de los cuales son causantes de su deterioro. Esto ocurre en el material almacenado, tanto a granel como compactado (Brizuela M. A. y col., 1995)

En la Industria de Tableros a partir de bagazo en Cuba se ha utilizado el método de empacado ya sea presecando el bagazo con petróleo antes de su empaque o con empaque húmedo con posterior secado al aire libre; teniendo el primer método el inconveniente de utilizar combustible no renovable y el segundo necesitar de un largo periodo de secado con el consiguiente deterioro de la fibra. (Lois, J.; Suárez, R. y Francesena, A.,1981).

La experiencia del ICIDCA en cuanto a la aplicación del Preservante BIOICIL a RCC, Pastos y Forrajes durante su ensilaje para evitar el deterioro del material ensilado, permitió combinar el método de almacenamiento de las plantas de tableros tratando previamente el bagazo con el inoculante. Las figura 1, la figura. 2, la tabla I y las tablas II y III muestran respectivamente las experiencias realizadas en las plantas de Tableros de la Empresa Azucarera “Jesús Menéndez”, “PROCUBA” y la Empresa Papelera Venezolana VENEPAL (Brizuela M. A.. y col., 1990, 1992, 1993)

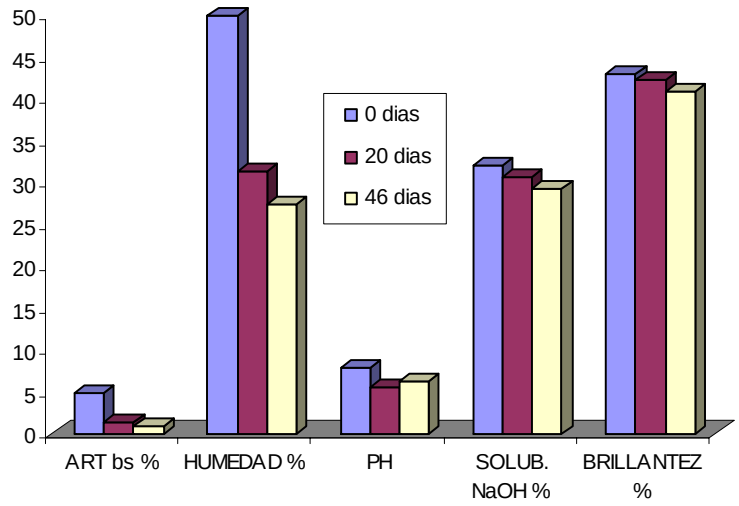


Figura. 1. Comportamiento del Bagazo tratado con BIOICIL, almacenado a la intemperie en pilas de pacas.

En la Fig. 1 se observa que el bagazo empacado tratado con BIOICIL alcanza a los 20 días una humedad promedio de 31.35% lo que comparado con los datos históricos promedio de la planta (32.9%) en periodos de almacenamiento entre 46-50 días, indica una mayor velocidad de pérdida de humedad en el bagazo tratado. Por otra parte los resultados de solubilidad en NaOH y la brillantez se mantienen dentro de un rango aceptable como criterio de conservación (NC 7506).

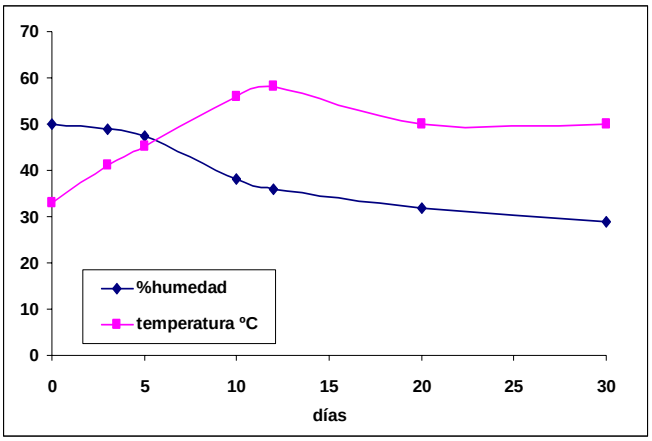


Figura 2. Cinética de la humedad y la temperatura del bagazo empacado tratado con BIOICIL almacenado al aire libre

En la Fig. 2 aparece el perfil de temperatura y humedad del bagazo almacenado al aire libre en pila de pacas tratado con BIOICIL en la planta de tableros "PROCUBA" cuyo comportamiento en cuanto a la humedad corrobora el resultado obtenido en la Planta "Jesús Menéndez" a los 20 días de almacenado el bagazo, además es similar al obtenido en el proceso "BAGATEX 20" (Atchinson V.E., 1981).

Tabla I. Características del bagazo tratado con BIOICIL almacenado en "PROCUBA"

PARAMETROS	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO		
	0 MESES	5 MESES	7 MESES
% HUMEDAD	50,17	12,5	19,7
pH	6,5	5,97	6,3
% FIBRA	60	56,4	61,8
% MEOLLO	30,5	30,9	25,6
% FINOS Y SOLUBLES	9,5	12,6	12,6
SOLUBILIDAD EN NaOH (1%)	32,68	35,31	31,04
BRILLANTEZ	30	33,85	23,01

En la tabla I se reportan algunas características del bagazo almacenado durante 7 meses, donde a los 5 meses no se observaron cambios significativos en los parámetros de conservación (Fibra, finos solubles, solubilidad en NaOH y brillantez) e inclusive a los 7 meses aun no se observa un deterioro evidente del bagazo, todo lo cual puso de manifiesto los efectos favorables del preservante BIOICIL.

Tabla II. Pérdida en peso del bagazo almacenado con el preservante BIOICIL durante 6 meses

MUESTRA		MES 0			MES 6			
NT	**T**	**Peso(bh) kg**	**H %**	**Peso(bs) kg**	**Peso(bh) kg**	**H %**	**Peso(bs) Kg.**	**Pérdida %**
1		2340	50.0	1170.00	1380	25.3	1030.9	11.97
2		2410	50.1	1202.68	1420	24.4	1073.5	10.93
3		2260	47.6	1184.24	1280	21.2	945.6	13.61
4		2270	49.4	1148.60	1260	17.9	1037.0	9.72
5		2400	49.7	1207.20	1890	46.0	1020.6	15.48
								12.8 ± 2.58
	6	2060	47.6	1079.40	1250	17.2	1035.0	4.11
	7	2060	47.6.	1079.40	1240	17.0	1029.2	4.65
	8	2080	47.6	1089.90	1250	21.3	983.7	9.74
	9	2200	47.9	1146.20	1370	22.5	1061.7	7.37
	10	2370	47.9	1234.77	1470	21.3	1159.9	6.06
								6.8 ± 2.16

T: Pacas tratadas con **BIOICIL**; **NT:** Pacas no tratadas; **BH:** Base húmeda; **BS:** Base seca

Los resultados de las perdidas en peso de bagazo de bagazo empacado almacenado al aire libre en la empresa papelera se muestran en la Tabla No II, donde se observa una disminución de un 50% de las perdidas en peso del bagazo tratado con BIOICIL respecto a las que se produjeron en el bagazo no tratado. La influencia de este resultado se traduce en un incremento importante en el rendimiento en pulpa química unido a un ahorro de bagazo en la producción de esta pulpa.

Tabla III: Composición Físico-Química del bagazo tratado y no tratado con BIOICIL a los 6 meses de almacenamiento

PARAMETROS	**Muestras**	**Promedio**
Brillantez inicial	No tratado	19.78±1.02
	Tratado	21.36±1.07
Solubilidad en NaOH al 1%	No tratado	34.46±0.81
	Tratado	32.97±0.76
Solubilidad en H_2O fría.	No tratado	3.97±0.42
	Tratado	3.09±0.81
Solubilidad en H_2O caliente	No tratado	7.72±0.96
	Tratado	4.52±0.91
Humedad	No tratado	22.2±3.36
	Tratado	19.86±2.56
Relación fibra/médula	No tratado	71.4±3.91/28.6±3.91
	Tratado	79.8±2.44/20.0±1.85

Se observa que la humedad de las pacas tratadas a los 6 meses de almacenamiento, fue inferior a la de las no tratadas, para una diferencia promedio de 7.1%., corroborando lo reportado por (Dawson y col., 1990, Brizuela y col., 1990, Atchinson, 1986), en cuanto al aumento de la velocidad de secado que se logra al añadir licores biológicos al bagazo antes de su empaque. Se infiere que este efecto se va atenuando a medida que la humedad tiende a estabilizarse con el tiempo.

La solubilidad en NaOH al 1% fue en todos los casos menor para las pacas tratadas con BIOICIL, mientras que el contenido de fibra fue considerablemente superior con una diferencia promedio de un 8.4% más de fibra que en las no tratadas; lo que evidencia el efecto de preservación que provoca el inoculante. Según lo planteado por Cusi , 1980**,** esta diferencia está asociada a la destrucción parcial que ocurre en el bagazo no tratado producto de los procesos espontáneos de degradación biológica que motivan que la fibra pase a engrosar las fracciones meollo y finos disminuyendo de forma relativa el por ciento de la fracción fibra. La brillantez inicial fue ligeramente superior en las pacas tratadas y las solubilidades en agua fría y caliente presentaron valores inferiores para las pacas tratadas respecto a las no tratadas.

Estos resultados son indicativos de un menor efecto degradativo y por consiguiente de una mayor conservación del bagazo almacenado con BIOICIL, lo cual se corresponde con lo descrito por diversos autores respecto al importante papel que juega la adición de licores biológicos en la preservación de materiales fibrosos (Pinto, 1986, Lindgres y col., 1988, Gouet, 1994, Keady y Murphy, 1997).

PRESERVACION DE CACHAZA

Uno de los propósitos del empleo de la cachaza es la alimentación animal a expensas de la utilización de determinados componentes de la misma, muchos de los cuales pueden ser degradados por la actividad microbiana cuando esta no es utilizada de forma inmediata o en los primeros días de su almacenamiento(Serrano, P, e Iglesias, M 1988; Ajami,Khan,Mumamd Ibrahim and Akhtar Ali , 1997; Cañete, R. Romelia, L., 2000).

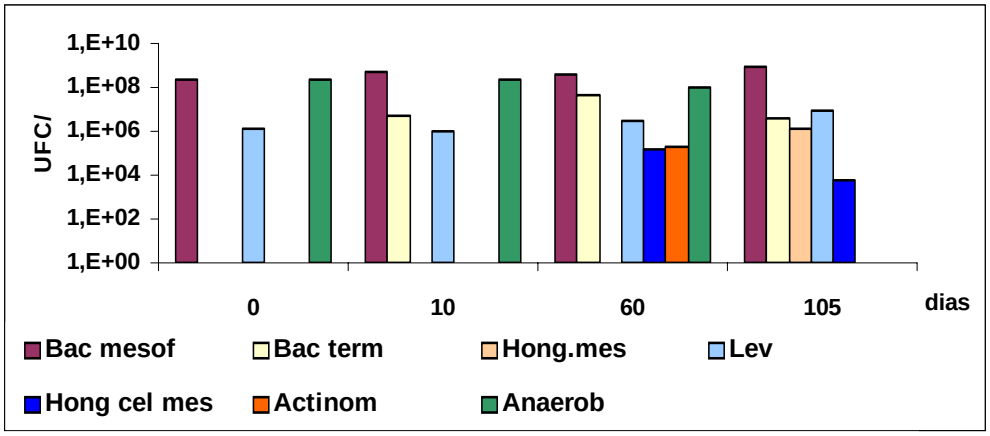


Figura 3. Comportamiento microbiológico de la cachaza no tratada almacenada durante 105 días

La Fig. 3 muestra las características microbiológica de una cachaza almacenada al aire libre durante 105 días donde se pone de manifiesto como aumenta en diversidad y concentración la microbiota presente, de igual

forma es significativo la aparición paulatina de Bacterias termófilas, Hongos y Actinomicetos, los que pudieran ser causantes del deterioro del material, mientras que la presencia de levaduras conjuntamente con anaerobios nos indica que en ese ambiente deficiente en aire las levaduras desvían su metabolismo a la biosíntesis de alcohol.

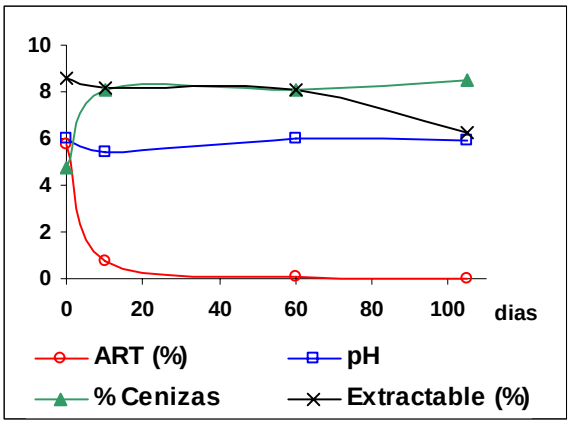


Figura 4 Comportamiento de la cachaza no tratada con BIOICIL almacenada durante 105 días

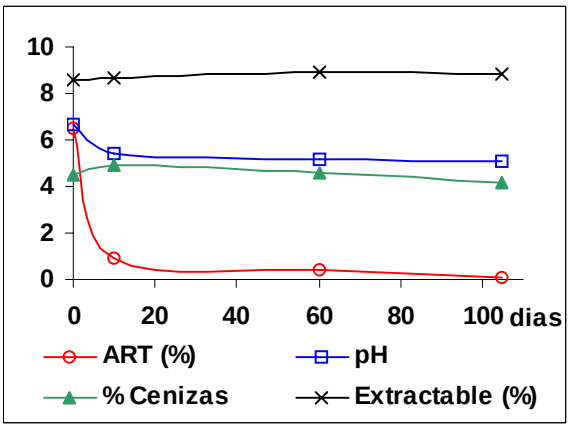


Figura 5 Comportamiento de la cachaza tratada con inoculante BIOICIL almacenada durante 105 días.

Tabla IV. Características de la cachaza inoculada con BIOICIL y almacenada durante 5 meses

Tiempo de almacenamiento (meses)	Humedad %	pH	*ART* %	ARL %	Cenizas %	Acidez Total %	Extractables %
0	81.63	5.6	5.87	1.95	9.54	8.15	8.11
3	67.39	5.0	0.95	trazas	20.52	8.75	7.91
5	66.12	4.5	0.84	trazas	-	9.15	8.18

En la tabla IV se reportan características físico-química de muestras tomadas en la pila de 2000 t de cachaza tratada con BIOICIL y almacenada al aire libre durante 5 meses, donde puede observarse un descenso en el pH como resultado de la producción fermentativa de ácido y la estabilidad en el contenido de componentes extractables, manifestándose de esta forma el efecto regulador del inoculante sobre el proceso fermentativo no deseable (Leon, M; Serrano, P; Brizuela, M.A. , 1992).

PRESERVACION DE RCC, PASTOS y FORRAJES.

Los resultados que a continuación se muestran constituyen elementos que favorecen el empleo del preservante BIOICIL para la conservación de Residuos de la Cosecha Cañera, Pastos, forrajes y otros desechos agrícolas, para su empleo en el periodo de seca.

Tabla V. Silo de 200t de Residuos de la Cosecha Cañera inoculado con BIOICIL

	M. Seca g/Kg.	ART g/Kg. ms	pH	Nx6,25 g/Kg. ms	Ac.Tot. g/kg ms	Fibra Bruta %
Inicial	370	320,25	6,12	44,38	3,30	32,20
Final	350	103,60	4,36	43,90	31,32	31,98

En la tabla V se presentan los resultados obtenidos en un silo de RCC de 200 t, donde se observa que al cabo de 3 meses el pH se encontraba en 4,3 valor que según las normas de ensilaje en Cuba, se corresponde con un silo de buena calidad (NARG 390 y NARG 391). Por otra parte las pérdidas de materia seca estuvieron por debajo de lo reportado para silos sin inocular, del mismo modo la estabilidad del nitrógeno durante todo el tiempo es indicativo de que no se produjo actividad proteolítica. Se observa además que el % de fibra bruta prácticamente no sufrió variación, todo lo cual pone de manifiesto que no se produjo el deterioro del material ensilado.

Tabla VI. Aplicación del Inoculante BIOICIL en Silos Comerciales de Pastos y Forrajes

INDICADORES	NAZARENO	ICA
Materia Seca %	21.26	28.60
Proteína Bruta %	5.43	7.55
Fibra Bruta %	26.52	44.10
Calcio %	0.87	0.88
Fósforo %	0.27	0.35
Ácido láctico %	77.96	80.20
Ácido acético %	20.04	18.30
Ácido butírico %	0.02	0.02
pH	4.2	4.1
Temperatura máxima ºC	45	40
Almacenamiento (meses)	6	3
Calidad	**MUY BUENO**	**EXCELENTE**

ICA: Silo de 1200t (Pasto estrella 77,8%, Guinea 5.3%, Bermuda 6.3%, Kingrass 10.6%)
Nazareno: Silo de 1480t (Kingrass 100%)

Los resultados de la efectividad del BIOICIL en silos comerciales (Brizuela, M.A y col. 1988), se observan en la Tabla VI donde se pone de manifiesto la inducción del inoculante a un proceso fermentativo donde en la producción de ácido predomine el ácido láctico, cuyas características organolépticas hacen mas palatable el material ensilado y se logre al mismo tiempo, según las Normas (NARG 390 y NARG 391) establecidas para este proceso silos de buena y excelente calidad , pasado 3 y 6 meses de almacenamiento al aire libre.

Tabla VII. Evaluación del inoculante en silos de forraje de 2000t

	Silo Inoculado		Silo no inoculado	
PARAMETROS	**Inicial**	**Final**	**Inicial**	**Final**
M.Seca (g/Kg.)	405,80	398,80	301,20	269,40
Ac.Total (g/Kg.)	Trazas	153,00	Trazas	387,18
Ac.Lact./Ac.Total (%)	Trazas	79,70	Trazas	33,90
Ac.Acet./Ac.Total (%)	Trazas	24,35	Trazas	45,70
Ac.Butir./Ac.Total (%)	Trazas	0,20	Trazas	8,00

La tabla VII muestra los resultados de la efectividad del **"BIOICIL"** en un silo comercial de 2000t con y sin adición del inoculante, donde podemos observar que en el silo no inoculado la acidez proviene fundamentalmente de una alta producción de ácido acético, mientras que en el silo inoculado depende en gran medida de la producción de ácido láctico, por otra parte en el silo no inoculado se produjo un contenido de ácido butírico por encima de lo establecido por las normas para un buen ensilado (NARG 390 y NARG 391), esto unido a la pérdida de materia seca pone de manifiesto que en este silo se desarrollaron los microorganismos indeseables causantes del deterioro del material ensilado.

CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados con la aplicación del Preservante BIOICIL a Pacas de Bagazo, Pilas de Cachaza y Ensilaje de Residuos de la Cosecha Cañera, Pastos y Forrajes para ser almacenados al aire libre, ponen de manifiesto las ventajas del uso de este bioproducto como preservante lo que permite una mayor disponibilidad de materiales fibrosos para la alimentación animal.

RECOMENDACIONES

Considerando que el ICIDCA dispone de la tecnología de producción de este bioproducto, la cual se encuentra protegida mediante Certificado de Autor de patente en Cuba No 22986/2004. Preservante biológico y procedimiento de obtención, posee marca registrada Certificado No 2001-0413 , y se encuentra inscrito en el Registro General de Productos para la Alimentación Animal de Cuba ; se recomienda realizar la transferencia tecnológica a las empresas y organismos que puedan introducirlo en la práctica social.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIA

Ajami ,Khan , Mumamd ,Ibrahim and Akhtar Ali. (1997) “Use of Filter cake as a substitute for cereals in poultry feed” (Pakistan.Vol 40(5/12), pp. 99-101

Aman, P., Pettersson, D. and Graham, H. l990. Chemical and Nutritional Evaluation of Aistight Storage of High-Moisture Barley treated with Lactobacilli or Lactobacilli and Yeast. Animal Feed ,*Science and Technology*, 29, 223-335

Atchinson V.E.(1981).The BAGATEX-20 process for rapid drying of baled bagasse by accele rated and controled fermentation biochemical catalyst Technical Report for Sueress et Denrees, Paris, France.

Biart, J.R. l975 Determinación de Azúcares Reductores Totales. Método Eynon Lane Modificado, Manual de Técnicas Analíticas de la Subdirección de Fermentaciones, ICIDCA, Habana, Cuba.

Brizuela ,M .A., Serrano, P., López .P., Bambanaste R.; Delgado. G. (1992). Prueba demostrativa de la aplicación de la tecnología Biopreser al bagazo almacenado en pacas para la producción de pulpa química en VENEPAL (Venezuela). Informe ICIDCA TECNOAZUCAR. VENEPAL.

Brizuela ,M. A.; Serrano ,P.; López, P., Bambanaste ,R.; Delgado, G.; Valdés ,J. L., (1995). Bagasse preservation during storage period. (outside crushing season) for its using as fuel. Proc. of the Earth Conference on Biomass for Energy, Development and Environment .Havana. Cuba.

Brizuela, M.A.; Serrano ,P. y Delgado, G. (1990)."Experiencia de Biosecado de Bagazo en la Planta de Tableros del C.A.I."Jesús Menéndez".Informe Interno. ICIDCA.

Brizuela, M.A y, Serrano, P .y Delgado, G. 2000 Conservación de Residuos de la Cosecha cañera. Manual de los Derivados de La caña de Azúcar 3era Edición, Pág.369-372

Brizuela, M.A 1999 Las Bacterias Lácticas y sus Aplicaciones Industriales. Tesis para optar por el Titulo de Maestro en Microbiología, Mención Fermentaciones.

Brizuela, M.A, , Serrano, P.y Cabello, A.1988. Tecnología de Producción de Inoculante de Bacterias Lácticas. Informe interno ICIDCA

Brizuela, M.A. y col. (1993). " Experiencia industrial de preservación biológica de bagazo con fines papeleros ". Seminario Internacional "Diversificación 93".Habana. Cuba.

Brizuela, M.A., Serrano, P., Cabello, A., González, P. l988 Evaluación de inoculante para silos, Revista ICIDCA. Vol. 22 No. 1 pp. 51-55

Cañete, R. Romelia, L. 2000 “Cachaza”Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar 3era Edición pp.53-58

Cusi, D.S.(1980). "Conservación y Almacenaje del Bagazo", *Sugar y Azucar* 75 , 8, pp. 39.

Gouet P.(1994). “Bactériologie des ensilages”. en: Bactéries Lactiques, De Roissart H., Loquet F.M, (Eds), Lorica, Grenoble, France, 2, 257- 270.

Keady, T. W. J., Murphy, J. J (1997). “Part I. The Effects of ensiling on dry –mater erbage whith a bacterial inoculant or formic acid on the intake and performance of lactating dairy cattle” *Animal Sci*., 64, 25 – 36.

Leon, M., Serrano, P., Brizuela, M.A. (1992). "Caracterización de la cachaza almacenada con preservantes químicos y microbiológicos ".Congreso Internacional de Biotecnología. Reportes cortos Vol. 1 .Editado por. Gavilondo, J.V. L. Luaces, G. Moya, A. Pedraza, F.O. Castro, V.A. Castro. Centro de Ing. Genética y Biotecnología. La Habana. Cuba. pp 16-26.

Lindgren, S., Bromander, A., Petterson, K. (1988), “Evaluation of silage aditives using scale model silos”. Swedish Journal of Agricu. I Research, 18, 41- 49.

Lois, J., Suarez, R. y Francesena, A.(1981). "Evaluación experimental del bagazo almacenado en pacas húmedas en la fábrica de tableros de bagazo Procuba". 43 Conferencia ATAC. La Habana.

Manual de Técnicas Analíticas de la Subdirección de Biotecnología. ICIDCA

Norma ramal de pastos y forraje NARG 390 y NARG 391. Dirección de Normalización, Metrología y Control de la Calidad .MINAGRI. Habana.Cuba

NC 7506 Brillantez de Papel y Cartón

Patente No 22986 del 13-07-2004. Preservante biológico y procedimiento de obtención.

Pinto, L. A. (1986), French Patent 2586706

Serrano, P., e Iglesias, M. (1988). Caracterización de la Cachaza. Revista ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar Habana-Cuba XXII , 2, pp, 23-27.

LA CONTRIBUCIÓN DE LA INDUSTRIA AZUCARERA CUBANA A LA ALIMENTACIÓN ANIMAL EN LAS CONDICIONES ACTUALES

Agustín Cabello

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía blanca 804, S. M. del Padrón, C. Habana, Cuba
Agustín.cabello@icidca.edu.cu

RESUMEN

Se describen y comentan las tecnologías y productos para alimentación animal que prevalecieron en la industria azucarera cubana en el período 1980-2000. Se describen los cambios del sector azucarero en Cuba y de los precios de los alimentos y combustibles en los años recientes y se proponen los productos y tecnologías más apropiados para las actuales condiciones.

Palabras claves: alimento animal, industria azucarera, economía.

ABSTRACT

The products and technologies for animal feed production in the Cuban sugar industry during the period 1980-2000 are described and commented. The recent changes in the sugar sector in Cuba and of the price of feeds and fuels are cited and the most appropriate products and technologies under these conditions are proposed.

Key words: animal feed, sugar industry, economy.

ANTECEDENTES

La industria azucarera cubana ha sido tradicionalmente un suministrador de alimento animal para todas las especies pero en especial para el ganado bovino en época de seca bajo condiciones económicas diferentes a las actuales que se caracterizaban fundamentalmente por los siguientes factores:

-Zafras grandes (superiores a 6 millones de toneladas de azúcar) que generaban grandes volúmenes de subproductos y derivados para alimento animal.
- Entrega de los alimentos a grandes empresas pecuarias estatales con abundantes recursos de transportación y mecanización.
- Precios subsidiados de las materias primas y productos destinados a la producción pecuaria.
- Disponibilidad de combustible y materias primas de uso industrial y pecuario a bajo costo.

Durante el período 1980-2000 se llegaron a entregar más de 3 millones de toneladas (BH) de materias primas y alimentos. Los valores máximos de entrega de alimentos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla I CIFRAS DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTO ANIMAL (MT) (Carreras 2007)

ALIMENTO	CIFRA RECORD	AÑO
Miel urea	675,6	1981
Bagacillo Predigerido	336,3	1982
Predical	14,0	1990
Pajumel	47,8	1993
Garanver	96,3	1990
Torula	79,0	1990
Miel urea bagacillo	567, 8	1990
Sacharomyces	34,5	2004

El mayor volumen de este surtido estaba constituido por productos fibrosos a base de bagacillo, paja de caña (Pajumel) y cachaza (Garanver) mezclados con melaza y urea para paliar los efectos de la seca en bovinos. Estos productos por su humedad y contenido de azúcar debían ser consumidos de forma más ó menos inmediata y requerían de una alta capacidad de transportación por su baja densidad en base seca. . Para mantener niveles de ganancia de peso ó de producción de leche significativos los animales debían ser suplementados con concentrados y formas conservadas de pasto (ensilado o heno).
La tecnología de mayor complejidad instalada en ese período fue, con mucho, la de producción de levadura forrajera torula que permitió contar con un concentrado proteico de alta calidad apto para el consumo de todas las especies. Este tipo de producción que utilizaba miel final como principal materia prima y tenía un alto consumo de energía se vio cuestionado cuando disminuyó la disponibilidad de miel final al reducirse de forma importante el tamaño de las zafras y cuando el precio del petróleo aumentó de forma impresionante.
Otro tipo de alimento desarrollado en esa etapa y no que no aparece en la tabla anterior fue el desarrollo de un sistema de ceba porcina basado en el uso de mieles ricas (A ó B) en el cual la levadura torula puede aportar la proteína. Este tipo de alimentación permite sustituir totalmente los cereales en la etapa de ceba (30-90Kg.) lo cual es una solución importante en las condiciones de Cuba que es un importador neto de cereales para uso forrajero. En este sistema se logran ganancias de peso del entorno de 800g/ día y conversiones alimenticias de 4,2-4,5 (IIP 2001)

LA SITUACIÓN ACTUAL

En los últimos 10 años se han producido profundos cambios en la economía cubana e internacional así como en la industria azucarera nacional. En lo relativo a la producción y uso de alimento animal de origen cañero estos cambios se pueden expresar de manera sintética de la forma siguiente:

-Reducción sustancial desorden de 60-70% del tamaño de las zafras y del número de ingenios azucareros que se traduce en una menor disponibilidad de subproductos y residuos cañeros.
- Diversificación agropecuaria del sector azucarero que en la actualidad dedica una importante superficie a otros cultivos y a la producción animal.
- Modificación sustancial del tipo de propiedad sobre los animales con una fuerte participación del sector cooperativo y privado en unidades de menor tamaño que las anteriores empresas agropecuarias estatales, sobre todo en el sector porcino.
- Limitaciones de transportación y mecanización debido al alto precio del combustible y del equipamiento que obligan a tratar de buscar soluciones de alimentación a nivel de la propia granja.
-Alza a niveles nunca vistos del precio de los insumos agrícolas y de los alimentos básicos de consumo animal y humano.

Estos profundos cambios respecto a la situación prevaleciente antes del año 2000 obligan a modificar los enfoques y estrategias del diseño, producción y uso de los alimentos con destino a los animales y a los humanos vistos de un esquema integral dentro de las empresas pertenecientes al sector azucarero.

LAS TECNOLOGÍAS Y PRODUCTOS MÁS APROPIADOS EN LA ACTUAL SITUACIÓN

Las principales alternativas que ofrece la caña para la producción de alimento animal que pueden ser aprovechadas bajo las condiciones descritas en el acápite anterior son:

-Caña como forraje en seca.- La demostrada capacidad de resistencia de la caña a la sequía continua siendo una opción de alimentación de rumiantes en esa época del año. Bajo las nuevas condiciones en que una parte del sector azucarero produce otros renglones agrícolas lo más indicado es el aprovechamiento de residuos de cosecha de cultivos de consumo animal ó humano propios de esa estación del año para tratar de suplir el déficit de algunos nutrientes de la caña. El empleo de nitrógeno no proteico (urea) es fundamental para lograr un buen aprovechamiento de la caña como forraje (Martín 2004). Por otro lado deberán utilizarse para este fin las variedades de caña de mayor digestibilidad (Stuart 2002).

-Aprovechamiento de los residuos de centros de limpieza de caña.- Significa aprovechar residuos que de otra manera se quemarían. Esta alternativa conlleva el confinamiento de los animales alrededor de las instalaciones del centro de limpieza y tiene, por ende, un costo de instalaciones y de traslado de los animales. Estos residuos por su bajo valor alimenticio deben ser troceados y suplementados adecuadamente para lograr resultados productivos significativos. El análisis del costo: beneficio es un factor que debe preceder a su implementación.

-Miel final.- La reducida disponibilidad de miel final en zafras pequeñas obliga al uso más efectivo posible de la misma. En estas condiciones su principal función debe ser la de fuente de carbohidratos de fácil fermentación para la incorporación de urea. La forma de lograr el uso eficiente de pequeñas cantidades de melaza es la fabricación de bloques de melaza solidificada por la adición de óxido de calcio ó cemento en los que se utiliza algún material fibroso para conformarlos. Este tipo de presentación permite también la adición de minerales, proteína y hasta medicamentos garantizando un consumo lento de los mismos por la dureza de los mismos que solo se pueden consumir lamiéndolos. Aunque la respuesta es variable dependiendo del consumo y calidad del pasto se ha reportado una mejora de hasta 15% de la ganancia de peso vivo con el consumo de 1-2 Kg. de bloques de melaza (Chen et al 1993).

Muy asociada al uso de la miel está la urea, principal fuente de nitrógeno no proteico, cuyo precio se ha elevado considerablemente. La agricultura cañera en Cuba dispone de un sistema de distribución de amoníaco líquido con fines fertilizantes que permite la sustitución de la urea por este tipo de producto más barato. Ojeda (2001) ha demostrado que no existen diferencias significativas ni en el consumo de melaza ni en la producción de leche cuando la urea se sustituye por amoníaco manteniendo la misma ingestión de nitrógeno.

-Mieles ricas.- La producción de mieles ricas (HTM, miel A ó Miel B) constituye una solución nacional al déficit de maíz y otros granos en la producción porcina comprobada en escala comercial. La decisión del tipo y cantidad de miel, sin embargo, dependerá de un cuidadoso análisis de costo: beneficio que tome en cuenta el precio de los cereales de importación, él del azúcar, él de la proteína suplementaria para hacer la miel equivalente a los cereales y el costo de las mieles que depende en gran medida del costo de la caña.

- Bagazo de alta digestibilidad.- La baja disponibilidad de melaza hace que las mezclas de bagacillo sin tratar con altas proporciones de melaza sean poco viables. Por esta razón es necesario tratar los productos fibrosos

para convertirlos en aportadores netos de energía metabolizable. Los métodos desarrollados en Cuba de aumento de digestibilidad de materiales fibrosos se aplicaron fundamentalmente al bagacillo y no al bagazo y consistían en el tratamiento químico (con hidróxido de sodio ó de calcio) del material. Por consideraciones económicas del costo de estos productos y del alto consumo de energía asociado a las tecnologías asociadas así como de su complejidad mecánica estas alternativas no resultan hoy aconsejables.
La mejor opción a aplicar es la del bagazo hidrolizado en aquellos ingenios que dispongan de vapor por encima de 20 Kg. /cm^2 donde es posible utilizar directamente bagazo sin necesidad de molida, no se requieren mezcladores ni conductores y se obtiene un producto con aproximadamente 60 % de digestibilidad, estéril y de pH ácido que se conserva durante varias semanas. Aunque requiere la compra del equipo de hidrólisis, este es un reactor estático y el material tratado es conducido hasta el área de almacenamiento y entrega por la propia presión del sistema. Este tipo de producto no debe ser mezclado con otros alimentos por su alta humedad por lo cual el resto de los componentes. Para mayor información sobre el equipamiento y uso del producto ver CALDEMA- Equipamentos Industriais Ltda. (Sertaozihno, S.Paulo, Brasil) y Cabello (2002).

- Levadura forrajera.- Esta constituye la única alternativa comprobada de producción de proteína a partir de la caña. Los cuestionamientos económicos alrededor de su producción han sido relevados tanto por el alto precio de los concentrados proteicos convencionales como por los recientes avances introducidos en Cuba en su tecnología que permiten sustituir la melaza como materia prima por vinaza de las destilerías de alcohol que es un residual sin valor y que contamina el ambiente. El rendimiento energético de su producción puede ser mejorado considerablemente si se integra con el ingenio (Cabello2002).
De cualquier forma su utilización debe ser enfocada hacia aquellos propósitos productivos en los que se logra su mayor revalorización como es el caso de la producción de sustitutos lácteos para terneros (Chongo 1983). La suplementación con metionina sintética cuando la levadura es la única ó mayoritaria fuente de proteína en la ración es una medida que permite mejorar significativamente la conversión de la levadura forrajera en productos de origen animal.

Las consideraciones descritas anteriormente tienen un carácter general y no eliminan la necesidad del análisis particular de cada fábrica, empresa agropecuaria ó región geográfica que tome en consideración factores locales de disponibilidad de otras materias primas utilizables como alimento animal, la posibilidad de integración de procesos ó instalaciones existentes ó que convenga crear y la necesidad de ver la producción de alimento animal como un eslabón de la cadena alimenticia en la que la elaboración de productos de consumo humano con el mayor nivel de satisfacción de necesidades y el menor volumen posible de desperdicios es la meta a alcanzar.

CONCLUSIONES

-Las consideraciones descritas anteriormente tienen un carácter general y no eliminan la necesidad del análisis particular de cada fábrica, empresa agropecuaria ó región geográfica que tome en consideración factores locales de disponibilidad de otras materias primas utilizables como alimento animal, la posibilidad de integración de procesos ó instalaciones existentes ó que convenga crear y la necesidad de ver la producción de alimento animal como un eslabón de la cadena alimenticia en la que la elaboración de productos de consumo humano con el mayor nivel de satisfacción de necesidades y el menor volumen posible de desperdicios es la meta a alcanzar.

- Por otro lado es necesario lograr producir caña, que es la base de todo el sistema, al menor costo posible a fin de que la sustitución de importaciones de alimentos para animales sea económicamente competitiva

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cabello, A. (2002) “Los sistemas agroalimentarios actuales y la caña de azúcar. Un análisis comparativo”. Edit. ICIDCA, La Habana.

Carreras, W. (2007) Comunicación Personal

Chen,Y. , Weng,H. ,Ma, X., Li, Y., Gao, Z., Peterson, M. A. (1993) “Multinutrient lick blocks for dairy cattle in Gansu Province, China. Livestock Research for Rural Development 5:59

Chongo, B., Suau, E. (1983) “Digestibilidad de nutrientes en terneros alimentados con diferentes niveles de levadura torula (Torulopsis utilis) en la leche”. Rev. Cub. Cienc. Agric. Vol.17, No.137.

IIP (Instituto de Investigaciones Porcinas) (2001). “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”. Informe

Martín P.C. (2004) “La alimentación del ganado con caña de azúcar y sus subproductos”.EDICA, La Habana. Cuba.

Ojeda, A. (2001) Comunicación personal

Stuart R. (2002) “Selección de variedades de caña de azúcar forrajeras. El aporte del Instituto de Ciencia Animal”. Memorias del Foro Internacional La Caña de Azúcar y sus Derivados en la Producción de Leche y Carne, La Habana Cuba.

LA LEVADURA TORULA DE VINAZAS, UNA ALTERNATIVA PARA LA SUSTITUCIÓN DE PROTEÍNA EN LA DIETA DE GALLINAS PONEDORAS

Bárbara Rodríguez; Lezcano, P.; Valdivié, M., I. y Mayra Cárdenas

Instituto de Ciencia Animal
brodriguez@ica.co.cu

Resumen

Para determinar el efecto de la sustitución de la proteína de la dieta por levadura torula de vinaza, en el comportamiento productivo de gallinas ponedoras, se utilizaron 360 gallinas ponedoras White Leghorn durante 17 semanas. Ubicadas a razón de 3 gallinas por hueco y cada unidad experimental estuvo conformada por 90 gallinas; distribuidas según diseño completamente al azar en 4 tratamientos: un grupo control y 3 grupos con la sustitución de 5, 10 ó 15% de la proteína de la dieta por levadura torula de vinaza, con15 repeticiones cada uno. Al sustituir la proteína de la dieta por levadura torula de vinaza hubo un aumento en la producción de huevos por ave (89.69 vs 85.67) y mejor intensidad de puesta (91.52 vs 87.43) con el 15 % de sustitución respecto al control. Lo que a su vez permitió una mejor conversión alimenticia y conversión masal al utilizar la levadura. También se encontró un incremento en el peso de los huevos a favor de la levadura y no se encontraron diferencias en cuanto a la viabilidad. Los resultados indican que se puede sustituir un 15 % de la proteína de la dieta por levadura torula de vinaza en gallinas ponedoras.

Palabras clave: gallina ponedora, levadura torula, vinaza

Abstract

Three hundred and sixty White Leghorn hens were used during 17 weeks to determine the effect of the substitution of the diet protein for torula yeast from distiller waste on the production behaviour of the laying hens. Three hens per cage were allocated and each experimental unit was conformed by 90 hens; distributed completely randomized according to design in 4 treatments: a group control and 3 groups with the substitution of 5, 10 or 15 % of the diet protein for torula yeast from distiller waste, with 15 repetitions each. When substituting the protein of the diet for yeast there was increase in the production of eggs per bird (89.69 vs 85.67) and better laying intensity (91.52 vs 87.43) with 15% substitution regarding the control. This permits a better feed conversion (1.46 vs 1.53) and mass conversion (2.34 vs 2.54) when using the yeast protein. Also an increase in the weight of the eggs favoured the yeast and there were not differences as for the viability. The results indicated that substitute 15% of the diet protein for torula yeast from distillers waste in egg-laying hens is possible.

Key words: laying hens, torula yeast, distillers waste

Introducción

Diferentes estudios, a nivel nacional e internacional, se han desarrollado para viabilizar la utilización de subproductos agroindustriales en la alimentación animal. La búsqueda de alimentos no convencionales se ha incrementado principalmente debido a los frecuentes aumentos en los precios de los granos de cereales y fuentes proteicas vegetales.

La producción de levadura constituye una alternativa para la sustitución de los componentes básicos de las raciones, principalmente la harina de soya y el maíz. En Cienfuegos, en la destilería Antonio Sánchez se está produciendo levadura torula a partir de vinaza de destilería como una vía para solucionar el problema de la contaminación ambiental que generan los desechos de estás fábricas. Por lo que su aprovechamiento como fuente proteica en las raciones para animales permitirá además, beneficios económicos por la sustitución de importaciones, con resultados productivos similares al empleo de alimentos convencionales.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la sustitución de la proteína de la dieta por levadura torula de vinaza, en el comportamiento productivo de gallinas ponedoras.

Materiales y Métodos

Se utilizaron 360 gallinas ponedoras White Leghorn durante 17 semanas. Se ubicaron 3 gallinas por hueco y cada unidad experimental estuvo conformada por 90 gallinas; estas se distribuyeron según diseño completamente al azar en 4 tratamientos: un grupo control y 3 grupos con la sustitución de 5, 10 ó 15% de la proteína por levadura torula de vinaza con15 repeticiones cada uno. Las dietas utilizadas se encuentran en la tabla I.

Tabla I. Composición de las dietas experimentales y análisis calculado.

	Sustitución de la soya por levadura torula de vinaza (%)			
Materias primas	0	5	10	15
Harina de maíz	57.32	57.32	57.45	57.50
Harina de soya	30.20	25.30	20.30	15.30
Levadura torula de vinaza	-	5.00	10.00	15.00
Aceite	1.00	1.00	1.00	1.00
Carbonato de calcio	8.21	8.26	8.39	8.37
Fosfato dicálcico	1.58	1.39	1.07	1.03
Premezcla vit.-min.	1.00	1.00	1.00	1.00
Sal	0.27	0.25	0.25	0.25
Metionina	0.11	0.17	0.23	0.24
Colina	0.30	0.30	0.30	0.30
BHT	0.01	0.01	0.01	0.01

Se les ofreció agua a voluntad; 110g de alimento/ ave/ día y 16 horas de iluminación. Para analizar el comportamiento productivo se controló diariamente la mortalidad, la producción de huevo, el peso del huevo

semanal; lo que permitió calcular la conversión alimenticia por decena de huevos, conversión masal, la intensidad de puesta y el peso de huevo.

1. La intensidad de puesta de las aves determinado por la siguiente formula:

$$IP\ (\%) = \frac{\#\ \text{de huevos puestos en la semana} \times 100}{\text{Huevos que se esperan para la semana}}$$

2. Conversión masal

$$CM\ (\text{Kg/masa de huevo}) = \frac{\text{Consumo de alimento/ ave}}{\text{Peso de los huevos X número de huevos}}$$

3. Conversión normal

$$CN\ (\text{Kg/ 10 huevos}) = \frac{\text{Consumo de alimento / ave.}}{\text{Total de huevos / ave}} \times 10 \text{ huevos}$$

El procesamiento de los datos se realizó mediante análisis de varianza y en los casos necesarios se docimaron las diferencias entre medias según Duncan (1955). Para ello se empleó el sistema de cómputo de datos INFOSTAT versión 1.0 (2001).

Resultados y Discusión

Al sustituir la proteína de la dieta por levadura torula de vinaza (tabla II) se observó un aumento en la producción de huevos por ave y la intensidad de puesta siendo superior al incluir 10 ó 15% de levadura. Estos resultados coinciden con Yoshida (1988) quien constató aumento significativo en la producción de huevos al incluir 16% de levadura en la dieta, sin embargo Panobianco y otros (1989) observaron reducción en la producción de huevos al utilizar niveles superiores de levadura (18 y 24 %).

Cuando se sustituyó un 5% las aves tuvieron un comportamiento similar al control y al 10%, lo que confirma lo reportado por Valdivié et al. (1982) y Maia y otros (2001) utilizando levaduras en niveles que variaron entre 2.5 a 18% en la dieta de ponedoras, quienes no encontraron efecto significativo sobre la producción de huevos.

Tabla II. Comportamiento productivo de las gallinas ponedoras al sustituir la proteína por levadura torula de vinaza

Indicadores productivos	**Control**	**Levadura torula de vinaza (%)**			**EE**
		5	**10**	**15**	**±**
Intensidad puesta, %(1)	69.33a (87.43)	71.05ab (89.14)	72.76bc (90.97)	73.34c (91.52)	0.126***
Huevo por ave, u (2)	9.25a (85.67)	9.35ab (87.35)	9.44bc (89.16)	9.47c (89.69)	0.05***
Peso huevo, g	60.07a	62.13b	62.27b	62.40b	0.36***
Conversión masal, kg/kg (3)	2.54b	2.41a	2.36a	2.34a	0.02**
Conversión alimenticia, kg/decena(4)	1.53c	1.50bc	1.47ab	1.46a	0.01***
Viabilidad, %(1)	71.05 (85.67)	73.91 (87.35)	76.78 (89.16)	77.92 (89.69)	0.04

( ) Medias originales (1)Medias transformadas según arcoseno $\sqrt{\%}$ (2)Medias transformadas según $\sqrt{x}$ (3) kilogramos de pienso / kg masa huevo (4) kg de pienso / decena de huevo

No se observó efecto significativo en la viabilidad de las aves, sin embargo con el empleo de la levadura este indicador tuvo un mejor comportamiento.

El peso del huevo incrementó con la inclusión de levadura torula de vinaza, aspecto en el que se debe profundizar ya que en los estudios realizados hasta el momento no se reporta este efecto (Valdivié et al. 1982, Panobianco, 1989 y Maia y otros 2001).

Se comprobó una mejora en la conversión masal y alimenticia, con levadura torula de vinaza, no coincidiendo con Panobianco *y otros.* (1989), quienes constataron una peor conversión alimenticia por decena de huevos a partir de la utilización de niveles encima de 12% de levadura. Posteriormente, Butolo (1991), utilizando 10% de levadura, no observó efecto significativo sobre la conversión alimenticia por decena de huevos.

Conclusiones

Los resultados indican que se puede sustituir un 15 % de la proteína de la dieta por levadura torula de vinaza en gallinas ponedoras, con un incremento en la producción de huevos por ave sin afectar la viabilidad. La levadura torula de vinaza debe ser considerada como un alimento potencial para ser utilizado en la dieta de gallinas ponedoras por su oferta en el mercado nacional a un precio competitivo con la torta de soya.

Referencias bibliográficas

Botello, F.G.A, Serafín, F.V., Butolo, E.A.F. (1998). Estudo do desempenho de gallinas poedeiras alimentadas com levadura de cana-de açucar (Saccharomyces cerevisiae). In: Reunião Anual da sociedade Brasileira de Zootecnia, 35 Ed. Anais. Botucatu. SBZ. 4: 324-326

Maia, G.A.R., Fonseca, J. B., Soars, R.T.R.N é Silva, M.A. (2001). Rev. Bras. Cienc. Avic. V.3. N.2.Campinas, Maio/Agosto

Panobianco, M.A, Ariki, J. É Junqueira, O.M. (1989). Revista da sociedade Brasileira de zootecnia. 18: 13-20

Valdivie, M., Compte, X., Fundora, O. (1982). Animal Feed Science and Technology 7: 185-190

Yoshida, M. (1988). Japanese Poultry Science 1988; 25: 102-108

RESULTADOS Y EXPERIENCIAS EN EL USO DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN CERDOS EN VENEZUELA

Dr. Carlos González Araujo, Dr. Omar Verde Sandoval, Ing. Luís Sulbarán,

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Producción Animal.
Fundación CIEPE. caraujo2@cantv.net, omarverde@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En Venezuela la fuente de proteína de origen animal más consumida es la carne de pollo (alrededor de 40 kg/per cápita/año) superando los consumos de Brasil, Argentina, Colombia, México y el promedio mundial que se encuentra alrededor de 12 kg/per per/año, seguida por la carne de bovino (18 kg/per cápita/año) y en menor cantidad la carne de cerdo con un estimado de 5,0 kg/per cápita/año, siendo el promedio mundial aproximadamente 15 kg/per cápita/año; el consumo de huevos, por su parte (alrededor de 120 unidades/per cápita/año) y la leche (alrededor de 35 kg/per cápita/año) están muy por debajo de los niveles consumidos en los países mencionados.

Estás cifras son valores promedios que en el país presentan gran dispersión con consumos en el medio rural muy por debajo de las zonas urbanas, debido principalmente a que la producción de aves y cerdos se han generando dentro de esquemas de alta estabulación e "industrializada" proporcionando alta concentración de animales por unidad de área con sus consecuencias en el bienestar animal y la generación de impacto hacía el ambiente. Estas unidades por la necesidad de obtener un comportamiento productivo con altos valores biológicos, requieren de dietas balanceadas con alta digestibilidad de sus nutrientes que son producidas a base de cereales y soya que en gran proporción son importadas, lo que ha generado alta dependencia foránea.

Hoy día existe una marcada tendencia al incremento del consumo de carne de cerdo como fuente de proteína de alta calidad a nivel mundial, teniendo gran relevancia la producción industrializada en los países en desarrollo, actividad que debería estar estrechamente vinculada al hombre, con respeto al medio ambiente e ir acompañada de factores como sustentabilidad y bienestar animal.

Los sistemas de producción porcina, en Venezuela han cambiado drásticamente en las últimas décadas, hasta mediados del siglo XX los rebaños estaban constituidos principalmente por cerdos Criollos, recurso genético descendiente de animales llevados de España en la época colonial, y considerado como "nativo" al ser comparado con los, de razas modernas importadas en el siglo XX de Europa y Norte América (Epstein y Birchard, 1984).

En la década de los años 70 y 80, la producción porcina se intensificó rápidamente, mejorando los índices biológicos de producción y realizando una producción cada vez más industrializada donde los productores se agruparon en organizaciones. En los años 90 disminuyó el número de productores y aumentó la dimensión de las explotaciones y se generaron integraciones completamente verticales. Estos sistemas de producción utilizan el confinamiento total de los animales. Ello, constituye la base de expansión y logra la mayor producción y productividad en la industria porcina nacional; se usa pisos de concreto total o parcial (*slat*); por lo que requiere elevada inversión en instalaciones y altos costos en sanidad y manejo de los desechos producidos (deyecciones, pérdida de agua en los bebederos y la utilizada en la limpieza) (De Oliveira, 2000), haciendo cada día más difícil la viabilidad económica de nuevas explotaciones porcinas con este tipo de instalaciones, justificándose que las nuevas unidades dispongan de un mínimo de construcciones (Avellana, 1993)

El desafío actual es lograr un incremento en la producción disminuyendo el impacto al medio ambiente. Además, mundialmente los factores relacionados con criterios medioambientales y normas de bienestar animal, son cada vez más valorados por los consumidores, y por tanto, incluidos en los criterios de producción para generar mayor confianza en el producto final (Pinelli *et al*., 2004).
Por todo lo anterior, se ha generado la tendencia a utilizar sistemas alternativos para el alojamiento de los cerdos con la finalidad de proporcionar un mayor confort a los animales y disminuir los niveles de polución ambiental (De Oliveira y Diesel, 2000) constituyendo la cría a campo para las cerdas en etapa de gestación y lactación y el sistema de cama profunda en las etapas de crecimiento y engorde sumado al uso de recursos alternativos para la alimentación como la caña de azúcar son opciones válidas en la producción de cerdos en Venezuela (González, 2005).

II-ESTRUCTURA PRODUCTIVA ACTUAL

II.1. Sistema de producción de cerdos en confinamiento:

El sistema de producción predominante es el *industrializado,* que aporta mas del 90 % de los cerdos al sacrificio, constituido por un conjunto de instalaciones y prácticas de manejo que tienen como finalidad la producción de cerdos utilizando la menor área posible, en un régimen de confinamiento absoluto con las modalidades de granjas de ciclo completo que se caracterizan por tener todas las etapas de producción (gestación, maternidad, destete y engorde) en un área compartida y en multisitio donde las unidades de producción se ubican en forma separada para cada etapa. Ello, fundamentalmente como medida de bioseguridad.
El sistema de producción en confinamiento tiene como principal ventaja disminuir la exposición de los animales a algunos microorganismos y facilitar ciertas prácticas de manejo tales como la atención de las hembras en el parto y el cuidado de los recién nacidos (Rodríguez *et al*., 2001). Sin embargo, la explotación de un gran número de animales en espacios reducidos ha permitido la diseminación de otros tipos de enfermedades, altos costos de producción, incremento del impacto al ambiente y deterioro del bienestar de los cerdos.
Este sistema requiere de infraestructuras sofisticadas como jaulas y corrales que permitan confinar el animal, y deberían asegurar su comodidad y seguridad para desenvolverse normalmente, ventilación adecuada, fácil acceso a los alimentos y agua. Deben permitir observación permanente de los animales y de ser posible cumplir con las implicaciones de la tecnología moderna sobre el bienestar animal y deben cumplir cinco requerimientos fundamentales como: tener libertad para pararse, acostarse, asearse normalmente, darse vuelta y estirarse (Olfert *et al* ,1998). Los sistemas de cría en confinamiento restringen el espacio de alojamiento y, en algunos casos, incluso restringen drásticamente la libertad de movimiento; desconociéndose hasta que punto el estrés potencial de confinamiento limita factores como el período de tiempo que dura el estrés, la prevención de heridas y un mejor control de las enfermedades.
Los materiales empleados en la construcción de las instalaciones son, en gran proporción, estructuras de concreto y metal. También se colocan sistemas de ventilación para eliminar las emisiones de gases (principalmente amoniaco) y olores generados en el sistema. Para la eliminación de las deyecciones las instalaciones deben disponer de pasillos de defecación con pisos emparrillados, con los cuales se consigue mayor higiene (Castel y Delgado, 2004).
El alojamiento de las cerdas gestantes puede ser en jaulas individuales con piso de concreto y slat parcial (solo en la parte posterior), lo que permite que la alimentación sea individualizada, facilitan la supervisión de los animales y evitan peleas. No obstante, tiene desventajas en relación al bienestar de los animales (mayor frecuencia de lesiones), menor vida útil productiva del animal y reducción de la fertilidad. También pueden alojarse en grupos (Corrales) cuya mayor dificultad se muestran en el control animal y menor productividad ya que las cerdas se muestran más intranquilas al ser trasladadas a la jaula de parto, lo que contribuye a aumentar la mortalidad neonatal.

Los alojamientos en maternidad son muy importantes porque albergan a los animales en las fases de desarrollo en las que están más indefensos. El parto y cría de lechones con su madre es una de las etapas de mayor importancia dentro de la explotación de cerdos; deben tener un ambiente limpio, adecuado y cómodo, donde se deben reunir las condiciones necesarias para proteger a los lechones del aplastamiento; el sitio de parición debe estar bien protegido contra cambios de temperatura y el piso debe estar siempre seco, con un declive de 4-5% para facilitar drenaje y evitar la humedad (Pinheiro y Hotzel, 2000). La etapa de engorde se realiza en corrales de concreto con slat parcial con una superficie de 0,7 a 0,8 m²/animal.
Por lo anteriormente expuesto, el sistema de producción industrializado requiere elevada inversión inicial en instalaciones, compromete seriamente el ambiente y el animal se encuentra con grandes restricciones de movimiento, por lo que no se ha considerado apropiado en la producción nacional para el pequeño productor.

II.2. Sistema de producción en pequeña escala. Producción alternativa.

En el sistema de producción a campo las cerdas cumplen su ciclo de producción en potreros, y se ha utilizado en forma simple desde el siglo XX. A partir de la década del cincuenta comenzó a dársele importancia para la producción en gran escala. A comienzos de la década del ochenta la producción de cerdos al aire libre ha tenido un incremento acelerado en Europa, donde han logrado un buen desempeño productivo; de igual modo ha ocurrido en Norteamérica, especialmente en áreas no tradicionales en la producción de cerdos como lo son Oklahoma y Colorado (Honeyman y Wayne, 1997). En Uruguay desde finales de la década de los ochenta, muchos porcicultores han implementado el sistema intensivo de cría a campo obteniendo resultados en parámetros reproductivos y productivos como: lechones nacidos vivos, lechones destetados, porcentaje de mortalidad, peso de la camada al destete que son iguales o ligeramente inferiores a los obtenidos en sistemas intensivos de confinamiento total (Petrocelli y Burgueño, 1997).
Este sistema en Argentina se llama Sistema al Aire Libre (SAL), en Inglaterra y Estados Unidos Outdoor, en Francia y España Camping mientras que en Brasil se denomina SISCAL. En Venezuela, es llamado producción a campo y los resultados obtenidos tanto en engorde como en cría son prometedores (González, 2005). Se tienen resultados muy halagadores donde los cerdos mostraron un comportamiento productivo similar a campo en relación a los estabulados (P>0,05), en crecimiento y finalización (Tepper, 2006) y en forma similar las madres gestantes y lactantes (P>0,05) (González *et al*., 2001; Araque, 2006).
La producción de cerdos a campo lo forma un sistema de potreros que constituyen el alojamiento de las cerdas gestantes y lactantes. Cada zona se puede subdividir en potreros pequeños utilizándose para ello las cercas electrificadas y dispuestos alrededor de un área central que sirve para el manejo y la observación. El área destinada a los animales depende de las condiciones climáticas y las características físicas del suelo (drenaje, capacidad de absorción de agua y de la materia orgánica presente); también es importante considerar el tipo de forraje que está presente como cobertura. En terrenos bien drenados y con buena cobertura vegetal se puede emplear una superficie de 800 m^2/cerda en las fases de cubrición y de gestación, los lotes de cerdas no deben ser muy grandes para evitar problemas por competencia por la alimentación y por los cobertizos (Dalla**,** 1998). En este sistema deben utilizarse gramíneas resistentes al pisoteo, de baja exigencia en insumos, perennes y preferiblemente de propagación vegetativo.
El suministro de agua puede hacerse con bebederos tipo chupetes, conectados a una tubería enterrada a 35 cm. aproximadamente para evitar el calentamiento y el depósito de agua ubicado en la parte más alta del terreno. Los comederos deben ser móviles y hechos de materiales ligeros pero resistentes de tal modo que se facilite cambiarlos de lugar cuando sea necesario, especialmente cuando haya compactación del terreno por el pisoteo constante de los cerdos cerca de ellos. Los comederos son muy variados y de acuerdo a la etapa productiva, pueden ser construidos en concreto para las madres y verracos; para los lechones y el engorde los comederos pueden tener forma circular con estructura de concreto, metal o madera; siendo importante una protección contra la lluvia (Dalla, 1998; Vadell *et al*., 2003).
En la producción de cerdos a campo se usan cobertizos como refugios para las etapas de gestación y lactancia, estos cobertizos reducen considerablemente los gastos usando pequeñas chozas portátiles. Sin piso y deben moverse de sitio una vez que ha sido utilizada para una camada. (Dalla y Monticelli, 1999).

El sistema de producción en cama profunda consiste en la cría de cerdos sobre un lecho formado por material absorbente (paja, concha de arroz, heno, por ejemplo) las cuales logran, con un manejo apropiado de las deyecciones, (sólidas ó líquidas), pueden formar un compostaje que debe ser retirado al final del período de engorde para utilizarse como fertilizante agrícola completando un ciclo natural que no causa daños al medio ambiente.

Hill (2000) define el sistema de producción de cerdos con cama profunda bajo el concepto de proveer al animal la habilidad de seleccionar y modificar su propio micro ambiente a través del material de la cama. Esta es una variación actual del diseño de construcciones, esquema de alojamiento y estilo de manejo que está siendo utilizada en la industria del cerdo y ofrece varias ventajas en comparación con el sistema de confinamiento tradicional ya que combina las bondades de la cama como colector-deshidratador de excretas con los adelantos tecnológicos de los sistemas de confinamiento tradicional. Están diseñados para alojar desde muy pequeñas cantidades hasta volúmenes mayores a 2.800 cerdos, dependiendo del tamaño del galpón, flujo y densidad animal. La densidad animal debe estar alrededor de 1,4 m² por animal para garantizar un buen uso de la cama y minimizar los requerimientos de manejo.

Estos sistemas (a campo y cama profunda) presentan grandes ventajas en unidades de producción en pequeña escala, dadas por:

1. La facilidad de adaptarse a esquemas sustentables mediante el uso de subproductos de la zona o recursos alimenticios autóctonos.
2. Economía en la inversión inicial ya que la producción de cerdos a campo debe realizarse en zonas donde el terreno sea poco competitivo y de bajo costo. En cama profunda los galpones son sencillos y el piso es de tierra reduciéndose significativamente el costo, haciéndolos atractivos para la producción en pequeña escala.
3. La reducción del impacto ambiental en comparación al sistema tradicional donde los efluentes superan casi dos veces la capacidad de utilización de nitrógeno del suelo en que se depositan. En la producción a campo las excretas son depositadas directamente en el suelo, con lo cual se ofrece la posibilidad de reciclar nutrientes, ya que las plantas tendrán la oportunidad de utilizar el nitrógeno y otros elementos de dicha fuente, reduciendo con esto la necesidad de utilizar fertilizantes químicos y la posibilidad de contaminación del suelo por excesos (Rodríguez *et al*., 2001). En la cama se concentran residuos sólidos facilitando su uso como fertilizante.
4. La respuesta a exigencias sobre el bienestar animal que constituye un reto importante para el sector de la producción de carne. El proceso de crianza de cerdos precisa ser ambientalmente benéfico, éticamente defendido, socialmente aceptado y en sintonía con los objetivos, necesidades y recursos de la comunidad para la cual fue diseñado (Pinheiro y Hotzel, 2000). Solucionando así uno de los principales problemas de bienestar en la fase de engorde (el estrés social causado por las peleas y competencia entre los animales), que aparece no sólo cuando se mezclan animales sino también cuando la densidad es alta (Manteca, 2.002).
5. La flexibilidad de la raza a utilizar desde las utilizadas en los sistemas tradicionales (con variables productivas similares) a la utilizada en sistemas familiares y extensivos con razas o tipos genéticos como el “cerdo Criollo”, caracterizado por su adaptación a distintas condiciones agroecológicas. Hurtado (2005) y Vadell *et al*. (2003) sostienen que los tipos genéticos basados en razas mejoradas que son consideradas con cierta adaptación al aire libre, pueden tener éxito cuando no existen restricciones en la alimentación ni en el manejo general recomendado para estos animales.
6. Los resultados sobre desempeño productivo observados en los sistemas al aire libre y confinado son similares, referidos al número de partos por año (2,22 y 2,24), número de lechones nacidos por parto (10,57 y 10,79), destetados en el parto, por cerda año (20,70 y 21,30) y alimento cerda/año (1370 y 1200 Kg.) para exterior e interior, respectivamente (Riley citado por Mora *et al*., 2000). En Brasil el sistema de producción de cerdos al aire libre (SISCAL) se viene utilizando desde 1987 con excelentes resultados (Pinheiro y Hotzel 2000). En Uruguay, Vadell (1999), Vadell *et al.,* (2003), reportaron comportamientos promisorios en cerdas a campo. Guy *et al*. (2002) hace referencia a que el uso de los galpones de cama profunda no causa deterioros en los parámetros productivos ni en las

características de la canal. Honeyman y Harmon (2003) al comparar los sistemas de cama profunda con los corrales con piso de slat encontró que en verano el consumo de alimento fue similar (2,40 y 2,35 Kg.), la ganancia fue superior (834 y 802 g/día) y la conversión fue similar (348 y 342 g/Kg.).

7. Las bondades y flexibilidad de la cama profunda permite su utilización en granjas de diferente tamaño. En Venezuela, a nivel comercial, existen unidades que lo implementaron y han obtenido resultados muy interesantes (Escalona, 2002) al comparar cama profunda y el sistema tradicional en consumo de alimento (231 y 234 Kg.), edad de salida 102, ganancias de 769 y 796 g, consumos de 2,25 y 2,28 Kg./día y conversión de 2,93 y 2,87 Kg./Kg., respectivamente. Actualmente la Fundación CIEPE organismo adscrito al Ministerio del Poder Popular la Ciencia y Tecnología lleva a cabo un proyecto donde se usa este sistema con pequeños productores con resultados muy halagadores.

ALIMENTACIÓN

El desarrollo de estrategias alimentarias para la producción de cerdos es fundamental, utilizando recursos o materias primas que por sus requerimientos agroecológicos compitan en condiciones ventajosas con los cereales y la soya, siendo este un campo de investigación muy importante (González, 1994), las dietas para cerdos están constituidas por aproximadamente 80 % de fuentes energéticas y 20 de fuentes proteicas. Siendo la energía la mayor proporción por lo que debe insistirse hacía esa área, y es allí donde la caña de azúcar puede jugar un papel de alta importancia por sus productos y sus subproductos (jugo de caña y melaza) y sus rendimientos.

En Venezuela existe cultura hacía la siembra de caña y el medio rural es muy propicio para ello. En el país se muelen anualmente alrededor de 9.000.000 TM de caña de azúcar provenientes de la siembra de 121.000 has, que generan unas 720.000 TM de azúcar y como subproducto se originan 350.000 TM de melaza que van a la producción animal principalmente de bovinos, ovinos y caprinos como parte de bloques multinutricionales y en dietas para cerdos aproximadamente entre 5 y 8 %. Además, es necesario considerar que durante la cosecha y el proceso tecnológico de la producción de azúcar, es posible obtener por cada tm de caña: 120 kg de azúcar, 36 kg de melaza, 36 kg de cachaza, 270 kg de bagaso húmedo, 60 kg de paja y 100 kg de bagacillo (Rodríguez, 1997).

Existen experiencias con la utilización del jugo de caña en cerdos en Venezuela y se considera que las dietas basadas en jugo de caña son mucho más sostenibles que las comerciales, por el hecho de maximizar el uso de un recurso de alta producción generado en la misma unidad de producción y suministrado a los animales en una dieta balanceada que refleja una mayor rentabilidad (Sarria *et al.,* 1994). De Almeida (1990) indicó que el jugo de caña, permite la incorporación de altos niveles de proteína foliar, aportando así los elementos que el cerdo requiere, siendo una alternativa factible para los pequeños productores que les resulta muy costoso utilizar harina de soya o harina de pescado, como también el hecho que se puede aprovechar eficientemente nuestros recursos alimenticios tropicales.

Trabajos recientes realizados por González *et al.* (2006a, 2006b), demuestran que los lechones pueden recibir jugo de caña a partir de los 25 Kg. de peso vivo sin que se afecten las variables de comportamiento productivo, ni las características de la canal. En Venezuela, se dispone de muy pocos trabajos acerca del uso de la caña de azúcar suministrada en forma de harina, picada o troceada en cerdos, esto se debe a que los pocos experimentos relacionados con este tipo de suministro arrojan resultados que demuestran el bajo aprovechamiento de este recurso en la alimentación porcina. Entre los factores que limitan el uso de este subproducto de la caña en la alimentación de cerdos se encuentra su contenido de materia seca y de fibra, lo cual deprime el consumo de los demás nutrientes presentes en la dieta afectando así el comportamiento del animal (Díaz, 1999). Finalmente, en los sistemas de producción porcina basados en la caña de azúcar se debe considerar la salida productiva de la fracción insoluble, la cual representa 60 – 65 % de toda la planta

representando un gran volumen de biomasa de naturaleza ligno-celulosica (residuos de cosecha, cachaza, bagazo).
En la alimentación de aves se ha, recomendando la incorporación de melaza en raciones para pollos de engorde hasta niveles de 15% con gran efectividad, mientras que en gallinas ponedora se ha encontrado que es posible su inclusión en raciones para ponedoras hasta 10% (Angulo *et al.*, 1978).
Por otro lado, para la alimentación de rumiantes se ha usado restos del bagazo bien sólo o mejorado con la adición de urea o hidróxido de sodio debido a que la fibra es muchas veces indigestibles usando estos tipos de aditivos que mejoran la ingestión en estos animales, debido al incremento del contenido de nitrógeno y digestibilidad del material fibroso consumido. Además, es una de las alternativas más viables y económicas para aumentar el contenido de nitrógeno cuando es utilizada con la caña de azúcar. También, el mismo bagazo se ha enriquecido con jugo o melaza que estimulan el consumo del recurso fibroso (Sánchez y García, 1994, Araque *et al.*, 2003; Urdaneta, 2004).

CONCLUSIONES

1. Los sistemas de producción alternativos (cerdas a campo y en cama profunda) constituyen una alternativa válida para la recuperación del consumo per per nacional porque requiere menor inversión de capital en instalaciones, para su establecimiento
2. En los sistemas alternativos se logran niveles de eficiencia productiva comparables a los obtenidos con cerdos confinados.
4. Los sistemas alternativos son menos agresivos al medio ambiente.
5. Los sistemas alternativos permiten mayor bienestar animal.
6. Los sistemas alternativos en Venezuela, pueden jugar un papel interesante en el incremento del consumo de carne fresca de cerdo, principalmente en el medio rural
7. La caña de azúcar a través del jugo, principalmente, y de subproductos agroindustriales y residuos de cosecha puede jugar un papel importante en la alimentación de cerdos, aves y rumiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angulo, Ch., Montilla, J., Veracierta, L., Wiedenhofer, H. 1978. Uso de la melaza de caña de azucar en raciones para ponedoras. Agronomía Tropical. 28(3): 261-273.

Araque, C., Espinoza, F., Fuenmayor, A., Simoes, D. y Sandoval, E. 2003. Efecto de la suplementación con caña de azúcar-urea en la ganancia de peso en mautas a pastoreo. Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XIII, Nº (5): 352-355.

Araque, H. 2006. comportamiento productivo de cerdas gestantes y lactantes a campo y estabuladas, alimentadas con materias primas alternativas. Tesis de Maestría. Facultades de Agronomía y Ciencias Veterinarias. 67 p

Avellana R. J. 1993. Camping: Una solución al futuro. Anaporc. No. 128. Año XIII.

Castel G. J. y M. Delgado. 2004. Alojamiento e Instalaciones Porcinas. http://www.us.es/gprodanim/Porcino/instalaciones.pdf

Dalla C. O. 1998. Sistema intensivo de suinos criados ao ar livre - SISAL: índice de produtividade, Custo de implantação e produção - EMBRAPA – CNPSA. In: Primer Encuentro de Técnicos del Cono Sur Especialistas en Sistemas Intensivos de Producción Porcina a Campo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Marcos Juárez. Argentina. pp. 5-25. http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/encuentros/dallacosta.htm

Dalla C. O. y C. Monticelli. 1999. Por dentro do Siscal. Suinocultura Industrial / Fev-Mar pp. 32-35.

De Oliveira P. A. 2000. Produçâo de Suínos em Sistemas Deep Bedding: Experiencia Brasileira. 5to. Seminario Internacional de Suinocultura. Expo Center Norte, Sao Paulo. Brasil. pp. 89-100.

De Oliveira P. A. y R. Diesel. 2000. Edificacâo para a producâo agroecológica de suinos: Fases de crescimiento e terminacâo. Embrapa Suinos e Aves. Comunicado Técnico 245, pp. 1-2.

De Almeida, J. D. 1991. El uso de caña de o caña picada como fuente energética para cerdos en crecimiento. Universidad Central de Venezuela. Maracay. (Tesis de Grado). 50 pp.

Díaz, C. 1999. Uso de la caña de azúcar y sus subproductos como fuentes de energía para los cerdos en ceba: Sistemas de alimentación y sus formas de uso. En: V Encuentro Sobre Nutrición y Producción de Animales Monogastricos. Producción de Cerdos. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Maracay. pp. 12.

Epstein, H. and Bichard,M. 1984. Pig. In: "Evolution of Domesticated Animals". Ian Mason (Edit) Longman Group Limited. pp. 145-62

Escalona F. 2002. Uso de galpones de pollo en el engorde de cerdos. Expoferia Porcina 2002. Maracay. Venezuela. http://sian.info.ve/porcinos/eventos/expoferia2002/galpones.htm

González**, C.**; Díaz, L.; Vecchionacce, H. y Díaz, Ivonne. 2001. Comportamiento productivo y reproductivo de cerdas gestantes a campo o en confinamiento. REVISTA UNELLEZ DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. Vol Especial:23-27

González C. 2005. Sistemas alternativos de producción de cerdos en Venezuela. VIII Encuentro de Nutrición y Producción de animales monogástricos. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” Guanare, Portuguesa pp. 20-29.

González, D., González, C., Ojeda, A., Machado, W. y Ly, J. 2006a. Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento alimentados con jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y harina de follaje de morera (*Morus alba*). Arch. Latinoam. Prod. Anim. Vol. 14 (2): 42-48

González, D., González, C., Machado, W., Mendoza, J., Ly, J. 2006b. Jugo de caña de azúcar en dietas de crecimiento y finalización para cerdos: efectos en el comportamiento productivo y rasgos de canal. Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XVI, Nº 4, 406 – 413.

Guy, J. H., Rowlinson, A.;Chadwick, J. P. y Ellis, M. 2002. Grow performance and carcass characteristics of two genetypes of growing-finisching pigs in tree different and housing systems. Anim Science. Vol (74):3 (abstract).

Hill J. 2000. Deep Bed swine finishing. 5to.Seminario Internacional de Suinocultura. Expo Center Norte, Sao Paulo, Brasil. pp. 83-88.

Honeyman M. and Harmon, J. 2003. Performance of finishing pigs in hoop es structures and confinement during winter and summer. Journal of Anim Science. 81:1663-1670.

Honeyman M. y Wayne, R. 1997. Outdoor pig production: A pasture-farrowing herd in Western Iowa. ASL-R1498. Swine Research Report. Iowa State University.http://www.extension.iastate.edu/Pages/ansci/swinereports/Mgmtecon97.htm

Hurtado E. 2005. Estudio del cerdo criollo y su sistema de producción. VIII Encuentro de Nutrición y Producción de animales monogástricos. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” Guanare, Portuguesa. pp. 30-33.

Manteca X. 2002. Bienestar animal en la producción intensiva de cerdos. IV Jornadas Técnicas de Porcino NANTA Guadalajara,México. http://www.nanta.es/esp/revista/22/bienestar1.pdf

Mora A., I. R. Armendáriz, R. Belmar y J. Ly. 2000. Revista computadorizada de producción porcina. 7 (2). http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/rev72/72artres.htm

Olfert E., D. Brenda, M. Cross y A. A. McWilliam. 1998. Manual sobre el cuidado y uso de los animales de experimentación Volumen 1. Segunda edición. http://www.ccac.ca/en/CCAC_Programs/Guidelines_Policies/GUIDES/SPANISH/toc_v1.htm

Petrocelli H. y J. Burgueño. 1997. Desempeño reproductivo de tres Sistemas de cría de cerdos en Uruguay. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 5 (Supl. I): 341-343 pp.

Phiny, C.; Preston, T. y Ly, J. 2003. Mulberry (Morus alba) leaves as protein source for young pigs fed rice-based diets: Digestibility studies. Livestock Research for Rural Development 15 (1). Consulta electrónica. En: http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd15/1/ly151.htm.

Pinelli A., E. Acedo, R. Beldar y J. Hernández. 2004. Manual de Buenas Prácticas de Producción en Granjas Porcícolas. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo y el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SAGARPA. México. 85 pp.

Pinheiro, L. C. y M. J. Hotzel. 2000. Bem-estar dos suínos. 5to. Seminario Internacional de Suinocultura. Expo Center Norte, Sao Paulo. Brasil. 70-73 pp.

Rodríguez, H. 1997. Sustitución de cereales por melaza en la suplementación al pastoreo y su influencia sobre la ganancia de peso diaria en la terminación de toros de ceba. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 5(Supl. 1): 251-253.

Rodríguez L, A. Ortega, C. Y. Machain y R. Santos. 2001. Parásitos gastrointestinales en marranas mantenidas en dos sistemas de producción (interior y exterior) en el trópico mexicano. Livestock Research for Rural Development (13) 5 2001. http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd13/5/cont135.htm

Sánchez, C. y García, M. 1994. Sustitución del heno de gramínea por bagacillo de caña enriquecido con melaza y urea o gallinaza para evaluar comportamiento productivo en cabras. Zootecnia Trop., 12(2):225-240.

Sarria, P. 1994. Efecto del nacedero (Trichantera gigantea) como reemplazo parcial de la soya en cerdas en gestación y lactancia recibiendo una dieta básica de jugo de caña. Livestock Research for Rural Development. Vol 6, Número 1, March 1994. (On line): http://www.cipav.org.co/lrrd/ [28/09/2004]

Tepper, R. 2006. Comportamiento productivo de cerdos estabulados y a campo alimentados con recursos alternativos. Trabajo de Grado de Magister Scientiarum. Facultades de Agronomía y Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela. 57 p.

Urdaneta, July. 2004. Uso de la caña de azúcar y follaje de Gliricidia sepium en la producción de leche y ganancias diarias de peso en la época seca. Zootecnia Trop., vol.22, no.3, p.221-230.

Vadell A. 1999. Producción de cerdos a campo. In: V Encuentro sobre nutrición u producción de animales monogástricos. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 119p.

Vadell A., N. Barlocco y D. Garín. 2003. Caracterización de los principales componentes de los sistemas de producción de cerdos a campo en Uruguay. In: III Encuentro Latinoamericano de Especialistas en Sistemas de Producción Porcina a Campo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Córdoba, Argentina. (On line): http://sian.info.ve/porcinos/

OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES FISIOLÓGICAS DE CRECIMIENTO PARA UNA CEPA PROBIÓTICA *Lactobacillus* sp. AISLADA DEL TRACTO INTESTINAL DE TERNEROS.

Avila, José[1*]; Avila, Manuel[1]; Tovar, Belkis[1]; Brizuela, María[2]; Bueno, Gloria[2]; Serrano Paulina[2] y Hernández, Helis[1]

1 Fundación CIEPE Apartado 100. San Felipe, Edo. Yaracuy, Venezuela.
*2 Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), PO Box 4026, La Habana, Cuba. *Correspondencia: josegavila@cantv.net*

Resumen

En el presente estudio se utilizó la metodología de superficie de respuesta para determinar las condiciones de pH y temperatura optimas para el crecimiento de una cepa probiótica de *Lactobacillus* sp. (T3), aislada del intestino delgado de terneros. Para ello se estableció un diseño factorial 3^2 obtenido de la combinación específica de los factores de pH y temperatura a tres niveles. El modelo de regresión cuadrático presentó un ajuste de 90% y se determinó que los mayores efectos se atribuyen al pH ($P<0,001$). Los valores de pH y temperatura utilizados permitieron el establecimiento de una zona óptima de crecimiento en los siguientes rangos, pH entre 5,1 y 5,6; y temperatura entre 38,0 y 41,5°C, donde el máximo crecimiento se obtuvo a pH 5,31 y a 39,38°C. Con la información obtenida se espera incrementar los rendimientos de la cepa T3 y así promover la producción de cepas probióticas para el consumo animal en Venezuela.

Palabras Clave: Probióticos/ *Lactobacillus*/ Superficie de respuesta.

Abstract

This study used response surface methodology for optimization of growth conditions pH and temperature of a probiotic strain *Lactobacillus* Sp. (T3) isolate from intestinal tract of calves. A experimental design 3^2 was obtained from combination in three levels both factors ph and temperature. The quadratic regression model showed a 90% adjustment. It was found that pH showed the highest effects ($P<0,001$). The values pH and temperature used estimated a optimum growth zone, in the pH range 5,1 - 5,6; and temperature 38,0 -41,5°C. Where maximum growth was obtained from pH 5,31 and 39,38°C. Information obtained found increases the yields of T3 strain, promoting the production of probiotics cultures for animal feeding in Venezuela.

Key words: Probiotics/ *Lactobacillus*/ Response surface.

Introducción

El término probiótico es una palabra relativamente nueva que significa “para la vida” y se usa actualmente para nombrar bacterias asociadas con efectos beneficiosos para los humanos y animales. Es por ello que se ha definido internacionalmente a los probióticos como “microorganismos vivos que al ser ingeridos en cantidades adecuadas ejercen una influencia positiva en la salud o en la fisiología del hospedero, más allá de la inherente a la nutrición en general” (FAO/WHO, 2001). En cuanto a los beneficios se incluyen mejoría en

enfermedades infecciosas y enfermedades crónicas intestinales (Marteau *et al.,* 2001; Cui *et al.,* 2004; Penner *et al.,* 2005; Geier *et al.,* 2007), inmunomodulación (Fang *et al.,* 2000; Isolauri *et al.,* 2001), biodisponibilidad de nutrientes, enfermedades cardiovasculares, diabetes no insulinodependiente, obesidad, alergias de origen alimentario y cáncer (Hirayama *et al.,* 2000; Isolauri, 2001; Zubillaga *et al*. ,2001; Drisko *et al.,* 2003; Madden *et al.,* 2005). Estos efectos pueden deberse directa o indirectamente a la regulación de la microflora intestinal o de la respuesta inmunológica. Por otro lado, las enfermedades entéricas son de mucha importancia en lo que concierne a la industria pecuaria, debido a la pérdida de productividad, incremento de mortalidad y la contaminación asociada a los productos para consumo humano (problemas de seguridad alimentaria). Ante este hecho, las bacterias probióticas en la actualidad se emplean como un ingrediente en la alimentación de animales de granja como suplementos alternativos al uso terapéutico de antibióticos y como promotores del crecimiento (Doyle, 2001; Patterson y Burkholder, 2003).

Entre las bacterias probióticas mas utilizadas para el consumo humano y animal se encuentran las llamadas bacterias ácidolácticas (BAL). Para que estas sean efectivas deben resistir las secreciones gástricas, biliares y pancreáticas, adjuntándose a las células epiteliales y colonizando el intestino. Estos son criterios que deben tomarse en cuenta para la selección de una cepa probiótica, además de su comportamiento en los procesos subsiguientes a la fermentación como la liofilización y el "Spray drying" (Lacroix y Yildirim, 2007). Toda potencial cepa probiótica debe ser plenamente identificada y evaluada en sus características fisiológicas, tolerancia a las condiciones gastrointestinales, adhesión al epitelio intestinal, producción de compuestos antimicrobianos, viabilidad y seguridad para el consumo humano (Guiemonde y Salminen, 2006). Por otra parte, los factores de producción del probiótico tales como el tipo de fermentación, la composición del caldo de crecimiento, y las condiciones de fermentación tienen también una gran influencia sobre dichas características, y junto a los subsiguientes procesos de extracción y de elaboración inciden en la calidad final del alimento probiótico (Del piano *et al.,* 2006) Estas características varían de una especie a otra, e incluso entre cepas de una misma especie. La determinación de las condiciones fisiológicas óptimas de crecimiento representa un paso inicial y necesario no solo para fines de caracterización taxonómica de los nuevos aislamientos identificados. También permite establecer verdaderas comparaciones del rendimiento entre cepas y, una vez que son definidas dichas condiciones, se conjugan con otros parámetros de fermentación tales como agitación y control de oxigeno, para asegurar el máximo nivel de crecimiento del probiótico. Los análisis de superficie de respuesta representan una herramienta estadística útil, donde la respuesta de interés está influenciada por varias variables definidas en un modelo matemático (Montgomery, 1991). Estos ya han sido aplicados en estudios de optimización de medios (Liew *et al*., 2005) y condiciones de producción Ramkrishna y Srinivasa, 2005) en bacterias probióticas. El objetivo de la metodología de superficie de respuesta es determinar las condiciones de operación óptimas para el sistema bajo estudio.

En el presente trabajo se establece un modelo para la optimización de las condiciones fisiológicas pH y temperatura para la producción de una cepa ácido láctica *Lactobacillus* sp. (T3) aislada del intestino delgado de terneros. Con la información generada se espera ampliar las posibilidades de producción industrial de cepas probióticas en Venezuela.

Materiales y Métodos

Microorganismo

Se extrajeron muestras del intestino delgado de terneros por medio de una intervención quirúrgica (Enterotomía) en el Hospital Universitario de la Facultad de Veterinaria de la UCLA (Tarabana, Edo. Lara, Venezuela). De las mismas se aislaron tres cepas características de bacilos acidolácticos, las cuales fueron incubadas en condiciones de microaerobiosis (5-7% v/v de oxigeno) en jarras herméticas Anaerocult® (Merck, Darmstadt, Alemania). Luego estas cepas fueron sometidas a una serie de pruebas bioquímicas de

identificación y selección tales como crecimiento en agar MRS con verde de bromocresol, para determinar la producción de ácido láctico, tinción de Gram y de esporas, observación de la morfología celular en Microscopio (40X) y las pruebas de producción de enzimas *citocromo C oxidasa* utilizando el reactivo de Kovacs; y de la enzima *catalasa* utilizando H_2O_2 estabilizado al 30% (Riedel-de Haën®, Seelze, Alemania). Las pruebas anteriores permitieron la selección de una cepa (Tabla I) que posteriormente fue identificada por medio del Kit API® (Biomerieux, Marcy l'Etoile, Francia) como *Lactobacillus delbruekii* subesp. *Bulgaricus* (Tabla II). Esta cepa fue almacenada para su posterior uso a -86ºC en tubos Ependorf de 2 ml.

Tabla I
Pruebas bioquímicas y de tinción para la selección de la cepa

Cepa	Morfología	Acido láctico	Gram	Catalasa	Oxidasa	Esporas	Selección
T1	cocos	+	+	-	-	-	No
T2	Bacilos	+	+	-	+	-	No
T3	Bacilos	+	+	-	-	-	Si

Tabla II
Perfil de fermentación de carbohidratos para identificación de la cepa seleccionada

Carbohidrato	Resultado T3	Carbohidrato	Resultado T3
Testigo	-	Esculina (Citrato férrico)	-
Glicerol	-	Salicina	-
Eritritol	-	D-celobiosa	-
D-arabinosa	-	D-maltosa	-
L-arabinosa	-	D-lactosa (origen bovino)	+
D-ribosa	-	D-melibiosa	-
D-xilosa	-	D-sacarosa	-
L-xilosa	-	D-trehalosa	-
D-adonitol	-	Inulina	-
Metil-βD-xilopiranosa	-	D-melezitosa	-
D-galactosa	+	D-rafinosa	-
D-glucosa	+	Almidón	-
D-fructosa	+	Glicógeno	-
D-mamnosa	+	Xilitol	-
L-sorbosa	-	Gentiobiosa	-
L-rhamnosa	-	D-turanosa	-
Dulcitol	-	D-lixosa	-
Inositol	-	D-tagatosa	-
D-manitol	-	D-fucosa	-
D-sorbitol	-	L-fucosa	-
Metil-αD-manopiranosida	-	D-arabitol	-
Metil-αD-glucopiranosida	-	L-arabitol	-
L-acetilglucosamina	-	Gluconato potásico	-
Amigdalina	-	2-cetogluconato potásico	-
Arbutina	-	5-cetogluconato potásico	-

Medios de Cultivo.

Para el aislamiento de las cepas se utilizó agar MRS (HI-MEDIA, Munbai, India) el cual es un medio de mantenimiento específico para el género *Lactobacillus* [2]. El medio de crecimiento y de mantenimiento fue

caldo MRS con pH ajustado en el primer caso y con 30% de glicerol como crioprotector en el caso del almacenamiento de la cepa.

Inóculo

El inóculo se preparó a partir de las muestras congeladas, tomando 1 ml de la muestra y sembrando en 9 ml de MRS (10%v/v) a pH 6.5 e incubando por 48 horas, para luego refrescar 1 ml de esta siembra a otros 9 ml de MRS por 16 horas. De allí se tomaron los inóculos para los diferentes tratamientos.

Diseño Experimental de superficie de respuesta

El crecimiento (Y) de la cepa *Lactobacillus* T3 constituyó la variable respuesta y fue determinada bajo la influencia de dos condiciones fisiológicas de crecimiento: pH (X_1) y temperatura (X_2); dichos factores se establecieron en un diseño experimental con arreglo factorial 3^2 obtenido de la combinación de dos factores a tres niveles (pH inicial: 4; 5 y 6; y Temperatura de incubación: 35; 40 y 45°C) los cuales se definieron a partir de las condiciones fisiológicas de crecimiento observadas en evaluaciones previas de la capacidad probiótica de la cepa (datos no mostrados) y, finalmente, fueron codificados de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$xi = \frac{Xi - Xo}{\Delta Xi}\left(i = 1,2,3\right)$$

Donde *xi* es el valor codificado del factor en el nivel i; *Xi* es el valor real del factor en el nivel i; *Xo* es el valor real del factor en el nivel intermedio y ΔXi es la diferencia en el valor real del factor de un nivel a otro. La combinación factorial fue repetida en dos bloques que corresponden al experimento realizado en dos semanas diferentes lo cual generó un total de 18 corridas, cuyos resultados fueron obtenidos a partir de los promedios de tres replicas por corrida.

Crecimiento

La fermentación se realizó en tubos de ensayo de 15 ml a los cuales se le adicionó 9 ml de caldo MRS. Inicialmente los tubos fueron ajustados para los diferentes niveles de pH con HCl 6N y se autoclavaron a 121°C por 15 min. Posteriormente fueron inoculados con 1 ml de cultivo fresco (10% v/v) e incubados por 24 horas a las diferentes temperaturas conforme al diseño experimental. Los niveles de pH no fueron controlados durante el crecimiento. Finalmente se midió el crecimiento celular por densidad óptica (DO) a 600 nm con el uso de un espectrofotómetro UV (JENWAY 6405, Essex, Inglaterra) para la hora inicial Ho (luego de inocular) y la hora final Hf (24 horas de incubación). El crecimiento fue calculado por la diferencia de DO entre Hf y Ho.

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se realizaron conforme al diseño experimental establecido, utilizando para ello el programa de computación Statgraphic®Plus (2000). Se determinaron los factores en su efecto lineal y cuadrático y su interacción en el modelo de regresión múltiple, considerando una probabilidad de error tipo I de 0,05. Finalmente se determinaron los valores de pH y temperatura para la respuesta optimizada.

Resultados y Discusión

Los resultados del crecimiento de acuerdo al diseño experimental establecido se presentan en la Tabla 3. El modelo de segundo orden que explica el crecimiento de la cepa *Lactobacillus* (T3) fue definido como sigue:

$$\text{Crecimiento (D.O.)} = 0{,}211444 + 0{,}0554167X_1 - 0{,}00983333X_2 - 0{,}0864167X_1^2 + 0{,}02X_1X_2 - 0{,}0471667X_2^2$$

Tabla III Matriz de datos del diseño factorial 3^2 para optimización de condiciones de crecimiento de *Lactobacillus* (T3).

Corridas	Bloque	Variables normales		Variables codificadas		Crecimiento D.O. (Y)
		pH (X_1)	Temperatura (°C) (X_2)	pH	Temperatura	
1	1	4	35	-1	-1	0,0470
2	1	5	35	0	-1	0,1800
3	1	6	35	1	-1	0,1255
4	1	4	40	-1	0	0,0655
5	1	5	40	0	0	0,1990
6	1	6	40	1	0	0,1910
7	1	4	45	-1	1	0,0080
8	1	5	45	0	1	0,1240
9	1	6	45	1	1	0,1645
10	2	4	35	-1	-1	0,0445
11	2	5	35	0	-1	0,1955
12	2	6	35	1	-1	0,1050
13	2	4	40	-1	0	0,0575
14	2	5	40	0	0	0,2490
15	2	6	40	1	0	0,1595
16	2	4	45	-1	1	0,0045
17	2	5	45	0	1	0,1320
18	2	6	45	1	1	0,1465

El análisis de varianza del modelo de regresión obtenido se presenta en la Tabla 4. Este mostró un alto coeficiente de determinación que explica más del 90% de la variabilidad en la respuesta. Al estudiar la significación de las fuentes de variación en el modelo, se encontraron efectos significativos a nivel de $P<0{,}05$ para el pH, en primer y segundo orden (X_1 y X_1^2), la temperatura, en segundo orden (X_2^2); y la interacción pH y temperatura ($X_1.X_2$). Los bloques no presentaron diferencias estadísticas, lo cual es indicativo de una adecuada reproducibilidad del experimento. En cuanto a los coeficientes del modelo, el pH inicial, en sus términos lineales y cuadráticos, presentaron los máximos valores de todos los factores evaluados y, en consecuencia, esta variable presenta los mayores efectos sobre el crecimiento de la cepa probiótica.

Tabla IV Análisis de varianza para crecimiento.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	F	Valor- P
X_1	0,036	1	74,42	0,0000
X_2	0,001	1	2,34	0,1541
X_1^2	0,030	1	60,67	0,0000
$X_1 X_2$	0,003	1	6,42	0,0278
X_2^2	0,008	1	17,97	0,0014
Bloques	0,000	1	0,01	0,9134
Residual	0,005	11		
Total (corregida)	0,085	17		

R^2 (ajustado a los grados de libertad) = 90,98% Error Estándar de la estimación = 0,022

La superficie de respuesta fue aplicada para determinar las condiciones de pH y temperatura donde se alcanza el mayor crecimiento de la cepa T3 de *L. delbruekii*. El modelo de regresión cuadrático se presenta gráficamente de forma bidimensional (Fig.1-A) y tridimensional (Fig.1-B). En el gráfico bidimensional se observan líneas de contorno como resultado de las interacciones significativas entre las variables independientes obtenidas. Dichos contornos se reducen a una elipse dentro del gráfico. Esto indica que los niveles de pH y temperatura seleccionados en el estudio permitieron el establecimiento de una región óptima, en la cual se enmarca el máximo crecimiento de la cepa. La región en cuestión permitió la estimación de un rango de trabajo que estuvo comprendido entre valores de pH de 5,1 a 5,6 y a temperaturas de 38,0 a 41,5 °C, para lo cual se obtuvo un crecimiento de 0,206 (DO). Los rangos de trabajo resultan de mucha utilidad para garantizar las condiciones de crecimiento fisiológico adecuadas durante la fermentación, debido a que algunos equipos operan bajo amplios rangos de pH y temperatura.

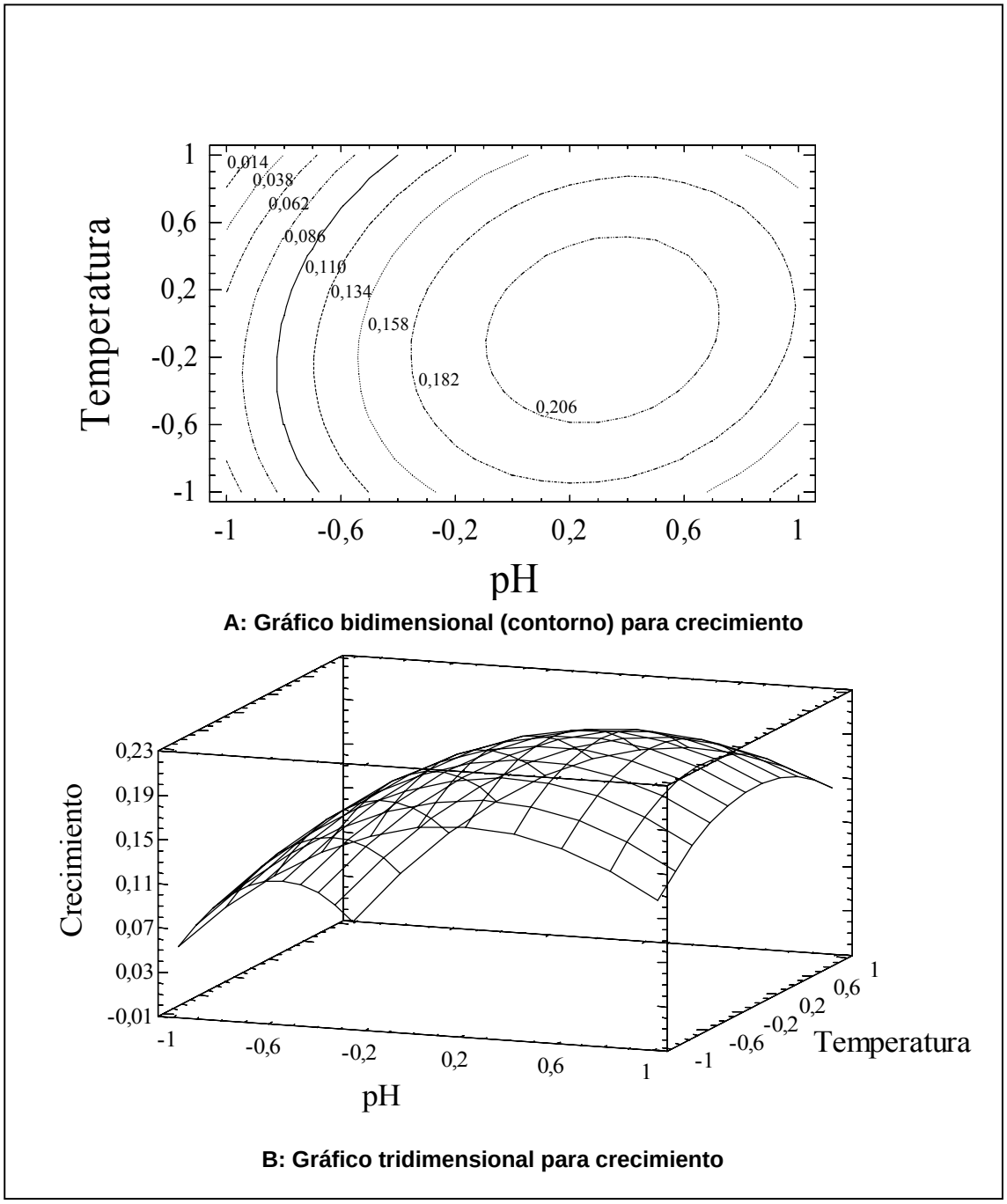


Figura 1
Gráficos de crecimiento de la cepa probiótica *Lactobacillus* sp. (T3) para variables codificadas

En el gráfico tridimensional se puede apreciar un valor máximo de la respuesta donde los valores de pH y temperatura estimados fueron de 5,31 y 39,38°C, respectivamente. Para estas condiciones fisiológicas se obtuvo un crecimiento de 0,222 (DO). Los rangos de temperatura óptima de crecimiento estimados para la cepa del *Lactobacillus* T3 son inferiores a los señalados por Kander y Weiss (1986) para este género (48-52°C) y resultan similares a los valores de temperatura indicados para la misma especie pero subesp. *delbruekii;* por otra parte superan los valores de 37°C señalados por Ronka *et al*. (2003) para la producción dos cepas *L. delbruekii* cultivadas en medio MRS. En cuanto a los bajos valores de pH estimados para la respuesta optimizada se atribuye al medio ambiente ácido típico del tracto intestinal de los terneros de donde es originaria la cepa. El pH resultó inferior a los valores señalados por Silva *et al*. (2005) para *L. delbruekii* subesp. *bulgaricus* aislado de yogurt, en dicho estudio el crecimiento fue realizado a un pH controlado de 6,5 que es el nivel normalmente usado en el crecimiento de cultivos iniciadores para la producción de yogurt. Como ya fue descrito, el pH del medio de crecimiento fue ajustado inicialmente pero no fue controlado durante el crecimiento. Ante este hecho, la auto-acidificación de la cepa por la producción de ácido láctico de la fermentación probablemente resultó en una reducción del pH del medio que permitió a la cepa probiótica lograr los mayores niveles de crecimiento.

Conclusiones

El modelo de superficie de respuesta empleado para determinar las condiciones fisiológicas óptimas de crecimiento de la cepa probiótica T3 del *Lactobacillus* sp. *in vitro* presentó un ajuste adecuado (R^2=0,90) y permitió la identificación de las condiciones de pH (5,31) y temperatura (39,38°C) para maximizar el crecimiento. El empleo de las condiciones óptimas determinadas constituye el punto de partida para estudiar el efecto de otros parámetros de proceso tales como agitación, concentración del inóculo y concentración de oxigeno a escala piloto e industrial para la producción de esta cepa probiótica con fines comerciales, específicamente para la alimentación animal.

Referencias bibliográficas

Cui, H., Chen, C., Wang, J., Yang, Y., Cun, Y., Wu, J., Liu, Y., Dan, H., Jian, Y., Chen, X. (2004). Effects of probiotic on intestinal mucosa of patients with ulcerative colitis. *World J Gastroenterol*. 10:1521-1525.

De Man, J., Rogosa, M., Sharpe, M. (1960). A medium for the cultivation of Lactobacilli. *J. Appl. Bact*. (23) 130-135.

Del Piano, M., Morelli, L., Strozzi, G., Allesina, S., Barba, S., Deidda, F., Lorenzini, P., Ballaré, M., Montino, F., Orsello, M., Sartori, M., Garello, E., Carmagnola, S., Pagliarulo, M., Capurso, L. (2006). Probiotics: from research to consumer. *Digestive and Liver Dis.* (38) 2 S248 –S255

Doyle, M. (2001). Alternatives to Antibiotic Use for Growth Promotion in Animal Husbandry. Food Research Institute, University of Wisconsin–Madison. Madison, WI 53706.

Drisko J., Giles, C., Bischoff, B. (2003). Probiotics in health maintenance and disease prevention. *Altern Med Res*. 8:143-155.

Fang, H., Elina, T., Heikki, A., Seppo, S. (2000). Modulation of humoral immune response through probiotic intake. *FEMS Immunol. Med. Microbial*. 29:47-52.

FAO/WHO (2001). Guidelines for the evaluation of probiotics in food. Food and Health Agricultural Organization of the United Nations and World Health Organization. Working Group Report.

Geier, M., Butler, R., Howarth, G. (2007). Inflammatory bowel disease: Current insights into pathogenesis and new therapeutic options; probiotics, prebiotics and synbiotics. *Intern. J. Food Microb*. (115) 1 –11.

Gueimonde, M. and Salminen, S. (2006). New methods for selecting and evaluating probiotics. *Digestive and Liver Dis*. (38):2 S242 –S247.

Hirayama, K. and Rafter, J. (2000). The role of probiotic bacteria in cancer prevention. *Microb. and Infection*. 2 (6): 681-686.

Isolauri, E. 2001. Probiotics in human disease. Am J Clin Nutr; 73:114 2S–6S.

Isolauri. E., Sütas, Y., Kankaanpää, P., Arvillomi, H., Salminen, S. (2001). Probiotics: effects on immunity. *Am J Clin Nutr* . 73S: 444S-450S.

Kanlder, O., and Weiss, N. (1986). Regular, nonsporing Gram positive rods In: *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Volume 2. Section 14, 1208-60.

Lacroix, C. and Yildirim, S. (2007). Fermentation technologies for the production of probiotics with high viability and functionality. *Current Opinion Biotech*. 18:176–183.

Liew, S., Ariff, A., Raha, T., Ho, Y. (2005). Optimization of medium composition for the production of a probiotic microorganism, Lactobacillus rhamnosus, using response surface methodology. *Intern. J. Food Microb.* (102) 137– 142

[16] Madden, J., Plummer, S., Tang, T., Garaiova, I., Plummer, N., Herbison, M., Hunter, J., Shimada, T., Cheng, L., Shirakawa, T. (2005). Effect of probiotics on preventing disruption of the intestinal microflora following antibiotic therapy: A double-blind, placebo-controlled pilot study. *Inter. Immunopharmacol*. (5) 1091–1097.

[17] Marteau, P., de Vrese, M., Cellier, C., Schrezenmeir J. (2001). Protection from gastrointestinal diseases with the use of probiotics. *Am J Clin Nutr*; 73: S430-S436.

[18] Montgomery, D. (1991). Métodos y diseños de superficie de respuesta. En: *Diseño y análisis de experimento*s. Iberoamericana. México. pp. 467-509. 223-235.

Patterson, J. and Burkholder, K. (2003). Application of Prebiotics and Probiotics in Poultry Production. *Poultry Science*; 82:627–631

Penner, R., Fedorak, R., Madsen, K. (2005). Probiotics and nutraceuticals: non-medicinal treatments of gastrointestinal diseases. *Current Opinion Pharm*. 5:596–60.

Programa estadístico para Windows Statgraphics® Plus, 5,0 1994-2000.
Copyright 1994-2000 by Statistical Graphics Corp.

Ramkrishna, S. and Srinivasa, B. (2005). Modeling and optimization of the process conditions for biomass production and sporulation of a probiotic culture. *Proc. Biochem*. 40: 2531–2538.

Ronka, E., Malinen, E., Saarela, M., Rinta-Koski, M., Aarnikun-nasa, J., Palva, A. (2003). Probiotic and milk technological properties of *Lactobacillus brevis. Int. J. Food Microb*. 83, 63–74.

Silva, J., Carvalho, A.S., Ferreira R., Vitorino, R., Amado, F., Domingues, P., Teixeira, P., Gibbs, P.A. (2005). Effect of the pH of growth on the survival of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* to stress conditions during spray-drying. *J. of Appl.Microb*.98: 775–782.

Zubillaga, M., Weill, R., Postaire, E., Goldman, C., Caro, R., Boccio, J. (2001). Effect of probiotics and functional foods and their use in different diseases. *Nutr. Res*. (21) 569–579.

CAÑA DE AZÚCAR Y SUS SUBPRODUCTOS EN LA PRODUCCIÓN DE HEMBRAS BOVINO DE REEMPLAZO

Palma. J.M[1,2] .; Reyes, J.A[1,3] y Morales, I.[1,3]

[1]PICP FMVZ – U de Colima, [2]CUIDA – U. de Colima y [3]CUSur - U de G
palma@cgic.ucol.mx

RESUMEN

El objetivo fue evaluar la caña de azúcar y sus subproductos en la producción de hembras bovino de reemplazo, basado en un sistema de ensilado de caña de azúcar (ECA) comparado con ensilado de maíz (EM). Se utilizaron 28 becerras posterior al destete, con una edad promedio de 80±16 días y un peso inicial de 79.5 ± 12.9 kg. El estadístico fue un análisis de varianza para un diseño en bloques al azar, en total se utilizaron 14 becerras por cada tratamiento, se bloquearon por peso y se dividieron en tres grupos dentro de cada tratamiento. Cada 30 días se midió el peso corporal PC (kg), la altura a la cruz AC (cm), la condición corporal CC (escala de 1 a 5), la ganancia diaria de peso GDP (Kg), la conversión alimenticia CA (kg), el consumo de forraje CF (kg), de suplemento CS (kg), el costo diario de alimentación CDA ($) y total de producción ($) a la pubertad y al primer servicio. Al final los animales se comportaron de la siguiente manera: CC 3.12a y 3.66b, GDP 0.666a y 0.743a kg/dia, CA 7.4a y 9.8b, CF 3.2 y 5.3, CS 1.8 y 1.5, CDA $ 9.4a y 11.4b, costo de la vaquilla $ 7,710.64 y $ 8,875.52, para ECA y EM. Presentaron la pubertad a la edad de 346.8 y 335.2 días y PC 250.6b y 279.1a y primer servicio con una edad de 441.1 y 430.1 días y PC 313.6 y 332.6; con 1.1 y 1.3 servicios/gestación y 92.8% y 78.5% de gestación a primer servicio para ECA y EM, respectivamente. El sistema de alimentación basado en ensilaje de caña de azúcar permite una ganancia diaria, comportamiento reproductivo y económico rentable comparado con el ensilado de maíz, por lo cual, se plantea como una alternativa para el desarrollo de hembras bovino de reemplazo.
Palabras clave: Vaquillas, caña de azúcar, melaza, economía, alimentación.

ABSTRACT

The objective was to asses the cane and its byproducts in the production of replacement female cattle. A feeding strategy using sugar cane silage (SCS) was compared with another system using corn silage (CS). Twenty eight weaned heifers aging 80±16 days and initial weight of 79.5 ± 12.9 kg were used for the present study. Analysis of variance in a randomized block arrangement was used blocking heifers by weight and distributing them into three categories for each treatment. Body weight (BW) was measured every 30 days as well as height at cross (HC), body condition score (BCS), daily gain (DG), feed efficiency (FE), forage intake (FI), supplement intake (SI), cost of alimentation by day (CAD) and cost of heifer. Furthermore, age in days was registered at the time of puberty and first mating as well as BW, BCS and height at cross (HC). At the end of the trial, animal performance was as the following: BCS 3.12a and 3.66b, DG 0.666a and 0.743a kg/day, FE 7.4a and 9.8b, FI 3.2 and 5.3, SI 1.8 and 1.5 and cost of food per day 9.4ay 11.4by Heifer cost of $ 7,710.64 and $ 8,875.52, for SCS y CS respectively. At the onset of puberty, heifers were 346.8 and 335.2 days of age, BW 250.6b and 279.1a, at first mating, heifers were 441.1 y 430.1 days, BW 313.6 y 332.6 with 1.1 y 1.3 matings/pregnancy and 92.8% y 78.5% fertility at first mating for SCS and CS respectively. The SCS-based system allows for daily gain, reproductive performance and economically profitable compared with corn silage, therefore, arises as an alternative for development replacement heifers.
Key words: Heifers, sugar cane, molasses, economy, feeding.

INTRODUCCIÓN

En las condiciones actuales en donde el alto precio de los insumos (cereales y pastas proteícas) encarecen los sistemas de alimentación, los subproductos agrícolas y agroindustriales son una alternativa importante para hacer competitiva la ganadería bovina. En este contexto, la caña de azúcar puede desempeñar un papel fundamental como forraje en la alimentación animal, obtenido como residuo del proceso de la zafra ó en el empleo de suplementos activadores de rumen basados en melaza, como posibles soluciones para el desarrollo de reemplazos lecheros.

En este contexto, la recría es un componente vital de las explotaciones lecheras modernas, al proporcionar un abasto consistente y económico de reemplazos de alta calidad al hato, con la implementación de sistemas de crianza eficientes tanto en nutrición como en sanidad, que garanticen este objetivo adecuándolos a la región, rancho o finca en especial (Olguín y Bernal, 2000).

La crianza de hembras de reemplazo según mencionó Báez y otros (2000), debe estar enfocada a la obtención de una vaca que cumpla con todas las características de la raza, en tipo y producción; basándose en un programa económico, sustentable y eficiente de selección genética. En esta etapa el desarrollo del rumen esta determinado por los procesos digestivos que pasan de depender de las enzimas producidas por el animal, a la relación simbiótica que se establece con los microorganismos ruminales (Ghezzi y otros, 2000). Por ello, la alimentación de las becerras posterior al destete, tiene como prioridad lograr un buen desarrollo esquelético del animal y obtener una tasa de crecimiento acorde para obtener la pubertad y posteriormente su primera gestación (Llamas, 1997).

A pesar de la importancia del desarrollo de reemplazos en nuestro país, es una etapa olvidada en los sistemas de producción lechera, en este sentido sobresale el análisis económico de Báez y otros (2000), quienes mencionaron la ventaja de producir estos animales en el país. De ahí que sea necesario utilizar estrategias de alimentación que permitan optimizar los recursos locales y promover una mayor eficiencia de este proceso. En este sentido la caña de azúcar en forma de ensilado puede ser una opción, debido a su persistencia, amplia distribución en las zonas tropicales y subtropicales, así como por una elevada producción de biomasa (García y otros 1997), la cual, puede ser incorporada a la alimentación de rumiantes después de haber sufrido algún percance; quemada, estresada por heladas o por frío. Aunque es necesario una suplementación apropiada para mejorar su utilización (Martín, 1997), por ello diferentes autores, entre ellos (Muñoz y otros 1986) y (Palma y Rodríguez, 2001), propusieron suplementos de lento consumo con aportes adecuados de nitrógeno, lípidos y minerales para corregir sus limitantes.

Cabe mencionar que la alimentación es el rubro que mayor costo tiene en la producción de vaquillas de reemplazo, el cual, llega a significar el 64%, con un costo promedio de producción de $1,019.20 dólares, con valores de $798.18 a $1,137.92 dólares como valores mínimo y máximo, respectivamente en los USA (Gabler y otros 2000), país del cual, México importa esta categoría de animales.

Por lo tanto, es necesario diseñar sistemas de alimentación que hagan más competitiva a la industria lechera, para que provea de sus reemplazos a precios competitivos, mediante la sustitución de esquemas tradicionales por nuevas opciones que permitan mejorar los costos de producción. Dentro de los sistemas tradicionales de producción intensiva de leche de la región, es comúnmente utilizado el ensilado de maíz, estrategia también empleada en el desarrollo de reemplazos de ganado Holstein, sin embargo, dada la producción, la siembra anual y los costos generados por ello, pueden impactar desfavorablemente en obtener una mayor rentabilidad.

Por lo anterior y por la falta de información referente al desarrollo de vaquillas Holstein - Fresian futuros reemplazo de animales en producción y su desarrollo con recursos forrajeros y alimentos locales en nuestro país (México), se propuso este tipo de trabajos, en donde además existe un vacío de información pues no se considera toda la etapa productiva, sino que se estudia en forma parcial el desarrollo de los animales.

Motivo por el cual, evaluar la caña de azúcar y sus subproductos en la producción de hembras bovino de reemplazo, para lo cual, se utilizo un sistema de alimentación basado en ensilado de caña de azúcar y se comparo con otro de ensilado de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

La fase experimental se realizo en el Rancho Agropecuario "DOS PIVOTES" dedicado a la producción de leche y pie de cría (vaquillas para reemplazo y sementales), y producción de caña de azúcar para la industria. El rancho se ubica al Suroeste del Municipio de Zapotlán El Grande, del Estado de Jalisco, México; con coordenadas geográficas de 19° 27' 13" de latitud norte y meridianos 103° 27' 57" de longitud oeste, con una altitud de 1,520 metros. El clima es semicalido, con una precipitación pluvial anual de 732 mm distribuidos en los meses de Junio a Septiembre, lluvias invernales o cabañuelas de manera ocasional. Su temperatura media es de 20.2°C (INEGI, 2001).

Animales y manejo sanitario

Se utilizaron 30 becerras de la raza Holstein-Friesian con una edad inicial promedio de 80±16 días de edad y peso vivo en promedio de 79.5 ± 12.9 kg, se finalizo el trabajo con 28 becerras, pues se eliminaron dos por problemas respiratorios. Cada 30 días se midió el peso corporal CP (kg), El pesaje de las vaquillas se llevo a cabo mediante la medición del perímetro toráxico con cinta graduada en centímetros y empleo de la tabla de conversión para peso vivo (Menéndez-Buxadera y otros 1987), la altura a la cruz AC (cm), con una regla vertical metálica de 1.5 metros y una escuadra deslizable del mismo material, la condición corporal CC escala de 1 a 5 (Kertz, y otros 1997), la ganancia diaria de peso GDP (Kg), el consumo de forraje (CF), de suplemento (CS), así como el costo diario de alimentación por día (CDA), costo por etapa y total de la vaquilla de reemplazo, durante un periodo de 470 días. Los animales fueron desparasitados con ivermectina (Dectomax^{R}). A los tres meses de edad se aplico la bacterina Brucel^{R} RB51-PLUS contra brucella y revacunación un mes después. Entre cuatro y cinco meses de edad se aplico la vacuna contra complejo respiratorio (Express^{R} 10 HS), Pasterella (One-Shot^{R}) y clostridium (Barvac^{R} 10).

Sistema de alimentación

Las becerras fueron manejadas en seis lotes distribuidas al azar; en donde se propuso una relación de forraje:suplemento, base seca (70:30%) y se calculó el consumo a razón del 3% de su peso corporal en materia seca. El tratamiento control fue el sistema de alimentación tradicional del Rancho con base en ensilado de maíz (*Zea mays*), rastrojo de maíz, heno de pasto rhodes (*Chloris gayana*), concentrado comercial al 16.5% de proteína mediante una ración integral y el experimental con ensilado de caña de azúcar (*Saccharum officinarumm*) y un suplemento activador del rumen (SAR) en forma separada del forraje (Tabla I). Los alimentos utilizados fueron analizados mediante su composición bromatológica (AOAC, 2003). Para el cálculo de la energía metabolizable se utilizó la formula: 1.81+ 0.064 X % Proteína Bruta = Mcal EM/kg MS (Martín y Palma, 1999).

Tabla I. Composición porcentual del suplemento activador del rumen en forma de materia seca.

Ingrediente	% MS
Cal	4.40
Cemento	1.10
Harina de alfalfa	14.90
Pasta de Soya	9.90
Sulfato de amonio	0.40
Urea	4.40
Harinolina	5.02
Maíz molido	17.20
Melaza	21.10
Harina de pescado	4.10
Enertrouw*	11.00
Ganafos recría**	4.40
Sal común	1.70
EM (Mcal/Kg MS)	2.60
Costo ($)	2.80

*Grasa de sobrepaso
**Minerales

Manejo reproductivo

A partir de los nueve meses de edad de las becerras, fueron observadas durante varias fases del día (mañana, medio día, tarde y noche) con el fin de monitorear señales de inicio de actividad sexual (pubertad). Además, la pubertad (Osnaya, 2000) fue confirmada con presencia de estructuras ováricas, mediante el examen tocológico de los ovarios, el cual se realizo cada 14 días hasta el primer servicio, Las becerras recibieron el primer servicio (inseminación) entre los 420 y 450 días de edad y se diagnosticó gestación a los 35 días después del servicio.

Etapas
La medición se realizó por etapas de acuerdo a la edad de las becerras, las cuales son:

1. Destete a pubertad
2. De la pubertad al diagnóstico de gestación

Análisis estadístico

Para el análisis de datos se utilizo, un análisis de varianza para un diseño en bloques al azar y prueba de Tukey para diferencia múltiple de medias ($P<0.05$), así como análisis de regresión lineal simple para peso y altura según edad, mediante el paquete estadístico Statistix for Windows (1998).

RESULTADOS

En la tabla siguiente, se anotan los valores promedios de los alimentos en cuanto a su composición bromatológica y otros valores característicos de los alimentos ensilados como pH.

Tabla II. Valor bromatológico de los ingredientes utilizados en raciones para el desarrollo de vaquillas Holstein-Friesian para reemplazo (13 muestras).

Ingrediente	Ensilado de caña	Ensilado de maíz	SAR	Concentrado comercial	Rastrojo de maíz	Heno de rhodes
Humedad (%)	71.63	72.00	10.00	12.00	6.00	7.50
Materia seca (%)	28.37	28.00	90.00	88.00	94.00	92.50
Proteína cruda (%)	8.73	8.54	27.20	16.50	4.50	2.70
NNP (%)	1.13	0.99	2.96	0.80	0.00	6.09
FDN (%)	61.63	67.25	0.00	0.00	76.00	82.39
FDA (%)	47.25	43.17	0.00	0.00	51.02	57.32
PH	4.07	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00
EM	2.04	2.30	2.30	2.50	1.90	1.80

NNP = Nitrógeno No Proteico
FDN = Fibra detergente neutra
FDA = Fibra detergente ácida
pH = potencial de hidrogeniones
EM = Energía metabolizable Mcal/kg
SAR = Suplemento activador del rumen

En la tabla III, se muestran los resultados productivos y económicos en la obtención de reemplazos Holstein, en donde al final del experimento la condición corporal (CC) y el costo de alimentación por día tuvieron efecto estadístico significativo ($P<0.001$), el resto de las variables no fueron estadísticamente significativas ($P>0.05$). La CC fue mejor para el sistema con ensilado de maíz, pero el costo de alimentación, para el sistema basado en ensilado de caña de azúcar fue más barato.

Tabla III. Resumen del comportamiento productivo en promedio de diferentes variables en becerras Holstein-Friesian en dos sistemas de alimentación hasta pubertad.

	E. caña	E. maíz	EEM	P
Número de becerras	14	14		
Edad inicial (días)	81.2	79.3	4.481	0.672
Edad final (días)	471.2	469.3	4.481	0.672
PV inicial (kg)	78.75	80.17	4.885	0.774
PV final (kg)	337.87	366.52	20.154	0.168
Altura inicial (cm)	88.35	87.52	1.526	0.594
Altura final (cm)	126.57	128.52	1.878	0.195
CC inicial	2.92	2.30	0.068	0.862
CC final	3.12b	3.66a	0.086	0.001
GDP (kg)	0.666	0.743	0.098	0.250
Costo de alimentación / día ($)	9.39a	11.43b	0.195	0.001

a, b = Literal distinta en fila significa diferencia estadística ($P<0.05$) Prueba de Tuckey
EEM = Error estándar de la media
CC = Condición corporal (escala 1 al 5)
PV = Peso vivo
P = Valor de probabilidad
GDP = Ganancia Diaria de Peso

El consumo por fase y sistema de alimentación se describe en la tabla IV, se observó un mayor consumo de la estrategia que consideraba al ensilado de maíz, en las diferentes formas de expresión de consumo, en ambas etapas, efecto manifestado en un 20% mayor comparado con el ensilado de maíz. Los animales jóvenes tuvieron un menor consumo del forraje, el cual, se incremento en la medida que el animal creció. En ambas etapas la conversión alimenticia fue mejor para la estrategia de ensilado de caña.

Tabla IV. Composición en kg y porcentual de la ración expresada como materia seca, para becerras en desarrollo por fase de crecimiento

Periodo (días)	Estrategia de alimentación basada en ensilado de							
	Caña de azúcar				Maíz			
	80 - 350		351 - 470		80 – 350		351 - 470	
	MS	%	MS	%	MS	%	MS	%
Ensilado de caña	2.3	56.0	4.1	70.0				
SAR	1.8	44.0	1.8	30.0				
Ensilado de maíz					3.2	59.3	5.3	64.6
Rastrojo de maíz					0.2	3.8	0.5	6.1
Heno pasto rodees					0.3	5.5	1.1	13.5
Concentrado comercial					1.7	31.4	1.3	15.8
Consumo total	4.1	100.0	5.9	100.0	5.4	100.0	8.2	100.0

SAR = Suplemento Activador Ruminal

En el tabla V, se expresa el consumo de materia seca en diferentes forma, así como la conversión alimentica por etapa de desarrollo de las hembras de reemplazo, en la primer etapa del destete a la pubertad no existió diferencia en las variables evaluadas en ambas estrategia de alimentación. Sin en cambio en la segunda etapa, los mayores de consumo se obtuvieron en el sistema basado en ensilado de maíz, aunque esto genero una peor conversión alimenticia.

Tabla V. Valores de consumo y conversión alimenticia por etapa productiva en hembras bovinas de reemplazo

	Estrategia de alimentación basada en ensilado de		EEM	P
	Caña de azúcar	Maíz		
Etapa 80-350 días				
Consumo g MS/kg. $PV^{0.75}$	81.0	97.6	3.060	0.079
Índice de Consumo (%)	2.3	3.4	0.267	0.078
Conversión alimenticia	6.2	6.8	0.205	0.086
Etapa 351- 470 días				
Consumo g MS/kg. $PV^{0.75}$	86.8b	108.7a	1.172	0.001
Índice de Consumo (%)	1.9b	4.8a	0.642	0.001
Conversión alimenticia	8.7b	12.9a	0.161	0.001

a, b = Literal distinta en fila significa diferencia estadística ($P<0.05$) Prueba de Tuckey
g MS/kg. $PV^{.75}$ = gramos de materia seca por kilo de peso metabólico
EEM = Error estándar de la media
P = Valor de probabilidad

En la evaluación económica de los sistemas de alimentación estudiados por etapas, resulto mejor el ensilado de caña, al obtenerse un menor costo en todas las fases estudiadas, la diferencia obtenida al final del trabajo fue equivalente a $1,164.88 (Tabla VI), con una diferencia de 1,117.02 por concepto del sistema de alimentación (Tabla VII).

Tabla VI. Costo general por etapa según estrategia de alimentación en la obtención de hembras bovinas de reemplazo

		Estrategia de alimentación basada en ensilado de	
Etapa	Periodo (días)	Caña de azúcar	Maíz
Becerra al nacer ($)		1,000.00	1,000.00
Lactancia – Destete ($)	0 – 60	1,287.86	1,434.52
Destete – Pubertad ($)	61 – 347	3,387.49	3,912.01
Pubertad – Gestación ($)	348 – 470	1,788.97	2,245.44
Subtotal ($)		7,464.32	8,591.97
Mortalidad 3.3% ($)		246.32	283.55
Total ($)		7,710.64	8,875.52

Tabla VII. Costo de alimentación por etapa según estrategia de alimentación en la obtención de hembras bovinas de reemplazo

		Estrategia de alimentación basada en ensilado de	
Etapa	Periodo (días)	Caña de azúcar	Maíz
Lactancia – Destete ($)	0 – 60	814.27	950.66
Destete – Pubertad ($)	61 – 347	2831.54	3355.70
Pubertad – Gestación ($)	348 – 470	1499.03	1955.50
Total ($)		5144.84	6261.86

En la figura 1, se indican los diferentes rubros considerados en la producción de vaquillas Holstein de reemplazo, en donde destaca que la alimentación significó del 67 al 71% de los costos totales, para el sistema basado en ensilado de caña de azúcar y de ensilado de maíz, respectivamente.

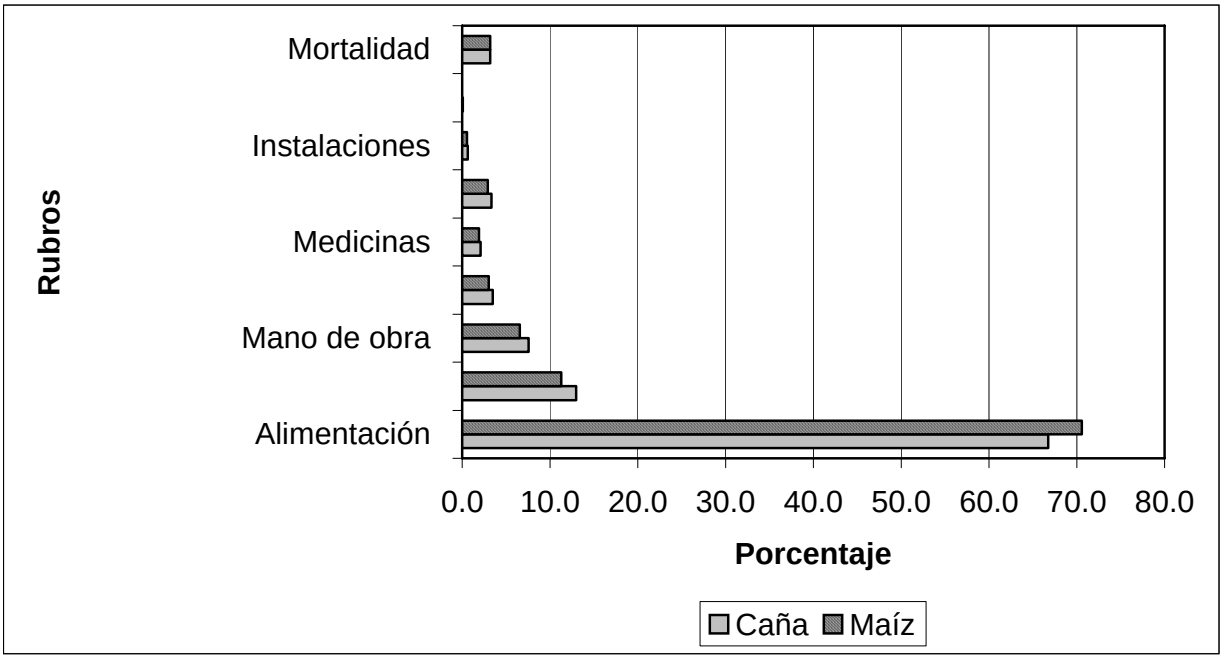


Figura 1. Costo de diferentes rubros expresados en porcentaje para la producción de hembras bovino de reemplazo

DISCUSIÓN

La utilización de ensilado de caña más un suplemento estratégico hizo posible obtener un esquema económicamente competitivo en el desarrollo de becerras futuros reemplazos en la ganadería lechera, comparado con la alimentación tradicional de ensilado de maíz. Aún considerando que al final de la observación (470 días), el sistema basado en ensilado de maíz fue superior en AC y CC, estos resultados pueden ser atribuidos a la calidad de la ración base, pues el valor de energía calculado para el ensilado de caña resulto inferior al compararlo con ensilado de maíz y con un mayor contenido de la fracción fibra detergente ácido, que haría menos disponible la fibra consumida, además de un mayor consumo, pues fue superior en 1.6 kg de materia seca por día. Por otra parte, desde la óptica del cultivo de la caña de azúcar dada su perennidad y rendimiento de biomasa, permitirá incrementar el número de becerras a desarrollar con ensilado de caña.

En el aspecto productivo ambas estrategias se ubican en las recomendaciones de diferentes autores de no sobrepasar ganancias de peso de entre 0.700 a 0.800 kg/día en la etapa prepuber (Gabler y Heinrichs, 2003; Sejrsen y Purup, 1997;; Vetharaniam y otros 2003), asimismo semejantes al rango obtenido por Knutson y otros. (1996), con GDP de 0.675 a 0.810 kg/día. Con ello se evitaría el efecto negativo que en animales prepúberes pueden tener altos niveles nutricionales sobre el desarrollo de la glándula mamaria (engrasamiento) y consecuentemente sobre la producción láctea (Sejrsen y otros, 1982; Ellis *y* otros 2000*)*. Sin embargo, con el ensilado de maíz la mejora en la condición corporal posiblemente se atribuya a un mayor engrasamiento, pues resulto en 27% superior al del sistema con ensilado de caña de azúcar y el tratamiento basado en ensilado de maíz fue superior a las recomendaciones de Hoffman (1997), pues lo indicado por este autor fue de 2.4 a los siete meses de edad, de 2.8 a los 11 y 3.0 a los 16 meses, comparada con 2.9, 3.3 y 3.6 para el sistema basado en EM, y de 2.6, 2.6 y 3.1 para ECA respectivamente. En este contexto, puede explicarse por lo expuesto por Kalscheur y García (2004), quienes señalaron que la energía suministrada en exceso de los requerimientos impactó mayoritariamente la condición corporal.

Por otra parte, en México se han informado algunos resultados en el desarrollo de reemplazos para ganado Holstein, entre ellos el trabajo de Osnaya (2000), en el estado de México área templada del país, en donde se consideraron tres estrategias de alimentación; pastoreo, pastoreo más suplementación y sistema intensivo, las GDP se ubicaron en 0.508, 0.694 y 0.560 kg, respectivamente. Asimismo, el comportamiento informado por Medina y Montaldo (2002), en el Altiplano Central de México, quienes encontraron GDP de 0.696 ± 0.109 kg, ambos trabajos en etapas similares al del presente estudio. Estos resultados se asemejan a los obtenidos con ensilado de caña de azúcar, aunque la diferencia observada para los máximos resultados de los autores citados puede ser atribuible al ambiente templado comparado con el subtropical en donde se desarrollo el trabajo y menores a los obtenidos con la estrategia de ensilado de maíz. Por otro lado, en sistemas campesinos del estado de México basando la estrategia en ensilado de maíz, pastoreo de rastrojo y/o de pastos nativos indicaron resultados en ganancia diaria de peso de 0.252 a 0.511kg (Arriaga-Jordán y otros 2003), diferente a lo obtenido por Arana y Gutiérrez (2003), quienes obtuvieron GDP de 0.546 y 0.489 kg/día en vaquillas Holstein alimentadas con heno de alfalfa y bloques multinutricionales con y sin urea respectivamente, en clima templado, resultados por abajo de los encontrados con ambos sistemas utilizados en esta investigación.

En este sentido, cuando se compararon los resultados del sistema de ensilado de caña con trabajos de pasturas tropicales, resultaron con mayores ganancias a los indicados por Plaza y otros. (2000), pues estos autores encontraron rangos de GDP de 0.496 a 0.563 kg/día para la época de lluvias y de 0.395 a 0.455 kg/día en la época seca, al utilizar pasto bermuda (*Cynodon dactylon* var. 68) con becerras Holstein de 90 días de edad y 88 kg de peso vivo de manera inicial. De forma parecida, el trabajo de Zamora y otros. (2000), en pastoreo de estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y suplementación obtuvieron GDP de 0.584 kg/día en esta fase del desarrollo de becerras Holstein. En este contexto, resulta atractiva la posibilidad de implementar la alimentación con ensilado de la caña en animales en crecimiento, puesto que tendría un mayor impacto en el periodo de sequía, con el uso de suplementos activadores del rumen basados en melaza.

El costo total de los reemplazos depende de dos factores; los costos directos asociados con el crecimiento de las vaquillas y con el número vaquillas en desarrollo. En este contexto, los costos incluyen la alimentación, mano de obra, reproducción, sanidad, uso de instalaciones y otros factores que pueden directamente influir sobre el costo de las vaquillas en el hato. El costo de la crianza de las vaquillas depende de la velocidad de crecimiento, asociada con la alimentación, en donde se incluye la relación de forrajes y suplementos, así como el costo de cada ingrediente. Situación que discutió Tozer (2000), quién señaló que de los costos variables como la mano de obra y el uso de instalaciones se puede disminuir al acortar los periodos de estancia por etapa, situación similar puede ser pensarse con el crecimiento de las vaquillas, sin embargo, un rápido crecimiento puede afectar negativamente el rendimiento futuro.

Es conocido que el costo de alimentación es el rubro de mayor impacto en la producción de vaquillas de reemplazo, en este trabajo no fue la excepción pues se ubico para el ensilado de maíz en 70.6% y 66.7% para el sistema de ensilado de caña de azúcar, valores bajos comparados con los obtenidos por Báez y otros (2000) quienes para sus condiciones encontraron 74.9%, aunque Gabler y otros (2000), en USA indicó 64%.

El sistema con ensilado de caña de azúcar generó una propuesta que resulto en 13% más barata comparada con aquella de ensilado de maíz, en donde la alimentación determino esta diferencia, pues significo un ahorro desde 16.8% al destete, 18.% hasta pubertad y de 30.% en la etapa de gestación, lo cual, por concepto de alimentación en lo general resultó en 21.% más barato comparado con la estrategia basada en ensilado de maíz.

En cuanto al costo por día, el valor más alto se obtuvo en la primer etapa del nacimiento al destete, periodo de mayor inversión para el desarrollo de reemplazo, fenómeno similar al discutido por Gabler y otros (2000), situación debida fundamentalmente a la alimentación y la mano de obra, en donde el costo del sustituto lechero implica un alto costo y la atención casi personalizada demanda una mayor cantidad de mano de obra, fenómeno parecido a lo modelado por Tozer y Heinrichs (2001).

El costo general por día fue de $14.38 y $ 16.55 pesos para el sistema de ensilado de caña y ensilado de maíz, respectivamente, los cuales se traducirían en $ 1.36 y 1.56 dólares, aunque diferente a lo encontrado en los USA por diferentes autores que consideran valores de $ 1.49 dólar (Gabler y otros 2000) o de $1.52 dólar/día (Wolf, 2003). En donde la estrategia con ensilado de caña, resultaría en un ahorro del 8.7% a 10.5%, implicando con ello ventajas económicas favorables por la estrategia utilizada.

Con base en lo anterior, la utilización de ensilado de caña más la suplementación estratégica utilizada, permitió obtener un esquema económicamente competitivo al compararlo con el uso del sistema basado en ensilado de maíz para el desarrollo de los futuros reemplazos en la ganadería lechera de la región. Con ello fue posible obtener un ahorro por animal de $1047.57 pesos M/N, esto significa que por cada cien animales alimentados con ensilado de maíz, se pudieran criar 15 animales adicionales con ensilado de caña.

Asimismo, desde la óptica del cultivo de la caña de azúcar dada la perennidad del mismo y del rendimiento de biomasa, el sistema permiten incrementar el número de becerras a desarrollar con ensilado de caña de azúcar, esto significa una estrategia de intensificación de la ganadería lechera. En este sentido, las características particulares de la región donde se realizó la investigación es posible obtener rendimientos de biomasa en condiciones de temporal del cultivo de caña de azúcar de 100 t/ha y en el cultivo de maíz de 30 t/ha (base húmeda); los rendimientos de biomasa con riego son de 180 y 50 t/ha (base húmeda) para caña y maíz, respectivamente. Por lo tanto, de acuerdo a los consumos obtenidos de 2.8 kg de materia seca promedio por animal en el sistema con ensilado de caña de azúcar y de 3.6kg de materia seca para el sistema de ensilado de maíz, la superficie de terreno necesaria para la producción de ensilado de caña de azúcar de temporal sería de 0.5 ha y de riego 0.3 ha, comparado con el maíz de 1.6 y 1.0 ha respectivamente. En este sentido, la capacidad de carga animal con el forraje de caña de azúcar de temporal sería de 27.3 y de riego, de 49.3 animales/ha en 390 días; con cultivo de maíz sería de 6.3 y 10.5 animales/ha, respectivamente, lo cual, implicaría obtener una estrategia económicamente competitiva.

Por otra parte, dada la calidad genética del ganado y del manejo implementado, implicaría un ahorro por la compra de vaquillas de reemplazo en el extranjero de un 46 a 53% de acuerdo a un precio de $15,000.00 por animal. Similar situación encontró Baez y otros (2000), quien encontró un ahorro de 52.5% al estudiar el desarrollo de vaquillas en 60 hatos en el estado de Querétaro.

Al considerar que estos tuvieran un precio en promedio a los 16 meses de $ 1,200.00 dólares ($10.60) provenientes de ganado de Estados Unidos o Canadá, este valor se modificaría en dependencia del costo del dinero y de las condiciones de importación. Aunque existen restricciones actuales de importación de ganado debido a problemas sanitarios, fundamentalmente a la presencia de encefalopatía espongiforme bovina. Este planteamiento permite a los ganaderos del país tener un área de oportunidad para la crianza de sus propios reemplazos e inclusive para su venta, con una ganancia alta para el sistema.

CONCLUSIONES

El uso de caña de azúcar y de sus subproductos mediante la estrategia de ensilado de caña de azúcar más un suplemento estratégico (SAR) hizo posible obtener un esquema biológica y económicamente competitivo para el desarrollo de becerras futuros reemplazos en la ganadería lechera comparado con el sistema basado en ensilado de maíz.El sistema con base en ensilado de maíz produce una mayor condición corporal, relacionada con un engrasamiento afectando con ello la eficiencia reproductiva.

LITERATURA CITADA

- Arana,S. J., Gutiérrez, V. E. (2003). http://www.ammveb.net/BIBLIOTECA/congreso/XXVIII%20CNB/memorias/nutricion/nut17.htm (consultado el 28 de agosto de 2008).
- AOAC. (2003). 17th Edition current through 2nd Revition.ED. Association of Official Analytical Chemists, Washington D. C., U. S. A. 600 pp.
- Arriaga-Jordán, C.M.; García-Martínez, A.; Albarrán-Portillo, B.; Espinoza-Ortega, A., Castelán-Ortega, O.A. (2003). Tropical Animal Health and Production. 35, 259-269.
- Báez, D. S.; Fierro, C. M., Ingalls, H. F. (2001). http://www.congresocbta.unam.mx/PA17.htm (Consultado el 30 de noviembre de 2007)
- Ellis, S.; Purup, S.; Sejrsen, K., Akers, R. M. (2000). Journal Dairy Science. 83, 952-961.
- Gabler, M. T.; Tozer, P.R. and Heinrichs, A. J. (2000). J. Dairy Sci. 83, 1104-1109.
- Gabler, M. T. and Heinrichs, A. J. (2003). Journal Dairy Science. 86, 268-274.
- García, H. L. A. (1996). U. S. Dairy Export Council. Universidad Autónoma Metropolitana. México. pp 161.
- Ghezzi, M. D.; Lupidio, M. C.; Castro, A. C.; Gómez, S. A.; Bilbao, G. N. y Landi, H. G. (2000). Rev. Chilena de anatomía. 18 (1)
- Heinrichs, A.J. and L. A. Swartz. (1990). Pennsylvania State Univ. Ext. Circ. 385, University Park.
- Hoffman, P.C. (1997). Journal Animal Science. 75:836-845
- INEGI. (2001). Anuario estadístico del estado de Jalisco. México. pp 5.
- Kalscheur, K. F. and García, A. D. (2004). Dairy Science Departament. http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4030s.pdf (consultado el 5 de diciembre de 2007).
- Kertz, A. F.; Prewitt, L. R., Ballam, J. M. (1997). Journal Dairy Science. 70, 1612-1618.
- Knutson, R. J.; Allrich, D., Cunningham, M. D. (1996). Department of Animal Sciences, Purdue University.
- Martín, P. C. (1997). Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 31, 237-243.
- Martín, P. C., Palma, J. M. (1999). AgroSystems Editing, Colima, Col., México. pp 120.

- Medina, C. M., Montaldo, V. H. (2002). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, DF.
- Menéndez-Buxadera, A.; Pérez, B.; Penichet, A. ; Varela, O. ; Herrera, R. : Fernández, M., Rodríguez, M.(1987). Estimación del peso vivo. Re. Asociación de Producción Animal. 2, 31-38.
- Muñoz, E.; Elías, A. Suárez, J de D. (1986). Rev. Cubana Ciencia Agric. 20, 137-142.
- Olguin y Bernal, F. A. (2000). Memorias del XXIV Congreso Nacional de Buiatria. Guadalajara Jal. México. Junio de 2000. pp 81-93.
- Osnaya, G. F. (2000). Tesis de doctorado. FMVZ. Universidad de Colima. Colima, Col., México.
- Palma, J. M., Rodríguez, A. R. (2001). Memorias de la XVII Reunión Latinoamericana de Producción Animal. La Habana, Cuba. 19 – 23 noviembre 2001.
- Plaza, J.; Matinez, X.; Ybalmea, R., Enriquez, V. (2000). Rev. Cubana Ciencia Agric. 34,303-308.
- Sejrsen, K.; Huber, J.; Tucker, H., Akers, R. (1982). Journal of Dairy Science. 43,389-395.
- Sejrsen, K., Purup, S. (1997). A review. Journal Animal Science. 75, 828-835.
- Tozer, P.R. (2000). J. Dairy Sci. 83,443-451.
- Tozer, P.R., Heinrichs, A.J. (2001). J. Dairy Sci. 84,1836-1844.
- Vetharaniam, I.; Davis, S. R., Upsdell, M. (2003). Journal Dairy Science. 86, 3148-3156.
- Wolf, C.A. (2003). J. Dairy Sci. 86: 3148-3156.
- Zamora, A., Plaza, J., Lara, A. (2000). Rev. Cubana Ciencia Agrícola. 34,119-124.

EVALUACIÓN ECONOMICA DE LA CEBA ESTABULADA VACUNA Y OVINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA EN LA EMPRESA COMANDANTE MANUEL FAJARDO DE LA HABANA

Pérez Díaz, D.; Bravo Pino, C.A.; Aguilera Barroso, L.; Rodríguez Baluja, Y.; Islén Limonta P.R.

UIP de la Celulosa del Bagazo Cuba 9; Quivicán, La Habana; sadc9@enet.cu

RESUMEN

En este trabajo se presenta una evaluación económica que contempla la inversión y aplicación de la ceba estabulada vacuna y ovina a partir de residuos de la agroindustria azucarera en la Empresa azucarera Manuel Fajardo.

En este análisis se ha tomado en cuenta la alimentación y manejo de 100 bovinos y 40 ovinos que serán adquiridos con un peso promedio de 200 y 13 kg respectivamente. Como resultado, al término de un año, estos animales podrán ser comercializados obteniéndose 47 toneladas de carne, que representan un ingreso anual de 67.2 MCUC.

Se realiza además una evaluación financiera que tiene en cuenta los requerimientos de la inversión, con un análisis de costo beneficio que incluye los servicios de la deuda, considerando toda la inversión como un préstamo bancario.

Se presentan los flujos de caja correspondientes, las fichas de costo y un análisis comparativo que tiene en cuenta el análisis preliminar y los gastos reales luego de 6 meses de explotación de este proyecto en ambas monedas.

Palabras clave: ceba, viabilidad económica, ingresos, flujo de caja

ABSTRACT

In this work an economic evaluation is presented that contemplates the investment and application of bovine and sheep it feeds from residuals of the sugar agroindustry in the sugar company Manuel Fajardo.

In this analysis has taken into account the feeding and handling of 100 bovine and 40 sheep that will be acquired respectively with a weigh average of 200 and 13 kg. As a result, at the end of one year, these animals will be able to be marketed being obtained 47 tons of meat that represent a gross profit of 67.2 MCUC.
Also carried out a financial evaluation that keeps in mind the requirements of the investment, with an analysis of cost benefit that includes the services of the debt, considering the whole investment like a bank loan.

The flows cash of corresponding box, the cost records and a comparative analysis are presented that has in bill the preliminary analysis and the real expenses after 6 months of exploitation of this project in both currencies.

Key words: it feeds, economic viability, gross profit, cash flow

INTRODUCCIÓN

Como parte del Programa de Desarrollo Agropecuario cobra particular importancia la producción de alimentos que garanticen cubrir las necesidades del pueblo, particularmente en los renglones de carne y leche, lo cual se proyecta con el desarrollo de ganado vacuno y ovino a partir fundamentalmente de fuentes de alimentos nacionales que eviten erogaciones de significación en los granos y cereales que en la actualidad alcanzan precios insostenibles.

El MINAZ a partir de su reestructuración y las nuevas misiones y objeto social aprobado, tiene entre sus tareas priorizadas el desarrollo agropecuario del sector e incrementar la producción de carne y leche con destino a la alimentación del pueblo, potenciando el mayor aprovechamiento de sus áreas, instalaciones y subproductos de la agroindustria.

Para estos fines se creo el GRUPO NACIONAL DE ALIMENTO ANIMAL, con la tarea de desarrollar proyectos que den respuesta a estos propósitos. Uno de los proyectos propuestos se desarrolló en la Empresa Azucarera Manuel Fajardo de la Habana.

El objetivo de este trabajo es evaluar la factibilidad económico y financiera de la ceba estabulada de toros y ovinos en la Empresa Comandante Manuel Fajardo de la Habana, a partir de fuentes de alimentos de la agroindustria azucarera con alta eficiencia en su manejo y tecnología. Está prevista una entrega anual de 45 t de carne vacuna y 2.5 t de carne ovina en pie, con ingresos anuales para la empresa de 436.5 MP y 89.6 MP respectivamente, a partir de la venta de 100 toretes y 80 ovinos como promedio anual.

Se realiza además un análisis comparativo entre los resultados esperados y los reales luego de 6 meses de explotación de esta inversión.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto tuvo en cuenta la construcción de las naves de estabulación de toros y ovinos, próximas al Centro de Acopio o Limpieza de caña, para aprovechar los residuos del mismo durante la Zafra, y complementar la alimentación con productos de la agroindustria como: la miel-urea, la miel-urea-bagacillo, forrajes, caña de azúcar y sales minerales. Además se incluye en el análisis la siembra de 5 ha de King Grass.

Se previó además en el análisis todo el sistema para el almacenaje y manejo de los alimentos, así como el trasiego de desperdicios sólidos y líquidos y un área para control veterinario.

En lo que adquisición de equipos se refiere se consideraron los siguientes:

1. Adquisición de planta Miel Urea Bagacillo.
2. Construcción de máquina pica paja para centro de acopio (2).
3. Adquisición de máquina cortadora de forraje con accionamiento por toma de fuerza del tractor (1).
4. Adquisición de Molino para forraje pequeño (1).

5. Adquisición de sistema de riego para finca de forraje y electrificación de una fuente de abasto (1).
6. Adquisición de molino de viento para abasto de agua de los animales (3).

Con todas estas consideraciones se obtuvo el Presupuesto de la Inversión para ambos sistemas de ceba, en Moneda Total y CUC.

Tabla I Presupuesto de Inversión para Ceba estabulada Bovina

UM: MILES			
	COSTO DE INVERSIÓN		
Concepto	**TOTAL**	**MN**	**CUC**
Equipos	27,1	21,1	6,0
Construcción y montaje	40,3	39,6	0,7
Otros	1,8	1,8	0,0
Total inversiones fijas	**69,2**	**62,5**	**6,7**
Gastos previos a la explotación	8,2	6,9	1,3
Capital de Trabajo	38,6	33,4	5,2
Costo de inversión en activos fijos	**116,0**	**95,9**	**13,2**

Tabla II Presupuesto de Inversión para Ceba estabulada Ovina

UM: MILES			
	COSTO DE INVERSIÓN		
Concepto	**TOTAL**	**MN**	**CUC**
Equipos	13.2	9.5	3.7
Construcción y montaje	18.9	17.1	1.8
Otros	2.8	2.8	0.0
Total inversiones fijas	**34.9**	**29.4**	**5.5**
Gastos previos a la explotación	2.9		0.7
Capital de Trabajo	6.2	5.3	0.9
Costo de inversión en activos fijos	**44.0**	**34.7**	**7.1**

Para obtener los costos de aplicación de ambos sistemas se obtuvieron las fichas de costos con la utilización del software Excel de Windows. Estas fichas tuvieron en cuenta las raciones o dietas a ser suministradas a cada animal y por períodos. Los precios de las materias primas, en este caso se le denomina alimento, y servicios fueron suministrados por el Dpto. de Precios del MINAZ, debidamente actualizados y revisados. Las Tablas III y IV muestras las cantidades de alimentos por sistemas.

Tabla III. Necesidad y variantes de alimentos para la ceba de bovino estabulado.

Bovino Estabulado						
	zafra	no zafra				
		seca	Lluvia	total	total	total
	(e,f,m,a)	(m,j,n,d)	(j,a,s,o)	Kg MF	Kg MF/100	
Materias primas	Kg MF	Kg MF	Kg MF	/animal	animales	t MF/año
RCA (último ventilador)	15			15	1500	180
Miel final	1			1	100	12
Bagacillo Miel Urea	3			3	300	36
King grass (CT 169)		15		15	1500	180
King grass (CT 169)			40	40	4000	480
T0TAL King grass (CT 169)						660
Caña		15		15	1500	180
Miel final + urea 10% (voluntad)	1	1	1	1	100	36.5
Norgold	2	2	2	2	200	73
Sales Minerales	0.08	0.08	0.08	0.08	8	2.92

Tabla IV Necesidad y variantes de alimentos para la ceba de ovino estabulado.

Ovino Estabulado					
	zafra	no zafra	total	total	total
Materias primas	Kg MF	Kg MF	Kg MF/animal	Kg MF/40 animales	t MF/año
RCA	0.15		0.15	6	0.72
Miel final	0.2	0.2	0.2	8	2.92
King grass (CT 169)	0.7		0.7	28	3.36
King grass (CT 169)		2	2	80	19.2
TOTAL King grass					22.56
Norgold	0.55	0.55	0.55	22	8.03
Sales Minerales	0.04	0.04	0.04	1.6	0.584

En cuanto al resto de los elementos del costo se tuvo en cuenta lo siguiente:
Para los Gastos de Mantenimiento se aplicó un factor de 5% anual sobre los costos de inversión fijos y para la depreciación se aplicó un 6% anual sobre equipos y maquinarias y un 3% anual a edificaciones de acuerdo con lo establecido por el MEP. En cuanto a los gastos de salario se emplearan 4 obreros los que se ocuparán del corte del forraje y molida, servir los alimentos en las canoas y a la limpieza general de las naves (2 corraletas bovinos y 1 de ovinos).

Se les propone un ingreso mensual de 600.00 pesos. Se les pagará por el total de carne (vacuno y ovino) vendida al mercado al final del año a un precio de 0.26 centavos por kg, que representan un ingreso anual por trabajador de 12448.80 pesos a partir de 47880 kg (45000 kg de bovino y 2880 kg de ovino), de los cuales se descontarán los 72000.00 pesos ya ingresados mensualmente, obteniendo un pago adicional por

utilidad al final del ciclo de 5248.80 pesos. Esto representa un ingreso total mensual por trabajador de 1037,40 pesos.

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.

Se tomó un período de análisis de 5 años y la evaluación se realizó en moneda total y pesos convertibles. Se consideró el 5% de reserva para contingencias, según lo establecido por el Ministerio de Finanzas y Precio y el 35% de impuestos sobre las utilidades imponibles.

Se consideró un préstamo bancario suministrado por el Banco Central de Cuba, con las siguientes condiciones para la moneda nacional:

- Un 6 % de interés anual.
- Se reembolsará en 3 años.
- 1 año período de gracia.
- Tasa de actualización 6%

Para la moneda convertible se consideró un préstamo bancario suministrado por el Banco Central de Cuba, con las siguientes condiciones:

- Un 10 % de interés anual.
- Se reembolsará en 3 años.
- 1 año período de gracia.
- Tasa de actualización 10%

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron las fichas de costo para cada sistema en ambas monedas las cuales se muestran a continuación en las tablas V y VI.

Tabla V Ficha de costo por ciclo para ceba estabulada bovina.

Producto: Ceba estabulada Bovina **100** animales

Concepto	U.M	Indice de Consumo	Precio	De ello CUC	Costo: Total	De ello CUC
Materias primas y Materiales					122429,58	24989,68
Animales p/ceba (toretes 200 kg)	U	100	840,00	0,00	84000,00	0,00
Caña	T	165	27,80	5,41	4587,00	892,65
Medicamentos					687,50	550,00
Residuo de Centro Acopio	T	165	2,75	0,00	453,75	0,00
Miel final	T	33,8	66,65	6,06	2249,55	204,54
King grass	T	605,0	11,68	0,19	7066,40	114,95
Urea	T	3,3	303,20	291,70	1014,46	975,98
Norgold	T	66,9	323,85	323,85	21670,96	21670,96
Sales Minerales	T	2,7	200,00	160,00	535,33	428,27
Sulfato de amonio	T	0,6	256,56	237,41	164,63	152,34
Agua Cruda	T	4015	0,43	0,00	1744,00	0,00
Energía Eléctrica	Kwh				2750,00	2750,00
TOTAL GASTOS MATERIALES					126923,58	27739,68
Salario y Seguridad Social					42100,13	13893,04
GASTOS GENERALES					8378,10	2464,55
Mantenimiento y Reparación					3205,58	305,25
Otros Gastos					2315,51	764,12
Gastos de Dirección					1894,51	625,19
Gastos de Distrib. y Ventas					962,50	770,00
COSTOS DE PRODUCCION					177401,80	44097,28
Depreciación					6411,17	610,50
TOTAL COSTO DE PRODUCCION					183812,97	44707,78
			Producción (T) 45			
			Costo de producción por tonelada		3942,26	979,94
			Costo de producción total por tonelada		4084,73	993,51

Tabla VI Ficha de costo por ciclo para ceba estabulada ovina.

Producto: Ceba estabulada de ovino **UM: 40 animales**

Concepto	U.M	Indice de Consumo	Precio	de ello CUC	Costo: Total	De ello CUC
Materias primas y Materiales					8167.26	1198.31
Animales p/ceba (ovejas 13 kg)	U	40	169.00	0.00	6760.00	0.00
Medicamentos	T				83.33	66.67
Residuo del Centro Acopio	T	0.3	2.75	0.00	0.83	0.00
Sales Minerales	T	0.24	200.00	160.00	48.67	38.93
Miel final	T	1.2	66.65	6.06	81.09	7.37
King Grass	T	9.4	11.68	0.19	109.79	1.79
Norgold	T	3.3	323.85	323.85	1083.55	1083.55
Agua Cruda	T	152.08	0.43	0.00	66.06	0.00
Energía Eléctrica	Kwh				500.00	500.00
TOTAL GASTOS MATERIALES					8733.32	1698.31
Salario y Seguridad Social					6378.81	2105.01
GASTOS GENERALES					1765.17	638.42
Mantenimiento y Reparación					689.79	77.92
Otros Gastos					350.83	115.78
Gastos de Dirección					287.05	94.73
Gastos de Distrib. y Ventas					437.50	350.00
COSTOS DE PRODUCCION					16877.30	4441.73
Depreciación					1379.58	155.83
TOTAL COSTO DE PRODUCCION					18256.88	4597.56
			Producción (T)	1.28		
			Costo de producción por tonelada		13185.39	3470.10
			Costo de producción total por tonelada		14263.19	3591.85

Los costos obtenidos para cada sistema resultan adecuados o satisfactorios, si lo comparamos con otros sistemas similares ya implantados con buenos resultados y viables.

A continuación se realiza un balance de los resultados esperados para cada sistema y en ambas monedas, lo cual se muestra en las tablas VII y VIII.

Tabla VII Resultados esperados por ciclo de ceba (MT).

Concepto	U.M	Bobino	Ovino
Peso de Inicio a ceba	kg	200	13
Peso Final a sacrificio	kg	450	32
Ganancia Media Diaria	g/día	750	120
Tiempo de Ceba	día	330	150
Cantidad de animales/ceba	U	100	40
Costo de Producción / ceba	MP	177.4	16.88
Ingresos por venta / ceba	MP	436.5	44.8
Utilidades	MP	259.1	27.92
Costo / Peso de Venta		0.39	0.37
Costo / kg de carne	pesos	3.94	13.18
Ingreso / kg de carne	pesos	9.70	35.00
Costo / Beneficio		0.39	0.37

Tabla VIII Resultados esperados por ciclo de ceba (CUC)

Concepto	U.M	Bovino	Ovino
Costo de Producción / ceba	MCUC	44.09	4.44
Ingresos por venta / ceba	MCUC	54.9	6.14
Utilidades	MCUC	10.81	1.68
Costo / Peso de Venta		0.8	0.73
Costo / kg de carne	CUC	0.98	3.47
Ingreso / kg de carne	CUC	1.22	4.8
Costo / Beneficio		0.8	0.73

De estos resultados se espera una utilidad anual para el proyecto de 314.94 Miles de pesos y 21.62 Miles de CUC, teniendo en cuenta que en un año se realiza un ciclo de ceba bovina y dos ciclos de ceba ovina.

Finalmente se realizó el análisis financiero el cual nos permite tomar decisiones acerca de la viabilidad económica del mismo, el cual requiere un capital inicial bajo representando su implantación un aporte de gran valor tanto económico como social para el país. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla IX.

Tabla IX Análisis Financiero

INDICADORES	Bovino		Ovino	
	MT	CUC	MT	CUC
VAN (Miles)	509.0	10.1	112.8	2.5
PRI (años)	1.01	2.7	1.52	3.42

A continuación se presentan los Flujos de Caja en Miles para cada sistema en ambas monedas en las tablas X, XI, XII, XIII.

Tabla X Flujo de caja para la planificación financiera en moneda total para la ceba estabulada bovina

CONCEPTO	TOTALES	1	2	3	4	5	6
A. ENTRADAS DE EFECTIVOS	**2,298.5**	552.5	436.5	436.5	436.5	436.5	
- Recursos financieros	**116.0**	116.0					
..Capital Social (Aportes)							
..Préstamos	**116.0**	116.0					
- Ingresos	**2,182.5**	**436.5**	**436.5**	**436.5**	**436.5**	**436.5**	
-							
B.SALIDAS DE EFECTIVOS	**1,592.0**	439.0	306.8	307.3	305.5	269.7	-36.3
- Inversión Total	**113.7**	116.0	-2.3	-0.0	-0.0		-36.3
.. Capital Fijo	**77.4**	77.4					
.. Incr.Capital de Trabajo	**36.3**	**38.6**	**-2.3**	**-0.0**	**-0.0**		**-36.3**
- Costos de Operación	**1,013.4**	**269.9**	**185.9**	**185.9**	**185.9**	**185.9**	
- Impuestos	**377.6**	53.1	79.5	80.2	81.0	83.8	
- Dividendos							
- Servicio de la Deuda	**123.5**		43.7	41.2	38.7		
.. Intereses	**7.5**		**5.0**	**2.5**			
.. Reembolso del Principal	**116.0**		**38.7**	**38.7**	**38.7**		
- Fondo Estimul. y Desarrollo							
- Servicios Bancarios							
-							
-							
C.SALDO ANUAL (A-B)	**706.5**	113.6	129.7	129.2	131.0	166.8	36.3
D.SALDO ACUMULADO	**706.5**	113.6	243.3	372.5	503.5	670.3	706.5

Tabla XI Flujo de caja para la planificación financiera en CUC para la ceba estabulada bovina

CONCEPTO	TOTALES	1	2	3	4	5	6
A. ENTRADAS DE EFECTIVOS	**287.5**	68.0	54.9	54.9	54.9	54.9	
- Recursos financieros	**13.2**	13.2					
..Capital Social (Aportes)							
..Préstamos	**13.2**	13.2					
- Ingresos	**274.3**	**54.9**	**54.9**	**54.9**	**54.9**	**54.9**	
-							
B.SALIDAS DE EFECTIVOS	**271.3**	63.3	55.1	54.8	54.5	48.8	-5.2
- Inversión Total	**13.2**	13.2	0.0	-0.0	-0.0		-5.2
.. Capital Fijo	**8.0**	8.0					
.. Incr.Capital de Trabajo	**5.2**	**5.2**	**0.0**	**-0.0**	**-0.0**		**-5.2**
- Costos de Operación	**240.5**	**48.1**	**48.1**	**48.1**	**48.1**	**48.1**	
- Impuestos	**8.3**	2.0	1.7	1.9	2.0	0.7	
- Dividendos							
- Servicio de la Deuda	**14.5**		5.3	4.8	4.4		
.. Intereses	**1.3**		**0.9**	**0.4**			
.. Reembolso del Principal	**13.2**		**4.4**	**4.4**	**4.4**		
- Fondo Estimul. y Desarrollo							
- Servicios Bancarios							
-							
-							
C.SALDO ANUAL (A-B)	**16.2**	4.7	-0.3	0.1	0.3	6.1	5.2
D.SALDO ACUMULADO	**16.2**	4.7	4.5	4.5	4.9	11.0	16.2

Tabla XII. Flujo de caja para la planificación financiera en moneda total para la ceba estabulada ovina

CONCEPTO	TOTALES	1	2	3	4	5	6
A. ENTRADAS DE EFECTIVOS	**539.9**	111.2	115.1	100.8	112.0	100.8	
- Recursos financieros	**47.1**	44.0	3.1				
..Capital Social (Aportes)							
..Préstamos	**47.1**	44.0	3.1				
- Ingresos	**492.8**	**67.2**	**112.0**	**100.8**	**112.0**	**100.8**	
-							
B.SALIDAS DE EFECTIVOS	**378.9**	90.9	82.9	74.4	80.2	59.0	-8.4
- Inversión Total	**44.5**	42.2	3.1	-0.8	0.8	-0.8	-8.4
.. Capital Fijo	**36.0**	36.0					
.. Incr.Capital de Trabajo	**8.4**	**6.2**	**3.1**	**-0.8**	**0.8**	**-0.8**	**-8.4**
- Costos de Operación	**202.5**	**41.2**	**41.2**	**39.5**	**41.2**	**39.5**	
- Impuestos	**89.9**	7.5	21.7	18.9	22.4	19.3	
- Dividendos							
- Servicio de la Deuda	**50.4**		16.8	16.8	15.8	1.0	
.. Intereses	**3.3**		**2.2**	**1.1**	**0.1**		
.. Reembolso del Principal	**47.1**		**14.7**	**15.7**	**15.7**	**1.0**	
- Fondo Estimul. y Desarrollo							
- Servicios Bancarios							
-							
-							
C.SALDO ANUAL (A-B)	**161.0**	20.3	32.2	26.4	31.8	41.8	8.4
D.SALDO ACUMULADO	**161.0**	20.3	52.5	78.9	110.8	152.6	161.0

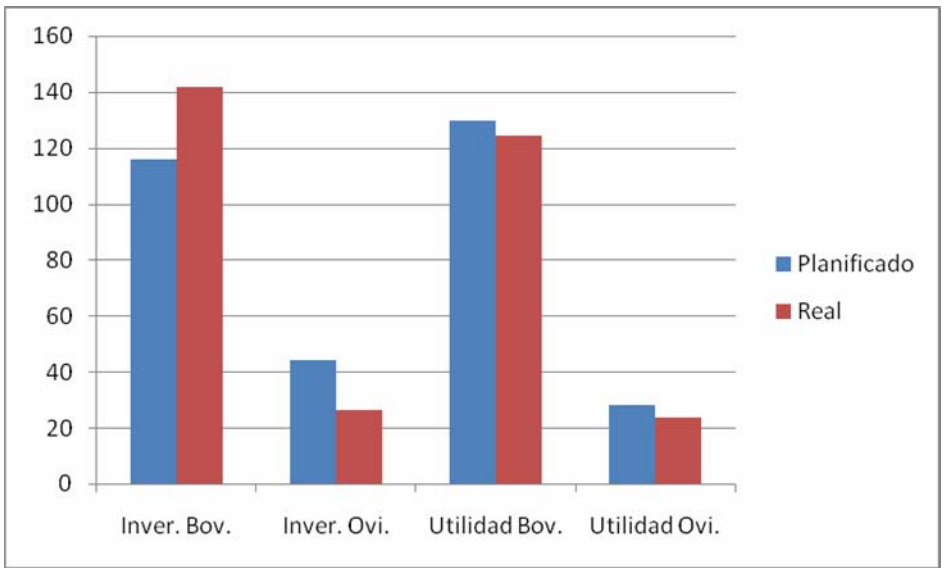
Tabla XIII Flujo de caja para la planificación financiera en CUC para la ceba estabulada ovina

CONCEPTO	TOTALES	1	2	3	4	5	6
A. ENTRADAS DE EFECTIVOS	**75.1**	16.4	15.8	13.8	15.4	13.8	
- Recursos financieros	**7.5**	7.1	0.4				
..Capital Social (Aportes)							
..Préstamos	**7.5**	7.1	0.4				
- Ingresos	**67.6**	**9.2**	**15.4**	**13.8**	**15.4**	**13.8**	
-							
B.SALIDAS DE EFECTIVOS	**70.5**	16.0	15.2	14.2	14.7	11.6	-1.2
- Inversión Total	**5.6**	5.3	0.4	-0.1	0.1	-0.1	-1.2
.. Capital Fijo	**4.4**	4.4					
.. Incr.Capital de Trabajo	**1.2**	**0.9**	**0.4**	**-0.1**	**0.1**	**-0.1**	**-1.2**
- Costos de Operación	**53.3**	**10.7**	**10.7**	**10.7**	**10.7**	**10.7**	
- Impuestos	**4.5**		1.3	0.8	1.4	0.9	
- Dividendos							
- Servicio de la Deuda	**8.3**		2.9	2.8	2.5	0.1	
.. Intereses	**0.8**		**0.5**	**0.3**	**0.0**		
.. Reembolso del Principal	**7.5**		**2.4**	**2.5**	**2.5**	**0.1**	
- Fondo Estimul. y Desarrollo							
- Servicios Bancarios							
-							
-							
C.SALDO ANUAL (A-B)	**4.6**	0.4	0.5	-0.3	0.6	2.2	1.2
D.SALDO ACUMULADO	**4.6**	0.4	0.9	0.5	1.2	3.4	4.6

Luego de realizados todos los análisis económicos correspondientes a la evaluación preliminar de este proyecto de realizó una comparación entre los valores planificados y reales luego de seis meses de implantado este proyecto, donde se analizó fundamentalmente los gastos reales del proyecto y las utilidades obtenidas.

De este análisis se concluyó que en el caso de la ceba estabulada bobina se realizó un gasto en la inversión de un 20% aproximadamente por encima de lo planificado y en el caso de la ceba ovina se gastó sólo un 60% de lo planificado. En el caso de las utilidades en ambos sistemas se comportó muy similar los valores reales y los planificados, lo cual resulta muy favorable para este proyecto.

Gráfico1 Comparación luego de seis meses de implantación del proyecto.



CONCLUSIONES

- El proyecto es factible desde el punto de vista económico y financiero
- Los resultados representan una ganancia de significación para la economía de la empresa.
- El proyecto es amigable medio ambientalmente al no tener residuos contaminantes y los desechos como el estiércol tener un tratamiento ecológico por medio del compostaje y la lombricultura.
- El organismo aporta un número importante de recursos materiales y áreas que facilitan la obtención de los buenos resultados.
- Se propone un aprovechamiento de los subproductos y residuos de la agroindustria azucarera con un alto potencial de aporte al programa de desarrollo agropecuario del país y la producción de carne y leche.
- Se logra un nivel importante de sustitución de importaciones en los rubros de carne y leche con destino a la alimentación del pueblo.

REFERENCIAS BOBLIOGRÁFICAS

1. Bravo Pino C.A y colaboradores (2007), Proyecto de ceba de toros y ovinos en la empresa azucarera Comandante Manuel Fajardo de la Habana, 3, 5-7.
2. Peters, Max S.; Timmerhaus, Klaus D., Fourth Edition, Plant Desing and economics for chemical engineers, 382, 404
3. Blank, Leland T.; Tarquin Anthony J., Cuarta Edición (2000), Ingeniería Económica, 274, 350
4. Chemical Engineering, mayo 2007, Economic Indicator, 95,96

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA INTEGRADO DE UTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LA COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y OTROS RECURSOS AGROINDUSTRIALES PARA EL LEVANTE Y CEBA DE NOVILLOS EN EL VALLE DEL CAUCA (COLOMBIA)

Morales,V.F[a]; Marmolejo,J[b]; Sandoval G.A[c]; Zuluaga H.A[d]; Arias Wilson[e].Pinzón J.M[f].

RESUMEN

El trabajo busca articular el desarrollo de una estrategia para la utilización de subproductos de la cosecha de la caña de azúcar y otros recursos agroindustriales en el levante y ceba de novillos en la región del Valle del Cauca Colombia. Actualmente la agroindustria de la caña de azúcar genera más de 7 a 8 millones de toneladas de residuos fibrosos de cosecha (cogollos y hojas verdes), estos residuos pueden ser usados como fuente de fibras y carbohidratos para rumiantes contribuyendo al crecimiento de la población bovina regional para carne y leche, mitigando el impacto ambiental de la quema; sin embargo no se han desarrollado y validado modelos productivos a escala agroindustrial que faciliten su aprovechamiento de una manera económicamente viable debido a la ausencia de soluciones técnicas y logísticas que disminuyan el costo del recurso básico, así como a la desarticulación de los actores sociales. Es por ello que un grupo de emprendedores acompañados por varias instituciones como son el grupo Zoogan (Zootecnistas Ganaderos) , la Sociedad de ganaderos del Valle del Cauca SAG, la empresa FDN Nutrientes S.A., la Cooperativa de ganaderos del centro y norte del Valle (Cogancevalle) y la Red iberoAmericana de transformación de residuos agroindustriales de uso animal RESALAN (Cyted) , han estado desarrollando acciones conjuntas para sensibilizar a todos los grupos interesados en que se unan a este plan y se desarrollen procesos armónicos que permitan lograr los objetivos trazados, con base en una estrategia fundamentada en el desarrollo de acciones en las áreas agroindustrial, productiva, ambiental y socio económica.

Palabras clave: Cogollo de caña de azúcar, desarrollo ganadero, ceba bovinos, alimentación animal e impacto ambiental.

ABSTRACT

The work looks for to articulate the development of a strategy for the use of by-products of the crop of the cane of sugar and other agroindustrial resources in the one gets up and it feeds of young and fattenig bulls in the region of the Valley of the Cauca Colombia. At the moment the agroindustry of the cane of sugar generates more than 7 to 8 million tons of fibrous residuals of crop (sugar cane tops and green leaves), these residuals can be used as source of fibers and carbohydrates for ruminant contributing to the regional bovine population's growth for meat and milk, mitigating the environmental impact of it burns it; however they have not been developed and validated productive models to agroindustrial scale that they facilitate their use in an economically viable way due to the absence of technical and logistical solutions that they diminish the cost

[a] [a] *Zootecnista. Especialista en administración de empresas, Consultor Fondo Nacional del Ganado. Consultor Privado en Gestión y Nutrición animal en Colombia y Ecuador, Gerente técnico de FDN Nutrientes S.A, Expresidente de la Asociación de Zootecnistas del Valle del Cauca, Consultor sociedad de agricultores y ganaderos del Valle y miembro de la red Resalan & Cyted. Líder del proyectoy del grupo Zoogan. Cali (Valle del Cauca) Colombia.* *fmorales2006@yahoo.com.*

[b] *Zootecnista. Especialista en administración de empresas. Consultor Sociedad de Agrícultores y ganaderos SAG. Colombia.* *Sagvalle@orbitel.net.co.*

[c] *Zootecnista. Gerente de la cooperativa de ganaderos del centro y norte del Valle Cogancevalle*

[d] *Zootecnista. Especialista en Gerencia y Agroecología. Directora Administrativa de FDN Nutrientes S.A.* *azuluagah@yahoo.com*

[e] *Licenciado en Biología. Consultor privado.*

[f] *Ingeniero Agrónomo. Gerente de Operadores del campo S.A. Cali Colombia.*

of the basic resource, as well as to the separation of the social actors. It is for it that a group of venturesome accompanied by several institutions like they are the group Zoogan (Zootecnistas Cattlemen), the Society of farmer and cattlemen of the Valley of the Cauca SAG, the company FDN Nutritious CORP., the Cooperative of cattlemen of the center and north of the Valley (Cogancevalle) and the Ibero-American Net of transformation of agroindustrial residuals of animal use RESALAN (Cyted), they have been developing combined actions to sensitize to all the groups interested in that they unite to this plan and harmonic processes are developed that allow to achieve the objectives layouts, with base in a strategy based in the development of actions in the agroindustrial, productive, environmental areas and economic partner.

Key words: Sugar cane tops, livestock development, Fattening bulls, animal feed and environment impact.

INTRODUCCIÓN

El Valle del Cauca en Colombia ha sido por muchos años una fuente productiva de gran cantidad de recursos agrícolas entre los que se contaban Maíz, soya, sorgo, caña panelera, algodón, etc.; pero el crecimiento de la agroindustria de la caña de azúcar ha hecho que estos cultivos hayan perdido su participación en el área ocupada y ya este cultivo concentra más de 220.000 hectáreas de tierras que se destinan para la producción de azúcar, biocombustibles y una industria alcoquimica de gran potencial comercial en los mercados mundiales.

Este acelerado crecimiento del cultivo de la caña de azúcar ha disminuido también las áreas dedicadas a los pastos y forrajes, desplazando gran parte de la producción ganadera hacia las zonas montañosas lo que pone en riesgo los sistemas de producción acuíferas de la región y haciendo que otros productores de ganado busquen intensificar sus parcelas para poder competir de manera económica con la opción que es el sector cañero regional. (SAG. 2005). Además, esta actividad genera aproximadamente de 7 a 8 millones de toneladas por año de residuos de cosecha (entre cogollos, hojas verdes y secas), parte de los cuales en un alto porcentaje son quemados antes y después de la cosecha con el fin de mejorar la eficiencia y disminuir los costos del corte y la molienda de la caña. Tecnicaña (2007).

Esta gran actividad agroindustrial en la región además de generar un número importante de empleos, también esta produciendo una cantidad importante de subproductos que hoy en muchos casos por falta de voluntad empresarial y verdaderas soluciones técnicas y logísticas no han sido utilizados eficientemente y con un criterio sustentable, muchos de ellos sólo son colocados en depósitos para basuras, compostados y en el peor de los casos quemados (como es el caso de la gran cantidad de biomasa de cogollos de caña) y en otros casos son transformados agroindustrialmente para ser usados con mayor valor agregado en la industria de alimentación animal. Entre estos recursos se pueden contar diferentes subproductos como son Cogollos y puntas de la caña de azúcar, melazas, vinaza, también en la región se encuentran residuos de levaduras de la producción de alcohol, subproductos de frutas como cáscaras y pulpas no aptas para el consumo humano, subproductos húmedos y licores de industrias alcoquimicas como el micelio para la producción de acido cítrico, subproductos de la extracción del almidón de maíz y la yuca, además de diferentes cascarillas o residuos de cosecha de varios cultivos como la soya, el sorgo, el algodón, la morera, algunas leguminosas arbustivas, los cultivos de frutas y el café que tienen potencial de uso en las raciones de animales de granja.

Actualmente el Valle del Cauca cuenta con una población de 533.164 cabezas de ganado, localizados en 9905 predios de todos los pisos térmicos desde 0 a 3000 msnm. (FEDEGAN-FNG. 2008). Sin embargo un desarrollo ganadero con base en los recursos forrajeros de la cosecha de la caña podría tener un gran impacto sobre el potencial productivo de la región en el levante y ceba de novillos para carne, pues la región no sólo posee la infraestructura, la maquinaria y el capital humano necesario para hacerlo; sino que su posición geográfica lo ubican en un sitio de privilegio para desarrollar diferentes proyectos de cebas intensivas,

integración de pastoreo y ensilados de caña de azúcar para carne y leche o el desarrollo de modelos específicos por cada productor con la tecnología y los recursos disponibles.

El mercado actual del Valle del Cauca requiere más de 400 mil animales para poder cubrir la demanda de carne en la región, y los mataderos regionales hoy sólo sacrifican cerca del 60% de este valor (FEDEGAN-FNG.2008) por lo tanto un crecimiento potencial de la oferta de ganados de calidad podrá no sólo mantener la demanda regional sino incrementarla y podrá sustituir la importación de ganados a la región de otras regiones del país y del exterior; además se puede calificar estas carnes producidas por estos sistemas para posibles negocios en una futura exportación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de desarrollar esta estrategia un grupo de emprendedores acompañados por varias instituciones como son el grupo Zoogan (Zootecnistas Ganaderos) , la Sociedad de ganaderos del Valle del Cauca SAG, la empresa FDN Nutrientes S.A., la Cooperativa de ganaderos del centro y norte del Valle y la Red iberoAmericana de transformación de residuos agroindustriales de uso animal RESALAN (Cyted) , han estado desarrollando acciones conjuntas para sensibilizar a todos los grupos interesados en que se unan a este plan y se desarrollen procesos armónicos que permitan lograr los objetivos trazados.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

"La agroindustria azucarera del Valle del Cauca (Colombia) genera gran cantidad de residuos fibrosos en los que se cuentan cogollos y hojas de caña después de la cosecha en verde, estos residuos constituyen fuentes de fibra y carbohidratos no estructurales de buena calidad que podrían ser utilizados en la alimentación de rumiantes contribuyendo al crecimiento de la población bovina regional para carne y mitigando el impacto ambiental al usar estos residuos que hoy en muchos casos son quemados; sin embargo, no se han desarrollado y/o validado modelos productivos a escala agroindustrial que faciliten su aprovechamiento de una manera económicamente viable".

OBJETIVO GENERAL

Contribuir a la sostenibilidad de las opciones tecnológicas utilizadas en sistemas de aprovechamiento de residuos generados en el cultivo de la caña de azúcar para la ceba de bovinos en confinamiento en el Valle del Cauca.

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Para que un proceso de desarrollo como el que estamos planteando pueda lograr los objetivos requeridos, no sólo se requiere de conocer sobre producción y productividad; sino que se precisa un conocimiento más integral del entorno y la búsqueda de una mayor competitividad la cual se logra si se articulan una serie de factores entre los que se cuentan: Conocer, adaptar y desarrollar las tecnologías que se requieran, alinear las expectativas de las entidades públicas y privadas para el logro del objetivo, desarrollar un clima adecuado de negocios a través de una estrategia empresarial para lograr el crecimiento y rentabilidad del proyecto, transferir a los productores los conocimiento y la tecnología adaptada para este propósito. Además nada de esto sería posible si en una economía de mercado como la Colombia no se logra producir unos productos de calidad, con buena participación del mercado y satisfaciendo la demanda local, nacional o internacional según sea el caso.

Para ello decidimos tratar el problema por perspectivas y fases que logren ir articulando a los diferentes actores del problema y llegar a metas al inicio pequeñas, pero que conduzcan a desarrollar un proceso coherente y efectivo en el tiempo. Estas perspectivas son:

1. Perspectiva Agroindustrial
2. Perspectiva productiva
3. Perspectiva ambiental
4. Perspectiva social y económica

1. PERSPECTIVA AGROINDUSTRIAL DEL PROBLEMA

Según datos de TECNICAÑA, (2007) en el Valle del Cauca y en el Valle del Risaralda existen alrededor de 220.000 hectáreas cultivadas con caña de Azúcar, que producen anualmente veintidós (22) millones de toneladas de caña, nueve (9) millones de toneladas de residuos en el campo y 2.5 millones de toneladas de azúcar. La mecanización integral de la cosecha de caña comprende actualmente el 15% del área cultivada; de acuerdo con estos datos se puede inferir que el 85% restante se cosecha a través de los sistemas semi-mecanizados y manuales.

El sistema de cosecha utilizado depende de diferentes factores tales como: disponibilidad de mano de obra, condiciones edafo-climáticas (época de lluvias intensas o época seca y condiciones de campo), distancia de zonas urbanas y aspectos socioeconómicos entre otros.

1.1. SISTEMAS DE COSECHA.

1.1.1. **Cosecha Mecanizada (Verde o quemada)** genera gran cantidad de subproducto de 20 a 30 cm de largo, este cae al piso y luego es encallado por el productor. Este subproducto se convierte en una dificultad para realizar las labores agrícolas de la caña posterior y desarrollar un sistema de recolección de la caña en este momento no sólo generaría gran cantidad de recurso forrajero; sino que ayudaría al productor a realizar las labores más rápido y eficientemente para la soca (nuevo rebrote) siguiente.

1.1.2. **Cosecha Manual (Verde o quemada**). La cosecha manual deja grandes cantidades de puntas, cogollos y hojas secas que quedan entrelazadas en los lotes de caña, esta gran cantidad de biomasa dificulta el rebrote de la caña y es demorado en degradarse en el campo limitando las operaciones de cultivo del nuevo rebrote (soca), es por ello que retirar parcialmente (30-40%), podría ayudar al cultivador a ser más efectivo en la actividades del cultivo; sin embargo en varios estudios se ha concluido que el alce y recolección manual aunque genera gran cantidad de mano de obra, no ha sido eficiente por los altos costos que esto conlleva.

Analizar los sistemas de cosecha ya sea mecánica o manual es hoy un reto que este proyecto presenta y buscar su solución deberá tener un trabajo coordinado entre productores, ingenieros agrícolas y empresas dedicadas al desarrollo de maquinaria adaptada al proceso. Es por ello que realizar estas actividades y obtener un recurso de buena calidad a un costo adecuado que asegure la viabilidad económica de los proyectos, la generación de empleos directos e indirectos y la sustentabilidad del mismo son la base de este proyecto. Hoy los pequeños y medianos ganaderos y caballistas ya lo hacen en forma artesanal recogiendo a diario el cogollo y las puntas de caña y transportándolas en carretillas (carreta impulsada por caballos) en forma fresca, un desarrollo integral deberá contemplar las diferentes variedades de caña y sus variantes en composición, la recolección, alce y transporte en forma económica y su almacenamiento.

Trabajos realizados por Zapata, Sanchez y Morales 1989, evaluaron la viabilidad económica de la recolección manual encontrando dificultades en la eficiencia de la mano de obra, baja densidad del subproducto y altos costos de transporte (Morales 1989).

2. PERSPECTIVA PRODUCTIVA

Según la encuesta Agropecuaria nacional, la población bovina Colombiana para este año, ascendió a 24.7 millones de cabezas de las cuales 57 % se destinaron a la producción de carne, el 4% a la producción de leche y el 39 % a sistemas doble propósito. El área destinada a la ganadería es de 37.8 millones de hectáreas con una capacidad de carga de 0.64 cabezas por ha., lo cual indica que son sistemas de producción extensiva. El 64 % del hato son hembras y el 34% son machos, de los cuales el 16% de estos estaban en edad de sacrificio y el 39% de las hembras estaban en edad reproductiva.

Las regiones Colombianas con mayor participación son la zona norte con el 28 % y la oriental con 27%; aunque en todos los departamentos se evidencia producción ganadera, los de mayor población en su orden son: Córdoba, Antioquia, Casanare, Caquetá, Cesar, Santander, Meta y Cundinamarca que concentran mas del 60 % del total. El departamento del Valle del Cauca participa solo con el 2.18 % del la población y ocupa el puesto 15 en el inventario nacional

2.1 Sistemas de producción

En Colombia la producción bovina para ceba se ha basado en su mayor parte en sistemas pastoriles extractivos con baja carga y bajas ganancias de peso y sólo en los últimos años se viene interviniendo estos sistemas para aumentar la productividad a través de las rotaciones de potreros, el manejo de correctivos y fertilizantes y la suplementación estratégica de estos ganados.

Para el caso del Valle del Cauca el tema es un poco diferente, pues la oferta ambiental es alta y en especial el Valle plano posee muchas ventajas comparativas y competitivas en su producción de carne y leche, el hecho de poseer tierras planas y fértiles, precipitación entre 900 y 1200 mm/año con distribución bimodal, manejo de la fertilización según la extracción del sistema, grupos de ganaderos organizados cooperativamente se han logrado altas productividades por hectárea en leche y carne, con productores que ya superan los 20.000 litros de leche por hectárea por año o los 1500 kilos de carne por hectárea por año (Azoovalle, 2005); Además se posee un recurso humano alto con la presencia en la región de universidades, institutos tecnológicos y del programa de Tecnigan (Fedegan) para la capacitación a medianos y pequeños ganaderos, esto hace de la región tenga un gran potencial productivo, siempre y cuando integre los sistemas ganaderos a los actuales y eficientes sistemas agrícolas desarrollados por la industria de la caña de azúcar y ahora de biocombustibles.

2.2 El cogollo y las puntas de caña en la alimentación animal

El cogollo es la parte superior de la caña de azúcar con la mayor parte de hojas verdes, vegetativamente es la parte más joven de la planta. Su alto contenido de fibra, almidones y monosacáridos lo hace indeseable para los efectos de la producción azucarera y por tal razón se separa del tallo durante el proceso de la cosecha. (Almazan, 1977).
Los subproductos de la caña de azúcar tales como el bagazo, las hojas y el cogollo, son bajos en proteína cruda, pero son bastante altos en energía (Sundton, 1984), sin embargo su existencia y disponibilidad considerable lo colocan como una buena alternativa para la alimentación del ganado bovino (Toranzos, 1979). Los cogollos poseen una digestibilidad superior al 50% lo cual los hace comparable a muchos forrajes tropicales. (Martín, 2004).

Los consumos de cogollo por lo general se encuentran en valores entre 2.5 y 2.7% de peso vivo del animal, mientras que los de otros residuos con más paja y trozos de caña alcanzan sólo 1.8 a 2.7%. (Martín, 2004), para lograr mayores consumos de materia seca se debe adicionar NNP y proteína natural (Zapata, 1989, Martín 2004). Trabajos de varios autores muestran que novillos alimentados con cogollo sólo o suplementado con melaza, no ganaron peso (Colmenares 1960, Estima et al, 1967), pero al usar suplementos que mejoraran el consumo y la fermentación la cosa cambio.

Trabajos realizados por el ICA Palmira reportan ganancias de peso de 0,825, 0,733 Kg y 0,731 Kg con dietas que contenían cogollo de caña fresco y pasto elefante suplementados con 4.5 kg de hojas de yuca. Otros trabajos muestran que el uso de cogollo fresco suplementado con 1 kg de sorgo, 1 kg de melaza, 150 g de urea y 40 g de
Sulfato de amonio permitieron un aumento de 0.744 Kg por día en novillos confinados. (Emura, 1979). Otras pruebas de campo muestran que el uso de cogollo fresco más la adición de 3 kg de jarabe de maíz (Sustancia proteíca) y levadura residual lograron ganancias de 0,88 Kg para los animales control con jarabe y 1,113 Kg para los animales con el jarabe y 2 kg de levadura residual (Oviedo, 2003).

El desarrollo de un modelo de utilización del cogollo de caña deberá contemplar ajustes y desarrollos en las áreas importantes de la producción como son uso de subproductos proteicos y energéticos para la suplementación en estos sistemas, ajuste en los planes sanitarios y de bioseguridad, desarrollos genéticos que mejoren las calidad de los animales y desarrollo de indicadores para mejorar el rendimiento y calidad de la canal y la carne.

3. PERSPECTIVA AMBIENTAL DEL PROBLEMA

Los recursos naturales sin lugar a dudas son un eje estructural de cualquier propuesta de desarrollo, de ellos dependen el bueno logro y termino de muchas de las variables de un proyecto que como este estará cruzado por los aspectos productivos, económicos y sociales.

Asumir lo ambiental implica de entrada la búsqueda del equilibrio entre lo que se tiene, lo que se usa y la misma capacidad de resiliencia del sistema donde se vaya a trabajar. Un proyecto debe tener cuatro líneas de intervención, la ambiental, teniendo como objetivo concreto determinar el impacto ambiental, una óptica investigativa bajo criterios de rigor, el efecto socioeconómico del proyecto y el marco de los estándares normativos, que lleven a medir dichos impactos, que se generaran desde los siguientes aspectos:

3.1. Reducción de emisiones de gases
3.2 Recuperación y conservación de los recursos.
3.3 Medición y reducción de la cantidad de metano y manejo de excretas.

Finalmente la optimización del flujo de energía en el ciclo redundara además de lo ambiental, en la posibilidad de acceder a incentivos por la conservación del medio ambiente por parte de los propietarios de los predios con cultivos de caña, aplicando así una serie de estímulos que mejoraran aun más el aspecto financiero de este proyecto. Martín P.C. (2007).

4 PERSPECTIVA SOCIAL Y ECONOMICA

La ausencia de coordinación y articulación entre actores sociales desde un enfoque de encadenamiento productivo y agroindustrial contribuye a que en el Valle del Cauca se haya dificultado el desarrollo de un proyecto de esta magnitud, dejando de lado la posibilidad de generar un proceso agroindustrial para la ceba y terminación de ganado en la región con potencial de consumo en la misma o incluso para la exportación

nacional o internacional de carne en canal o sus cortes. Históricamente el Valle del Cauca tuvo más de 400 mil hectáreas destinadas a la producción ganadera y debido al crecimiento acelerado de la producción de caña de azúcar esta actividad económica se ha desplazado a las zonas de ladera de la región, donde ligado a un manejo inadecuado de la producción, los tipos de ganado y de los suelos han generado un impacto negativo para el medio ambiente, la erosión de suelo, disminución de las fuentes de agua y actualmente generan presión sobre los cultivos tradicionales y las áreas de reserva de bosques.

El proyecto busca articular las cadenas productivas de la caña de azúcar con la cadena productiva de la carne, con lo cual se generaría tecnología de investigación productiva, agroindustrial, logística y de transformación de la carne basada en los residuos y cogollos de caña de azúcar, articulados a un mercado existente y deficitario (Hoy el Valle del Cauca importa cerca del 50% de sus necesidades cárnicas de otros departamentos)

4.1 Beneficios sociales y económicos del proyecto.

A parte de todos beneficios ambientales, productivos y agroindustriales antes mencionados, este proyecto generara beneficios sociales y económicos en los que se cuentan:

a. Generación de empleo: Si sólo se lograra usar el 20% de los residuos generados por la industria de la caña de azúcar, se lograría cebar cerca de 200 mil nuevos novillos por año, esto requeriría de más de 2500 nuevos empleos directos, sin contar los indirectos; además de los profesionales del campo que se necesitaran para desarrollar los diferentes sistemas productivos.

b. Ingresos marginales al productor de caña: El uso de los residuos y recursos fibrosos y energéticos de la cosecha de la caña y su transformación en carne (y/o leche), generara rentabilidad y desarrollo para la región y sus productores, fomentando el desarrollo productivo de la cadena cárnica y láctea.

c. Desarrollo de oportunidades de negocios: Este proyecto dará pautas para que se aumente la dinámica ganadera de la región lo que hará viables otros negocios proveedores de bienes y servicios como las subastas ganaderas, los servicios agrícolas de recolección, transporte y transformación de residuos, la venta de maquinaria, equipos y repuestos, los almacenes de insumos agropecuarios y las plantas de producción de suplementos nutricionales, sales y bloques.

d. Nueva cultura ganadera: A través de estos proyectos se pueden involucrar los nuevos y medianos ganaderos de la región que buscan una oportunidad para invertir y desarrollar empresas ganaderas, muchos de estos ganaderos hoy son formados por los centros de desarrollo tecnológicos de la región como son el Sena, la universidad y los grupos de productores como los asistentes a los Tecnigan (Fedegan); pero muchos de ellos no logran salir adelante con sus esfuerzos ya que no cuentan con la tierra (recurso básico en la producción pecuaria) y a través de un trabajo asociado con el productor de caña de azúcar, esta debilidad puede ser subsanada.

Es por ello que desarrollar y validar un sistema productivo agroindustrial para la ceba de ganado con buenas practicas agropecuarias en el Valle del Río Cauca, permitirá ligar la cadena productiva de la caña de azúcar a la cadena productiva de la carne y la leche, articulando a los diferentes actores sociales desde la investigación, la producción, la transformación y el mercado; además de darle un uso racional a los residuos de la caña de azúcar sin quemar, lo cual aportará al desarrollo de una nueva cultura ganadera y agroindustrial de la región. Al tiempo que nos compromete como organizaciones gremiales, investigativas y profesionales del campo en el aporte que debemos hacer en la construcción de una sociedad más justa, con más oportunidades para sus gentes y más racional con el manejo de los recursos naturales, buscando que sea sostenible y sustentable técnica, económica, social y ambientalmente.

En este sentido, un equipo de técnicos del sector agropecuario (Zoogan, zootecnistas ganaderos), con el apoyo de la Sociedad de Agricultores y ganaderos del Valle del Cauca SAG, la Cooperativa de Ganaderos del Centro y Norte del Valle, COGANCEVALLE Y un grupo de instituciones públicas y privadas y miembros de la red IberoAmericana de uso de residuos y residuales con potencial de uso en la alimentación animal (Resalan & Cyted) vienen trabajando en un proyecto para que se conjuguen todas estas repercusiones para región y otras regiones de Latinoamérica.

LITERATURA CITADA

-Almazan,O. Los productos de la industria azucarera como fuente de la alimentación animal en el tropico. En revista ICIDCA. Vol. 53 No. 2-3. 1977

-Beer A G 1998. La cosecha de la caña de azúcar y los sistemas de manejo. En: Internacional Sugar Journal. Latin American edition. Vol 100, Nº 1990, Febrero. pp. 47-52

-Colmenares, C.S. Ceba intensiva de novillos con cogollo de caña y concentrados. En: Acta agronómica Colombia. Vol. 10. 1960.

-Emura, J.H. y Cabrales, R.D. Estudio de rentabilidad de la ceba de novillos en confinamiento a base de cogollo de caña. Palmira. 1979 (Tesis Zootecnia) Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

-FEDEGAN. La ganadería bovina en Colombia 2002-2003. Federación Nacional de Ganaderos (FEDEGAN) 2003.

-Martín, P.C. La alimentación del ganado con caña de azúcar y sus subproductos. Instituto de Ciencia Animal de la Habana. 2004.

-Morales V. F. 2007. Desarrollo productivo de algunos recursos agroindustriales fibrosos y sus posibilidades de uso en sistemas de alimentación animal. Memorias del congreso latinoAmericano de uso de residuos y residuales en la alimentación animal. Red Resalan & Cyted. La Habana Cuba. Junio de 2007.

-Morales V.F., Lopez J.A., Sanchez H., Zapata O. Ensilaje de cogollo de caña quemado y ensilaje de maíz en la ceba de novillos. Acta Agronomica Volumen 40, No. 3-4. 1990. ISSN-2812.

-Oviedo, R. Nutrición animal del futuro (Alimentación del ganado con microorganismos). En Revista cooperativa de ganaderos del centro y norte del Valle del Cauca. Año 12 No. 62. 2008.

-Ripoli T C C y Ripoli M L C 2004. Biomassa de cana-de acúcar: colheita, energía y ambiente. Piracicaba : T.C.C.Ripoli. Pag 80 – 91.

-Tecnicaña 2007. Mecanización de la cosecha de caña de azúcar. En: Revista Tecnicaña Vol 11 Nº 19. Diciembre. pp 31-32.

AGRICULTURA CAÑERA

APLICACIÓN DE RIZHOBACTERIAS DE AZOSPIRILLUM SPP EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR SOBRE UN SUELO PARDO CON CARBONATO

Autor(a) MSc. Doris Torriente Díaz

Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos
email: doris.torriente indio.atenas.inf.cu

Resumen

La aplicación de Rizhobacterias para la caña de azúcar en Cuba no ha logrado insertarse en el manejo agronómico del cultivo debido a múltiples factores, dentro de ellos las deficiencias en el manejo práctico del producto así como la contaminación que sufre el mismo en el momento se ser aplicado, Roldós *et al*.,(1994). Con el objetivo de evaluar la respuesta de la planta de caña de azúcar (2 retoño) sobre un suelo Pardo con Carbonato, ante las aplicaciones de Azospirillum soportado en turba y su posible factibilidad económica, se desarrolló una experiencia en la Empresa Agropecuaria Sergio González de la provincia de Matanzas. Para ello se utilizó un producto obtenido según metodología de Saura et al., (2003) en el Instituto Científico de Derivados de la Caña de Azúcar, a base de Azospirillum cepa 8I y la turba como sustrato. Se estudiaron comparativamente las aplicaciones del bioproducto con un testigo y la fertilización química y se obtuvo como resultado que la variante de Azospirillum soportado en turba mostró las mayores producciones con 102, 75t/ha, superando al testigo en mas de 50t/ha, a las variantes químicas en más de 30 t/ha, lo cual representó un beneficio económico entre 2,34 y 6,32$/ha.

Palabras clave: Rizhobacterias, Azospirillum, sólido, producciones de caña.

Abstract

The application of Rizhobacterias for the sugar cane in Cuba has not managed to be inserted in the agronómico handling of the culture due to multiple factors, within them the deficiencies in the practical handling of the product as well as the contamination that undergoes he himself at the moment for having been applied, Roldós et al., (1994). With the objective to evaluate the answer of the sugar cane plant (2 sprout) on a soil Brown ground with Carbonate, before the applications of Azospirillum supported in crowd and its possible feasibility in economic, was developed to a experience in the Sergio González, Agropecuaria Company of the province of Matanzas. For it a product obtained by Saura et al (2003) in the Scientific Institute of Derivatives of the Sugar Cane, with Azospirillum stock 8I and the crowd like substrate. The applications of bioproducto with a witness studied comparativily and the chemical fertilization and was obtained like result that the variant of Azospirillum supported in crowd showed the greater productions with 102, 75t/ha, surpassing to the witness in but of 50t/ha, to the chemical variants in more than 30 t/ha, which represented an economic benefit between 2.34 and 6,32$/ha.
Key words: Rizhobacterias, Azospirillum, solid, cane productions de caña.

Introducción

Ante el cambio climático que ha afectado a la producción azucarera y a las realidades a las que se enfrentan los países más pobres, se impone cada vez más la necesidad del empleo de tecnologías sanas y limpias, no contaminantes del medio y que contribuyan a la más importante tarea de nuestros tiempos mantener la especie humana.

El cultivo de la caña de azúcar está atravesando en el mundo por una caída de los rendimientos agrícolas y Cuba no escapa de estas problemáticas. En el país se han adoptado un grupo de medidas estructurales económicas y sociales dirigida fundamentalmente a la diversificación de sus producciones .agrícolas e industriales.

La industria más antigua se encuentra afectada por carencias de la materia prima, ineficiencia productiva, por los altos precios del petróleo y sobre todo por afectaciones climatológicas como la sequía que ha provocado los bajos rendimientos obtenidos actualmente. Carrobello (2005).

Urge por tanto la búsqueda de la sostenibilidad en la producción cañera. Rodríguez *et al*., (2006) sugieren que para potenciar la agricultura cañera sobre bases sostenibles es necesario materializar e investigar sobre todo el trabajo que se ha llevado a cabo durante muchos años. Desde finales de la década del 1980 se han realizado investigaciones con vista potenciar el desarrollo cañero sobre bases propias que incluye el uso de abonos orgánicos y biofertilizantes, con el fin de aumentar los rendimientos agrícolas, disminuyendo la utilización de grandes cantidades de fertilizantes inorgánicos y mejorar las propiedades físico-químico de los suelos sometidos al monocultivo intensivo.

En el Mundo, en los últimos años se han ido adoptando diferentes medidas y nuevas metodologías de producción agrícola, las cuales permiten contrarrestar las consecuencias ecológicas perjudiciales del uso de prácticas agrícolas modernas.

En países Europeos como Bélgica, Francia, España y Alemania se promueven tecnologías sanas dedicadas al suministro de productos ecológicos que contribuyen a la mejora de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los suelos. Fernández *et al*., (2006) y Hernández *et al.,* (2006).

En la actualidad existen muchas investigaciones que enfatizan la respuesta de los microorganismos al ambiente, pero no logran insertar muchas de estas variantes a las condiciones específicas y concretas de manejo agrotécnico del cultivo en cuestión.

En el cultivo de la caña de azúcar solo los trabajos de Roldós *et al*., (1994) y Arzola y García (1997) abordan en determinadas condiciones el manejo adecuado de Rizobacterias a las condiciones específicas en que se desarrolla actualmente la agricultura cañera.

El empleo de Azospirillum brasilense en el cultivo de la caña de azúcar soportado en líquido en determinadas condiciones edafoclimáticas y de manejo agronómico ofrecieron resultados satisfactorios en el 76% de las experiencias realizadas, pero en un 25% de los experimentos no se obtuvo la respuesta esperada, dado esto por múltiples razones. Dentro de ellas se destacan las relacionadas con los niveles de contaminación del producto y por problemáticas asociadas al manejo, almacenamiento y traslado de la bacteria al campo (Roldós *et al*., 1994).

Las formulaciones líquidas requieren determinadas instrucciones necesarias para su uso como son: emplear para el almacenamiento y traslado al campo recipientes de acero inoxidables, de cristal o tanques plásticos limpios previamente tratados con vapor durante 15 minutos, debe existir la más exacta sincronización entre el fermentador y la aplicación al campo, para disponer de un producto de óptima calidad ya que en estas condiciones se garantiza una estabilidad y pureza dentro de los 10 días después de recogida (Roldós *et al*., 1994).

Ante estas limitaciones se llevó a cabo un estudio conjunto entre el Instituto de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) y el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) con el objetivo de formular un producto más estable que garantice una mayor conservación de la bacteria, un manejo más eficiente de la misma y que se adapte a las condiciones prácticas que exige el cultivo de la caña de azúcar.

Fernández (1999) realizó estudios de optimización del medio y método de cultivo de la bacteria sobre la formulación simplificada como una alternativa económica y disponible para uso industrial. Obtuvo una

variante con la cepa Azospirillum brasilense 8I del INICA un producto soportado en sólidos con viabilidad (10^8 Ufc m^{-1}) en un período de hasta 60 días, muy superior a las soportadas en líquidos.
Por su parte, Saura *et al*., (2003) patentaron una tecnología de producción de biofertilizantes a partir de la cepa (8I del INICA) soportadas en sólidos (cachaza y turba), las cuales fueron utilizadas en esta investigación, con el objetivo de: Evaluar la respuesta de la planta de caña de azúcar ante las aplicaciones de Rizobacterias de Azospirillum en soportada en Turba.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

Los experimentos fueron montados en el Bloque experimental de la Empresa Agropecuaria Sergio González de la provincia de Matanzas, ubicado en el Municipio de Perico y limita al norte con la Municipalidad de Martí, al oeste con el Poblado de deseada, al este con la Empresa Cañera España Republicana y al sur con la Empresa Citrícola Jagüey Grande.
Los variables climatológicas del área indican niveles de precipitaciones que oscilan alrededor de los 1 500mm, la temperatura media promedio de se enmarca entre 23,8^{o}C y la humedad relativa de 79% reportados en los boletines Agrometereológicos de la Estación Indio Hatuey (1976 a 2005).

Material utilizado

Se utilizó la cepa de 2do retoño de la variedad C. 120-78, sobre un suelo Pardo con Carbonato.
Se aplicó un producto obtenido según metodología recomendada por Saura et al., (2003), en el cual se utilizó como inóculo Rizhobacteria de Azospirillum, soportado en turba con lasa siguientes características de los Productos diseñados por el ICIDCA:
Polvo húmedo para la impregnación de semillas
Soporte: Turba o Cachaza
Viabilidad: > 109 ufc g-1
Humedad: 60 ± 2 %
Granulometría: < 140 mesh (0.07 mm)
Polvo humedecible para aspersión
Soporte: Turba o Cachaza
Viabilidad: > 109 ufc g-1
Humedad: 60 ± 2 %
Granulometría: < 200 mesh (0.074 mm)
Los fertilizantes químicos utilizados fueron: urea y amoníaco para nitrógeno para el fósforo se utilizó el Superfosfato Triple para el fósforo.
Cloruro de Potasio, para Potasio

Diseño experimental

Se diseñó según Bloque al Azar con dos replicas y los tratamientos consistieron en testigo, Azospirillum soportado en turba, Azsopirillum soportado en turba al 50% de la dosis más urea al 50%, amoníaco+fósforo y potasio, Urea + Fósforo, Urea +fósforo y potasio

Metodología de muestreo

En una unidad de muestreo al azar de 10m de longitud por 1.60 m es decir 16m^2 se midieron las siguientes variables respuestas:
Grosor del tallo en cm.
Número de hojas unidades
Longitud del tallo en cm

Área foliar = número de hojas *largo hoja* ancho hoja*0.7 en cm,
Rendimiento Agrícola (t/ha) obtenido por cosecha directa y pesaje del camión.
Se tomaron 10 tallos de cada unidad de muestreo y se determinó: pol % por medios ópticos (polarímetro), brix sólidos solubles presentes en la caña, se determinó por medios ópticos (refractómetro), pureza = Pol%/Brix x 100
Los resultados fueron sometidos a Análisis de Componentes Principales para las variables grosor tallo, longitud tallo, número de hoja, longitud hoja, área foliar y tratamiento., para decidir cuales fueron las variables de mayor importancia y las que aportaron a la variabilidad del sistema estudiado.
Se realizó Análisis de Varianza de Clasificación simple parea los tratamientos estudiados y en los casos de existir diferencia significativa se aplicó las dócimas de Comparación Múltiples de Duncan (1955).

Análisis Económico
Para ello se siguió metodología recomendada por la FAO, (1993) evaluando los indicadores siguientes:

- Valor de la producción ($/ha): Rendimiento agrícola por el precio de venta de una tonelada de caña para industria y ecológica según la resolución MINAZ (143-2006)
- Costo de la fertilización $/ha: Gastos incurridos por la aplicación de fertilizantes minerales y/o los biofertilizantes. El costo de la fertilización según ficha de costo MINAZ (2006) y costo de producción de los biofertilizantes según tecnologías de (Roldós *et al.*, 1994) y (Saura y Fernández, 2003)
- Beneficio $/ha: Ganancia neta obtenida por la diferencia entre el valor de la producción y los costos de aplicación de los fertilizantes y/o biofertilizantes.
- Relación Beneficio/costo: cociente obtenido de dividir el beneficio entre el costo total incurrido en las diferentes actividades en cada variante de estudio o tratamiento según ficha de costo (MINAZ 2007).

Resultado y discusión

Producción Vegetal de los retoños ante la aplicación de Rizobacterias soportadas en turba.
El análisis de Componentes Principales nos muestra según en la tabla I que las tres primeras variables explican el 75.22% de la varianza acumulada y estos a su vez alcanzaron valores absolutos mayores de la unidad, para el CP1 las variables grosor del tallo, área foliar y número de hojas mostraron valores propios superiores a 0. 8 por tanto explican el comportamiento del sistema. Para el CP2 se destacaron las variables longitud de la tallo y ancho de la hoja, para el CP 3 se destacaron las variables tratamientos y longitud hoja.

Tabla I. Matrix de componentes principales para la aplicación Rizobacterias soportadas en turba

Variables	COMPONENTES		
	1	2	3
Tratamientos	-0,22	0,16	0,78
Grosor tallo	0,90	0,04	-0,05
Longitud tallo	0,10	0,89	0,03
No de hoja	0,81	0,16	0,01
Ancho hoja	0,48	0,66	-0,05
Longitud hoja	0,23	-0,16	0,79
Area foliar	0,83	0,38	0,07
% de varianza	42,92	17,99	14,30
% de Varianza acumulada	42,92	60,91	75,22

Grosor del tallo

En esta variable no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos estudiados (tabla II), pero ocupó en el análisis de componentes principales el primer lugar con el más alto de los valores propios. Entre los tratamientos estudiados el de mejor comportamiento para esta variable lo mostró el Azospirillum soportado estudios similares han encontrado que este microorganismo favorece las variables relacionadas con el rendimiento agrícola.

Tabla II Resultados análisis de varianza soporte sólido turba

Variantes variable	Testigo	Azosp. turba	Azosp. turba+ urea	Amoníaco	Urea	Urea mas potasio	Ee y Sign.
No hojas(cant)	6.70^{ab} $(2.58)_1$	9.10^{c} $(3.01)_1$	8.40^{bc} $(2.88)_1$	7.40^{ab} $(2.72)_1$	7.40^{ab} $(2.71)_1$	7.80^{ab} $(2.79)_1$	±0,06 **
Grosor tallo cm	7.40	8.32	8.05	7.45	7.00	7.62	±0,33 NS
Longitud tallo cm	2.22^{a}	2.48^{b}	2.52^{b}	2.21^{a}	2.38^{ab}	2.36^{ab}	±0,05 ***
Ancho hoja cm	4.40^{a}	4.53^{a}	5.31^{b}	4.51^{a}	4.45^{a}	4.50^{a}	±0,19 *
Longitud hoja cm	1.20^{a}	1.22^{a}	1.27^{ab}	1.20^{a}	1.20^{a}	1.32^{b}	±0,02 *
Area foliar cm^2	2427.55^{a}	3469.10^{bc}	3961.10^{c}	2804.28^{ab}	2789.86^{a}	3242.41^{bc}	±246,18 ***

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0,05) (1) Datos transformados según raíz de x_* P<0.05 ** P<0.01 *** P<0.001 NS No diferencias significativas

Área foliar

Este indicador ocupó el segundo lugar en el análisis de componentes realizado, demostrando así la importancia que posee en la producción de los cultivos, en el análisis de varianza realizado se encontró diferencias altamente significativas para los diferentes tratamientos estudiados. Los mayores valores se encontraron en la variante Azospirillum soportado más la urea, sin diferencias con la variante microorganismo soportado solo.

Número de hojas

Este indicador ocupó el tercer lugar en importancia según análisis de componentes principales, el mismo junto con el área foliar juegan un papel decisivo en el estudio realizado. En el análisis de varianza se encontró diferencias significativas para las diferentes variantes analizadas, los mayores valores se encontraron en el tratamiento Azospirillum soportado solo, el cual no mostró diferencias con la variante 3 es decir el microorganismo soportado más urea. Estas superaron a las diferentes variantes químicas analizadas.

Esto sugiere las ventajas que posee la variante de aplicación de los microorganismos soportados, los cuales quedan protegidos por el sustrato de las influencias negativas que el medio circundante les pudiera ocasionar y además se vislumbra lo práctico que resulta estas sobre las tradicionales químicas, como el amoníaco y la urea que están expuestos a pérdidas del producto y a las desavenencias del medio.

Longitud del tallo

En el análisis de componentes principales ocupó el cuarto lugar en cuanto al valor de los vectores correlacionados entre las variables estudiadas, en el análisis de varianza realizado mostró diferencias altamente significativas (tabla II) los mejores resultados se encontraron en la variante Azospirillum más urea, seguida por el Azospirillum soportado solo, los cuales no mostraron diferencias significativas entre ellas.

Esto demuestra los beneficios que se obtuvieron con la utilización del biofertilizante sólido soportado en turba.

Ancho de la hoja

Durante todo el estudio se ha demostrado que esta variable es importante para la mejor comprensión del sistema por su efecto directo en el área foliar de la planta, lo cual ha sido corroborado por el análisis de componentes principales realizado, donde ocupó dentro de las variables estudiadas el quinto lugar.

En el análisis de Varianza para esta variable se encontró diferencias significativas para los tratamientos estudiados, los valores más elevados fueron mostrados por el Azospirillum soportado más urea con diferencias significativas con el resto de las variantes en estudio. Este resultado demuestra que no solo las Rizobacterias se utilizan para sustituir a la fertilización química, que esta a su vez puede emplearse de forma paralela para disminuir cantidades de productos inorgánicos que encarecen el suministro de nutrientes a las plantas y que contaminan el ambiente a largo plazo.

Estudios similares fueron obtenidos por Roldós *et al*., (1994), al complementar a la fertilización con el empleo de biofertilizantes. El empleo combinado de microorganismos con productos químicos puede constituir una variante alternativa para la utilización de Rizobacterias con el consiguiente ahorro de recursos, pues los fertilizantes constituyen nutrimentos para los microorganismos y las bacterias contribuyen a la mejor asimilación de los mismos por parte de la planta y además se pudiera contribuir al incremento de nuevas especies a la microfauna del suelo.

Algunos autores como Van Elsas y Heijen (1990), explican que el uso de abonos bacterianos no solo contribuye a la alimentación directa de las plantas sino además a la inclusión masiva de otras especies del suelo modificando con ello el curso de los procesos relacionados con estas últimas y de este modo también el cultivo recibe sustancias nutritivas complementarias.

Longitud de la hoja

Esta variable en el análisis de varianza mostró diferencias significativas (tabla II), alcanzando los mayores valores la variante seis, es decir urea con potasio, pero sin diferencias significativas con los Azospirillum soportado en turba más la urea. Este resultado puede deberse a que para este suelo las recomendaciones agroquímicas realizadas durante los cinco años anteriores no mostraban necesidad de añadir potasio al mismo, atendiendo a ello y partiendo de los resultados del estudio de los indicadores de suelo realizado, se aplicó el potasio para observar la influencia del mismo en la respuesta del retoño de manera comparativa con la biofertilización.

Este resultado corrobora lo obtenido en el manejo de los indicadores del suelo, el cual mostró que para el suelo estudiado el elemento potasio se debe tener en cuenta, para el manejo adecuado del mismo con relación al uso de Rizobacterias en retoños de caña de azúcar.

Resultados de azucarería de los retoños ante la aplicación de Rizobacterias soportadas en turba

Los resultados de azucarería se muestran en la figura 1; para los indicadores Brix, Pol, Pureza los valores son muy parecidos para los diferentes tratamientos, este resultado es debido a que el nitrógeno como elemento esencial para la caña de azúcar, favorece en mayor medida a las variables relacionadas con el crecimiento y desarrollo de la planta, los aportes al contenido azucarero no han reportados, aunque lógicamente una caña abastecida y nutrida tendrá mayores posibilidades de madurar con calidad que un cultivar deficitario en nitrógeno.

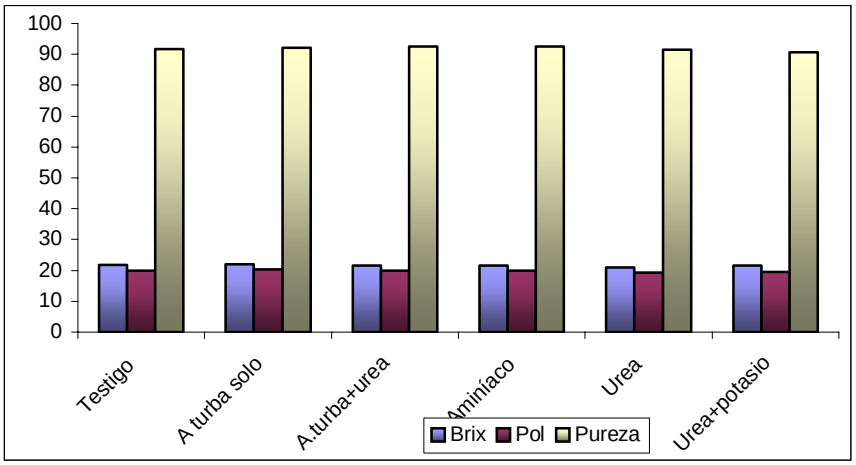


Figura 1. Resultados de azucarería para las variantes Azospirillum soportadas en turba.

Resultados productivos para las aplicaciones de Rizobacterias soportadas en turba y las químicas

La figura 1 nos muestra como el rendimiento agrícola obtenido para la variante 2 (Azospirillum soportado solo (102,70 t/ha) es mayor que el resto de las variantes estudiadas, esto demuestra que resulta ventajoso para la producción utilizar el Azospirillum soportado pues superó en 6,7 t/ha a la variante Azospirillum soportado más Urea y al testigo en 60,9 t/ha, lo cual contribuiría a un ahorro por concepto de recursos a utilizar pero además con la consiguiente protección del medio.

En la figura 2 se puede observar como la población y el peso de las variantes Azosprillum soportado solo y con urea son muy similares, el primero supera al segundo para ambos casos.

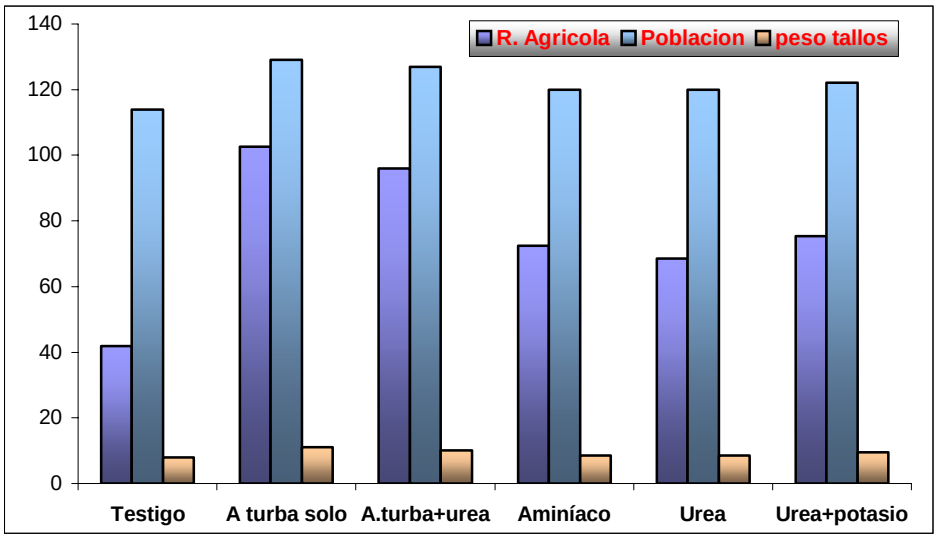


Figura 2. Resultados productivos para las variantes de Rizobacterias soportadas en turba.

Este resultado se debe a los beneficios que brinda esta bacteria y más aún combinada con un sustrato orgánico. Fernández 1999, destacó que la turba es uno de los productos más utilizados con fines agrícolas, después de la cachaza, que como soporte de los microorganismos ha sido usada ampliamente debido a lasa características favorables que ella presenta como su alta capacidad de retención y absorción de agua, su contenido natural de nutrientes, no forma grumos, facilidad de procesamiento, no es tóxico ni contaminantes y por su naturaleza es biodegradable.

No solo esto ofrece ventajas desde el punto de vista biológico a la planta, ofrece ventajas prácticas en el manejo de la bacteria soportada al campo, teniendo en cuenta que los principales problemas detectados en la aplicación líquida del producto lo fue el hecho de la contaminación constante que sufría el producto en su traslado y almacenamiento, por lo que resulta más práctico para el productor utilizar el producto en sacas de manera sólida, que maniobrar con tanques de productos líquidos resultados directos de la fermentación.

Análisis de factibilidad económica para la aplicación de Rizobacterias soportadas en sólidos (Turba).
Las formas sólidas de aplicación de los biofertilizantes para el caso de la turba que se muestra en la tabla III nos indica que el Azospirillum soportado solo, alcanzó los mayores valores para la relación beneficio costo, el volumen de producción obtenido fue muy superior al resto de las variantes analizadas y por consiguiente el valor de la producción obtenida supera ampliamente al resto de las variantes.

Tabla III. Análisis económico de las variantes de aplicación de Rizobacterias en soporte sólido (Turba)

Variantes	Rend. Agríc.	Valor de la producción	Costo cultivo	Costo Aplica.	Costo producto	Costo total	Beneficio	Beneficio Costo
A Sólido	102.70	5227.43	101.66	14.15	180.00	295.80	4931.63	16.67
A.sólido + Urea	96.00	4886.40	101.66	14.15	185.69	301.50	4584.90	15.20
Urea	68.50	3486.65	101.66	14.15	191.38	307.19	3179.46	10.35
Amoníaco	72.40	3685.16	101.66	14.15	124.43	240.24	3444.92	14.33

Conclusiones

- Las variables número de la hoja, área foliar formaron parte del componente 1 con valores propios mayores de 0,8, por lo que fueron las que más influyeron en el sistema estudiado.
- Entre las variables Azospirillum en turba mas turba y el Azopirillum en turba solamente mostraron diferencias significativas para la variable ancho de la hoja.
- Los parámetros de azucarería para la variante azospirillum en turba y el testigo no mostraron una variación notable demostrándose así que los principales aspectos que varían con la aplicación de biofertilizante son los relacionados con el crecimiento de la planta.
- La variante azospirillum en turba superó al testigo en mas de 30 t/ha y resultó la que mayor beneficio económicamente aportó.

Recomendaciones

Se recomienda continuar los estudios sobre lasa aplicaciones de Azosprillum en turba y en otros soportes como cachaza teniendo en cuenta los impactos que este pudiera producir al medio ambiente.

Referencias

1. Arzola, N. y García, E. 1997 Enmiendas y fuentes alternativas de nutrimentos para la caña de azúcar. SERFE. Departamento de Suelo y Fertilizantes. INICA. P. 19 31.
2. Boletín Agrometereológico de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey.
3. Carrobello, Caridad. 2005. Tierras ex cañeras. Diversificación. Bohemia. Año 97. No 19 septiembre. p. 28-35.

4. Fernández, Ramona. 1999. Obtención y Evaluación de un inoculante microbiano a partir de Azospirillum sp. Tesis (en opción al título de Master en Ciencias Microbiológicas). Universidad de la Habana. P.14-19, 20-26, 26-35, 36-59.
5. Fernández, L.; Ortega, E.; Grimm, B. y Hainezal, M.R. 2006. Variación en la concentración de aminoácidos y azucares en plantas de caña de azúcar inoculadas con Pantoea sp. Taller de biofertilización de los Trópicos". Congreso Científico del INCA (14: 2006, nov 9-12, La Habana). Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 959-7023-27-X.
6. Hernández, A. Acebedo, Y.;Diallo, B.; Jazin, M.; Álvarez, M. Y Heydrich, M. 2006. Perspectiva del empleo de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo del tomate. En: III Simposio internacional sobre caracterización y manejo de microorganismos rizosféricos y VIII Taller de Biofertilización de los Trópicos. Congreso Científico del INCA (14: 2006 4 nov 9-12, La Habana). Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 959-7023-27-X.
7. MINAZ. 2007. Catálogo de fichas de gastos directos. Informe. Empresa Agropecuaria España Republicana.
8. MINAZ 2002 Informe de producción de azúcar orgánica. Revista Agricultura Orgánica, Año 8, No. 2.
9. Roldós, J. E.; Casas, M.; Delgado, A. Y Pérez, J. 1994. La biotecnología aplicada a la Agricultura. En: Reunión Iberoamericana ATCC 29145. J. Bacterial. 189. p. 1670-1677.
10. Rodríguez, I.; Pineda, Emma; Más, E. Becerra, E.; Acosta, F.; Quintana, J. M. y Morder, R. 2006. Variación de la fertilidad fosfórica con el tiempo en agroecosistemas cañeros. Taller de fertilidad de suelo y nutrición de las plantas .Congreso Científico del INCA (14: 2006 nov 9-12, La Habana). Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 959-7023-27-X.
11. Saura, G. y Fernández, R. 2003. Fijador de nitrógeno Azospirillum. En: www.fiago.org.sv. Rev. 5/11/2006.
12. Van Elasa, J. D y Heijnenc. 1990. Methods for the introduction of bacteria into soil. A Review Biol. Fertil Soils, (10)p. 127-133.

LABRANZA DE CONSERVACIÓN PARA EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LOS SUELOS ARCILLOSOS PESADOS DEL NORTE DE LA PROVINCIA DE VILLA CLARA Y SIMILARES EN CUBA.

Autores: **Yoel Betancourt**[1], Arnulfo Cabrera[2], Diuneskys López[2], Arnaldo Gutiérrez[1], Inoel García[1].

[1] Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara-Cienfuegos.
[2] Estación Experimental de la Caña "Jesús Menéndez"

Resumen

Se presentan aspectos relacionados con la labranza conservacionista de los suelos arcillosos pesados tales como: labranza mínima con y sin invertir el prisma de suelo, labranza localizada, manejo de la cobertura vegetal y/o residuos agrícolas tanto en la preparación de suelo como en el cultivo, proponiendo medios y métodos para la realización de las mismas. Además los elementos a considerar para la "optimización" del diseño de los órganos de trabajo que se utilizarán en la labranza de estos suelos. Las aplicaciones de estas medidas han dado y aportaran resultados favorables desde el punto de vista económico, tecnológicos y de explotación, de conservación del medio ambiente y particularmente del suelo en dichas condiciones.

Introducción

Los problemas originados en el suelo por manejo inadecuado como compactación, salinización, erosión, etc. ha conducido a que especialistas a nivel mundial se concentren en la búsqueda de medidas que posibiliten revertir esta situación, dentro de ellas están: reducción o sustitución de productos químicos por orgánicos, eliminación de la quema, conservación de los recursos naturales (agua, combustible), técnicas de riego sostenibles, entre otros.

Una de las actividades que más ha influido en el deterioro del suelo es las prácticas de labranza inadecuada, conduciendo a un rápido deterioro físico, químico y biológico de este [17]. Teniendo en cuenta lo anterior es necesario aplicar la labranza conservacionista, la cual se define como cualquier sistema de labranza que reduce las pérdidas de suelo y agua en comparación con la labranza convencional y además retiene cantidades protectoras de residuos sobre la superficie. Después de la siembra debe haber por lo menos 30% de la superficie del suelo cubierta por residuos [40] [45]. La aplicación de este tipo de labranza, en las condiciones del trópico, debe considerar una reducción o eliminación de los arados y gradas de discos por los efectos negativos e indeseables que causan al suelo.

Teniendo en cuenta los factores limitantes para la plantación de la caña de azúcar y los que mayor influencia tienen sobre la mecanización se deben definir las tecnologías y sus variantes de manejo conservacionista para enfrentar las diferentes condiciones edafoclimáticas presentes en Cuba.

Dentro de las condiciones edafoclimáticas están los suelos arcillosos pesados que ocupan el 24.4 % del área cañera nacional [43]. En la llanura norte de Villa Clara, después de la Tarea "Álvaro Reynoso", se encuentra el 26 % del área apta para la producción de caña de azúcar con unas 26153,91 hectáreas [22], siendo los principales agrupamientos de suelos: Vertisol, Hidromórfico y Halomórfico, según la nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba [24].

Estos suelos están severamente afectados desde el punto de vista físico, siendo sus limitantes fundamentales y no las propiedades químicas, por lo tanto las labores culturales que mejoren sus propiedades físicas pueden provocar un incremento en los rendimientos agrícolas en la caña de

Azúcar [10].Uno de los factores que, correctamente conducido, influye directamente sobre esto es la labranza del suelo.
Teniendo en cuenta lo anterior es necesario para dichas condiciones aplicar medidas tales como la labranza conservacionista, en la cual se definan los aspectos relacionados con la aplicación de la misma, siendo el objetivo de este trabajo.

Descripción de la tecnología propuesta.

La labranza de suelo con inversión del prisma utilizando implementos diseñado para tal fin como los arados de discos y vertederas y gradas pesadas deben ser sustituidos por implementos menos complejos y tecnologías económica y ambientalmente aceptables. Las principales razones que conducen a la sustitución de estos implementos son [25]:

- El suelo queda desprovisto de una capa protectora de residuos facilitando la erosión del mismo.
- Creación de pisos de arado.
- Alto consumo de energía.
- Alta exigencia a la humedad requerida en el suelo para el laboreo (tempero).
- Reduce el contenido de materia orgánica del suelo.
- Multiplicación de las malezas que se reproducen por rizomas.
- Elevado tiempo de preparación y altos costos de utilización.

En un trabajo realizado [9], para evaluar, entre otros parámetros, la incorporación del subsuelo a la capa arable en los suelos Oscuros Plásticos, se caracterizó lo que pudiera ocurrir en condiciones naturales con el laboreo utilizando implementos que invierten el prisma dando como resultado que se:

- Contribuye a la acidificación del suelo.
- Disminuyen los nutrientes del suelo, fundamentalmente sobre el potasio asimilable.

Estos sistemas de labranza es una de las vías que afecta las principales propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas), particularmente la bioestructura, es decir su estado grumoso estable al agua, siendo este el elemento fundamental en la fertilidad física de los suelos [36].
La labranza de conservación en los suelos arcillosos pesados para el cultivo de la caña de azúcar debe estar enfocado hacia dos direcciones: *la preparación de suelo y el cultivo mecanizado.* En ambas se debe tener en cuenta varios requisitos para aplicar criterios conservacionistas necesarios en la preservación del medio ambiente, ellos son:

1. Labranza mínima con o sin invertir el prisma de suelo[3] (horizontal y/o vertical) en la preparación de suelo y en el cultivo mecanizado;
2. Manejo de la cobertura vegetal y/o residuos agrícolas;
3. “Optimización” del diseño de los órganos de trabajo que se utilizaran en la labranza de estos suelos.

[3] Lo ideal sería aplicar solamente el laboreo total sin inversión del prisma de suelo, lo que sucede es que en las condiciones de producción aún prevalecen áreas donde esta tecnología no encuentra las condiciones adecuadas para su aplicación.

Labranza mínima sin invertir el prisma de suelo (horizontal y/o vertical).

Preparación de suelo.

En cuba, en sentido general, se definen tres tecnologías de preparación de suelo [40]: laboreo total con inversión del prisma de suelo, laboreo total sin invertir el prisma y laboreo localizado, estas dos últimas pertenecen al sistema de labranza sin inversión del prisma de suelo.
Los principales factores que determinan la aplicación de una u otra tecnología de preparación de suelo en la plantación de la caña de azúcar de forma general son: tipo de suelo, época de plantación, disponibilidad de recursos, equipos e implementos disponibles, las condiciones del terreno. Los dos últimos juegan un papel decisivo en el cumplimiento de los requisitos partiendo de que si no contamos con los implementos de corte vertical y/o horizontal de suelo, la potencia idónea para éstos y si las condiciones del terreno están con alto nivel de infestación de malezas es imposible aplicar este tipo de labranza.
Para la realización de la *labranza sin invertir el prisma* se debe utilizar implementos como el MAU- 250 C para el *laboreo total* [5] [28], diseñado por los especialistas del Instituto de Investigación de la Maquinaria Agrícola (IIMA) y el C-101 para la *preparación localizada de suelo*, diseñado por los investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) u otros que cumplan con ese principio que pueden o no tener órganos de corte horizontal. Estos implementos unidos a las gradas medianas y ligeras completan el proceso de preparación de suelo.

Figura 1. MAU-250 C regulado para desempeñar la labor descepe y rotura

Laboreo total sin inversión del prisma.

Las dos limitantes que tiene el uso de estos implementos es la presencia de obstáculos como rocas, raíces etc. y el alto nivel de enmalezamiento del área a laboral. La primera no ejerce influencia en estas condiciones ya que las mismas están libres de ellos, no así para el segundo ya que éstos constituyen el principal obstáculo y sobre los cueles los productores cañeros deben trabajar a partir de la aplicación del manejo agronómico correcto de las áreas que se renovaran.

Un ejemplo de una variante tecnológica que se ha utilizado en los suelos arcillosos pesados se muestra en la tabla 1.
Ventajas de la aplicación de esta tecnología en comparación con el laboreo tradicional:

- Permite disminuir el consumo de combustibles y lubricantes, los costos de reparaciones y mantenimientos y salario.
- Disminuye los plazos entre labores y total por utilizar implementos que no invierten el prisma de suelo y realizar menos labores.
- Como en estas condiciones edáficas se debe realizar todas las actividades a la caña de azúcar (cultivo, fertilización, cosecha, siembra, etc.) en un período de cuatro meses

(Enero-Abril) posibilita contar con más maquinaria disponible para cubrir todas las actividades.

- Disminuye los niveles de compactación del suelo al realizar menos pases sobre el terreno.
- A pesar de la disminución de labores se alcanzaron valores de población y rendimiento similares a los logrados con la tecnología tradicional.
- Se disminuyen los efectos negativos de la inversión del prisma de suelo.

Tabla 1.Variante de preparación de suelo sin inversión del prisma con el uso del MAU-250 C [23] [3].

Labores	**Equipos (Implementos)**	**Productividad, h/ha**	**Consumo, L/ha**	**Días en Proceso**
Descepe y Rotura	T-150K (MAU- 250 C)	1,34	25,5	de10 a 15
Mullir	Fiat (Grada Mediana)	0,56	6,7	de 8 a10
Profundización [4] (opcional)	T-150K (MAU- 250 C)	0,75	14,2	de 10 a 15
Alistamiento	Fiat (Grada Mediana)	0,56	6,7	de 7 a 8
Nivelar	Fiat (Alisador)	0,45	11,2	-
Alistamiento	Fiat (Grada Mediana)	0,52	6,24	-
Acanterar	Yumz-6K (Guía de Agua)	0,69	4,88	-
Total	**-**	**4,87**	**75.42**	**de 40 a 45**

[4] En dependencia del resultado logrado en la labor de descepe y rotura se puede o no realizar esta labor.

Resultados similares en el laboreo mínimo sin inversión del prisma de suelo han sido reportados por otros investigadores en otros suelos [25] [5] [40] [46] [38] [6] [18].

Figura 2. C-101 M para el laboreo localizado en los suelos arcillosos pesados.

Laboreo localizado

Para la aplicación de esta tecnología se recomienda:

1. *Utilizar el C-101M (Modificado).*

El C-101M tiene como base al C-101 (Implemento para el laboreo primario del suelo en franja, basado en el corte horizontal y vertical del suelo), diseñado por los especialistas en mecanización del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) [21], con la diferencia que se le sustituyó la saeta del órgano descepador y del brazo escarificador por una de 750 mm y 950 mm de

ancho de trabajo respectivamente, además la diferencia de altura entre la saeta delantera y la trasera se redujo entre 8 y 10 cm (figura 2) [4].

2. *Selección correcta del área.*

Se aplicará en bloques plantados con caña en cantero de aproximadamente 20 cm de altura, que se demolerán para plantarlos nuevamente, los cuales no hayan recibido afectaciones considerables en el drenaje superficial del campo.
Investigaciones realizadas con el C-101M dieron como resultado varias variantes tecnológicas. Una de ellas se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Variante para la preparación localizada de los suelos arcillosos pesados.

Labores	**Tractor (Implementos)**	**Número de Pases**	**Productividad, h/ha**	**Consumo, L/ha**	**Días en proceso**
Descorone.	T-150K (Grada Rome)	1	0,40	15	de 4 a 5
Rotura y profundización	T-150K (C-101M)	1	1,20	18	de 12 a 15
Mullido	T-150K (Grada Rome)	2	1,04	32	de 15 a 17
Acanterar	Yumz-6K (Guía de Agua)	1	0,69	4,88	-
Total	-	5	3,33	69,88	17 días

Ventajas obtenidas con el laboreo localizado en comparación con el laboreo mínimo total con inversión del prisma de suelo [4]:

1. La tecnología de laboreo localizado es más productiva, necesitando 2,07 h/ha menos.
2. Permite ahorros en el consumos de combustible de 28 L/ha.
3. Disminuye el costo total de la preparación de suelo en 46,77 peso/ha.
4. Deja el área lista para el acanteramiento un mes antes aproximadamente.
5. El laboreo localizado alcanza población y rendimiento significativamente superior al obtenido con la tecnología de laboreo mínimo total con valores de 7 320 tallo/ha y 9,21 t/ha respectivamente.
6. Uso más racional de la energía, al labrarse solamente el área donde se va a desarrollar la nueva plantación (el 70 % aproximadamente).

Tabla 3. Superficie laborada según el tipo de tecnología en los suelos arcillosos pesados.

Profundidad, cm	**Superficie laborada, m^2**		**Porcentaje del total**
	Labore mínimo total	**Laboreo localizado**	
15	0,36	0,25	69,44
20	0,43	0,30	69,77

Estos resultados coinciden con los obtenidos por otras investigaciones en otras zonas edáficas [15] [19] [2] [34] [8] [20] [37].

Otras ventajas atribuibles a la aplicación del laboreo localizado en estas condiciones:

1. Se atenúa la erosión y degradación del suelo, pues se elimina o minimiza el empleo de los arados de discos y gradas pesadas.
2. No se rompen las guardarrayas, las cuales quedan firmes para el uso de los sistemas de riego y tiro de la caña de semilla.
3. Los residuos de la plantación anterior enriquecen el suelo y mejoran sus propiedades físico mecánicas, justamente en el área de mayor actividad biológica.
4. Se controlan y reducen las poblaciones de malezas como “Don Carlos” y “Paraná”, (hierbas rizomatosas y estoloníferas), que son extraídas a la superficie.
5. Se pueden plantar las tierras bajas (suelos arcillosos pesados) de secano en el momento oportuno, dado el corto tiempo en que se logra alistar el área.
6. Reducción de las emanaciones de CO_2 a la atmósfera por disminuir entre otros el consumo de combustible (en 28 L/ha) y disminuir la oxidación de la materia orgánica ya que se remueve menos suelo, parte de los residuos se quedan en la cubierta y se mantiene la temperatura fresca en este.

Labranza Mínima con inversión del prisma de suelo.

Los dos sistemas abordados anteriormente constituyen las tecnologías idóneas para la conservación del medio ambiente en estos suelos, pero no siempre existen las condiciones que posibilitan su ejecución eficientemente, dado fundamentalmente por el enmalezamiento de los campos. Según lo anterior se han buscado alternativas de preparación de suelo, donde participan implementos que en gran medida superan esta problemática (arados de discos y gradas pesadas), con muy buenos resultados desde el punto de vista de explotación. En la tabla 4 se muestra una de las variantes que más se aplica.
Las principales ventajas obtenidas con la aplicación del laboreo mínimo con inversión del prisma de suelo comparado con el laboreo tradicional son [3]:

1. Es más productiva necesitando 3,51 h/ha menos,
2. Consume entre 40 y 50 L/ha menos.
3. Deja el área lista 20 días antes aproximadamente.
4. No se afecta la población ni el rendimiento agrícola de los campos, a pesar de disminuir el número de labores, el tiempo entre estas y el tiempo total para el acanteramiento del área.

Tabla 4. Variante de laboreo mínimo con inversión del prisma de suelo [3].

Labores	Equipos (Implementos)	Productividad, h/ha	Consumo, L/ha	Días en Proceso
Rotura	T 150-K (AT-90)	1,49	28,3	de 20 a 25
Mullido y profundización	Komatsu (G-14 000)	0,97	29,3	de 10 a 15
Alistamiento	T 150-K (G. Rome)	0,52	9,9	de 2 a 5
Nivelar	T 150-K (Alisador)	0,6	22,5	-
Alistamiento	T 150-K (G. Rome)	0,52	9,9	-
Acanterar	Yumz-6K (Guía de Agua)	0,69	4,88	-
Total	-	4,79	104,78	de 40 a 45

Cultivo Mecanizado.

El cultivo mecanizado a la caña de azúcar, con manejo conservacionista y sostenible, va ha depender de varios factores, los principales son: el tipo de cepa, tipo de suelo, labor a realizar, parque de maquinaria e implemento disponible. De los factores mencionados anteriormente nos centraremos en *el tipo de cepa* teniendo en cuenta que estamos tratando un tipo de suelo (arcillosos pesados) y que el resto de los factores van a estar en función de solucionar las demandas de este.

Los tipos de cepas a las cuales debemos dirigir el cultivo mecanizado son: caña planta, soca y retoños. En éstas, desde el punto de vista mecanizado (influyendo directamente sobre el suelo o para el movimiento de los residuos), se van a realizar actividades para el control de malezas, descompactación del suelo, mullido o fraccionamiento de este, acanteramiento y arrope.

En la tabla 5 aparece un ejemplo de variante de cultivo mecanizado por tipo de cepa para los suelos arcillosos pesados del norte de Villa Clara.

En caña planta la labor de mullido de suelo se propone opcional, dependiendo de los resultados logrados en la labor anterior, determinado fundamentalmente por el nivel de humedad con que se halla realizado, el tiempo de plantado, las labores anteriores además de las condiciones en que éstas se realizaron, es decir la historia del campo en ese nuevo ciclo.

Tabla 5. Variantes de cultivo mecanizado en función del tipo de cepa.

Cepa	Actividad a realizar	Labores	Implementos	Tractores
Caña planta y Retoño	Deshierbe mecanizado	Cultivo de deshierbe	FC-12 con Rake o Rastrillo	Tractores ligeros, clase traccional 14 kN. (Yumz , MTZ)
		Mullido del suelo (Opcional)	Grada Múltiple	Tractores ligeros
		Acanteramiento	Guía de Agua	Tractores ligeros

Retoño	Descompactación	Arrope	Arropador de disco	Tractores ligeros
		Cultivo de descompactación (0,9 y/o 1,60 m)	M-160 ó MAU-250 C	Tractores medianos, clase traccional 30 kN (Fiat 110-90DT, Bielarus MTZ-1221)
		Mullido	Grada Múltiple	Tractores ligeros
		Acanteramiento	Guía de Agua	Tractores ligeros

En el caso de la soca, o en retoños que provienen de caña quedada donde las condiciones físicas del suelo y su nivel de enhierbamiento lo permitan, en los últimos años debido al comportamiento seco de los mismos se ha mantenido la cobertura de paja. Esto debe ser manejado con cuidado si se tiene en cuenta que estos suelos presentan problemas de drenaje interno y externo y en época lluviosa se puede crear condiciones de reducción por déficit de aire, siendo la paja de caña uno de los obstáculos para liberación del exceso de agua lo cual afectaría la vida de la cepa y su rendimiento. A los procesos de reducción se le atribuyen efectos negativos en el suelo [10] como pérdida de nitratos, formación de metano, de sulfitos, hidrógeno gaseoso, etc. que se liberan a la atmósfera y afectan la capa de ozono.

La tabla anterior se refiere a un tipo de implemento para realizar una determinada labor pero pueden ser otros que cumplan el mismo propósito y que este dentro del parque de implementos, además en algunos casos se especifica el nombre del tractor y no su modelo.
Los implementos utilizados para la labranza de suelo en el cultivo mecánico de la caña de azúcar deben ser aquellos que se basan en el principio del corte horizontal y/o vertical por las

Manejo de la cobertura vegetal y/o residuos agrícolas.

La caña de azúcar es uno de los cultivos que más residuos agrícolas aporta al suelo. Cuando la caña se cosecha en verde deja en el campo aproximadamente entre 7 y 10 toneladas de biomasa por hectárea [16].
Esto resulta beneficioso fundamentalmente para el suelo entre otras causas porque: aporta protección al mismo contra el impacto directo de las gotas de lluvia y los rayos ultravioletas del sol, evita los arrastres de suelo y por ende la pérdida de este en las escorrentías, mantiene una temperatura adecuada en el mismo, aporta materia orgánica lo cual contribuye a mejorar sus principales propiedades.

Figura 4. Arropador de dedos flexibles utilizado para el arrope al narigón en caña de Azúcar.

Figura 5. Arropador de discos utilizado para el arrope al narigón en caña de Azúcar

Para el manejo de los residuos agrícolas se han diseñado y modificado nuevos implementos o dispositivos con vista a lograr este propósito. Las figuras 4 y 5 muestran un arropador de dedos flexibles y de discos respectivamente, previstos para el desplazamiento de los residuos hacia una zona del campo (sobre la hilera de caña) con el propósito de: facilitar el laboreo de suelo en el cultivo, control natural de la maleza en la zona donde más difícil resulta esta actividad (desde el punto de vista mecanizado), conservación de la humedad del suelo, aporte de materia orgánica, entre otras. La aplicación del mismo ha dado como resultado incrementos de los rendimientos agrícolas de 5 a 10 t/ha [39].

Figura 6. Cultivador M-l60 con disco pica paja.

De conjunto con el uso del Arropador se le han adaptado a los implementos discos Pica-paja delante de los órganos de trabajo a implementos tanto en la preparación de suelo como en el cultivo. La figura 6 y 7 muestra el cultivador M-160 con disco pica paja y el C-101M en el laboreo primario de los suelos arcillosos pesados sin quema de los residuos agrícolas respectivamente.

Las soluciones presentadas hasta aquí se aplican en condiciones de producción con buenos resultados. Pero no solo el disco pica paja o los arropadores se aplican en el manejo de los residuos, también esta el acoplamiento de dispositivos a las combinadas para el desmenuzamiento de los residuos en el momento de la cosecha, posibilitando que éstos lleguen al suelo de forma triturada y no constituya un obstáculo para las labores pos-cosecha [7] [35] figura 8.

Figura 7. C-101M en el laboreo primario en suelos arcillosos pesados con cobertura de residuos.

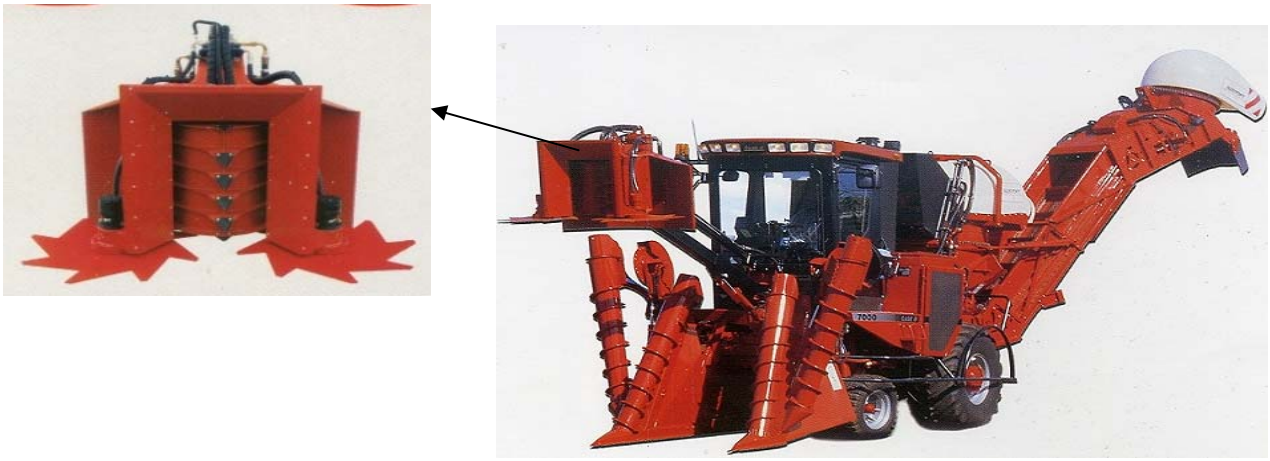


Figura 8. Cosechadora de Caña de Azúcar CASE IH Modelo7000, con dispositivo triturador de

Figura 3. Acanterador o “Guía de Agua”

La última labor que se realiza tanto en la preparación de suelo como en el cultivo es *el acanteramiento* siendo la razón fundamental la necesidad de mantener el cantero para que entre otras ventajas, fundamentalmente se facilite el riego y el drenaje de los campos. La figura 3 muestra el implemento que se utiliza para realizar esta actividad en los suelos al norte de Villa Clara**, se recomienda el empleo de la grada Múltiple Modificada en sustitución de este** para facilitar el manejo de los residuos.

Optimización” del diseño de los órganos de trabajo que se utilizaran en la labranza de estos suelos.

Un aspecto de importancia vital lo constituye el perfeccionamiento de las características constructivas de los órganos de trabajo de los implementos de labranza del suelo ya que éstos constituyen la herramienta mediante la cual actuamos sobre el suelo para transformar su estructura, por tanto los parámetros constructivos de los mismos deben estar en función de desempeñar este trabajo acorde a las exigencias agrotécnicas, garantizando entre otras cosas mayor desmenuzamiento del suelo, demanda energética y traccional “óptimas” acorde a la labor que se este realizando y sus parámetros de explotación.

Para el perfeccionamiento de los mismos se han utilizado métodos experimentales y teóricos. El primero resulta muy costoso por el elevado número de recursos humanos, materiales de equipamiento para su realización, además los resultados que se obtienen son para una condición de suelo y clima en específico, coincidiendo con la existente en el momento de la prueba. Llevar el estudio a todas las condiciones posibles sería incosteable.

En los métodos teóricos tenemos los analíticos y los numéricos. Los métodos analíticos idealizan físicamente el fenómeno a describir mediante ecuaciones matemáticas y se han empleado para la solución de casos bidimensionales o tridimensionales [26] en condiciones estáticas o dinámicas. Este método no ha sido lo suficientemente eficaz en la predicción de la cantidad de suelo removido, ni en la de los esfuerzos actuantes en el órgano de trabajo, fundamentalmente cuando difieren las condiciones del suelo y de la herramienta a la utilizada originalmente en el modelo.

La problemática anterior ha sido superada con la utilización de los métodos numéricos los cuales han ampliado su campo y nivel de aplicación con el desarrollo de la cibernética y la informática.

En los estudios de la interacción del órgano de trabajo con el suelo se han empleado varios métodos numéricos ellos son: Método de Fluido Dinámica Computacional [29] [30] [31], Métodos de Elementos Distintos o Elementos Discretos [44] [42] [27] y el Método de Elementos Finitos [11] [12] [13] [19] [33] [1]. Los dos primeros se encuentran en etapa experimental, el último es el más ampliamente utilizado y el que aplica la mayoría de los software comerciales para los estudios de modelación.

En la Modelación por el Método de Elementos Finitos ejerce gran importancia la definición de los modelos constitutivos a emplear para lograr mayor exactitud en las predicciones en el estudio de la interacción suelo-herramienta, Chi y Tessier, 1994 citado por [26]. El modelo constitutivo que se utilice va a estar en función de la interfase que se este caracterizando, es decir la interfase suelo-suelo o suelo-herramienta. En la tabla 6 se presentan los modelos constitutivos más utilizados según la interfase.

Tabla 5. Modelos constitutivos más utilizados según la interfase [41].

Interfase	Modelo constitutivo
Suelo-suelo	Hiperbólico de Duncan y Chan
	Drucker-Prager
	Cam-Clay
	Estado Crítico
	Modelo de Bailey
	Modelo de Lades
Suelo-herramienta	Modelo de Desai-Siridawardane
	Modelo de Bekker
	Modelo de Clough-Duncan

Los modelos constitutivos del suelo, en sentido general, se clasifican en [41,26]: modelos lineales y no lineales, dependen de la linealidad o no de la ecuación; modelos elásticos, plásticos o elastoplásticos, dependen de si se considera la elasticidad, la plasticidad o ambas en el modelo; modelos dinámicos o estáticos, dependen de la consideración del tiempo en la ecuación.

En dependencia del modelo que se utilice en la interfase suelo-suelo serán los parámetros físico–mecánicos del suelo utilizados como datos de entrada en la modelación.
Los software más utilizados para la modelación por el Método de Elementos Finitos son: COSMOS DESINGSTAR, NISA, ABACUS, COSMOS/M, ALGOR, ANSYS.
Si se tiene en cuenta que los órganos de trabajo utilizados en la labranza de conservación se basan en el corte horizontal y/o vertical del suelo y que además dos de las tecnologías establecidas en los suelos arcillosos pesados para la plantación de la caña de azúcar están basados en ese principio, es indispensable el perfeccionamiento de los parámetros constructivos de estos órganos de trabajo para mejorar su rendimiento agroenergético, al mismo tiempo que se contribuye a mejorar la fertilidad física del suelo.

Conclusiones

1. Emplear las tecnologías de labranza de suelo sin inversión del prisma por las ventajas económicas y medioambientales que esta brinda.
2. Aplicar las técnicas de manejo de los residuos agrícolas tanto en la preparación de suelo como en el cultivo mecanizado de manera que se elimine los efectos negativos de la quema de los residuos y se aprovechen los beneficios que éstos le aportan al suelo.
3. “Optimizar” las características constructivas de los órganos de trabajo utilizado para el corte horizontal y vertical del suelo empleando el Método de Elementos Finitos con vista a perfeccionar sus cualidades agroenergéticas.

Recomendaciones

1. Emplear medidas agronómicas que posibiliten condiciones del terreno favorables para aplicar las tecnologías sin inversión del prisma de suelo total y localizado.

2. Si las condiciones del terreno afectan la aplicación del laboreo mínimo sin inversión del prisma aplicar el laboreo mínimo con inversión propuesta en este trabajo.
3. Modificar el C-101 para su utilización en el laboreo localizado en estos suelos.
4. Continuar la búsqueda de alternativas de manejo de residuos en la labranza de la zona bajo estudio.
5. Estudiar la influencia de la aplicación de estos sistemas de labranza sobre las principales propiedades de estos suelos.

Bibliografía

1. Abu Hamed, N. H. y Reeder, R. C. 2003. A non linear 3D finite element analysis of the soil forces acting on a disk plow. *Soil Till. Res.* (UK) 74: 115-124.
2. Almarales E. et al, 1998. Resultados de la generalización de diferentes variantes de laboreo mínimo en Santiago de Cuba. Informe, INICA.
3. Betancourt, Y. et al, 2005. Tecnologías de laboreo mínimo para los suelos arcillosos pesados del norte de Villa Clara. Memorias AGROCENTRO 2005 (CD).
4. Betancourt, Y. et al, 2006. El laboreo localizado: una tecnología factible para los suelos arcillosos pesados del norte de Villa Clara. Trabajo presentado en el XVI FORUM de ciencia y Técnica. Estación territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara-Cienfuegos, Cuba. (no publicado). 13pp.
5. Bouza, H. et al, 1996. Nuevas tecnologías de labranza mínima en la CPA cañera "Amistad Cuba-Laos". Rev. Cañaveral, Vol. 2, No2, pág. 4 -9, Abril- Junio.
6. Bouza, H. et al. Labranza mínima con multiarado en caña de azúcar. Memoria electrónica del evento Agrocentro 2003, UCLV, Cuba, 2003.
7. Bragachini M. 2001. Mercado de cosechadoras. Proyecto de Agricultura de Precisión. INTA, Manfredy, Argentina.
8. Braunack M. 2000. Strategic tillage, can it work for you?(Aust.) 69:8-9.
9. Cairo P.y col. 1989. Profundidad de la Capa Arable e influencia de la Incorporación del Subsuelo al Suelo. Rev. Centro Agrícola, (2):72-80.
10. Cairo, P. 1990.Caracterización y Mejoramiento de los Suelos Pesados y su Relación con el Cultivo de la Caña. Monografía, UCLV, 104 p.
11. Chi, L. 1990. Finite element analysis of soil forces on two tillage tools. *Canadian Agric. Eng.* (Ca) 33: 39-45.
12. Chi, L. y Kushawaha. R. L. 1991. Three dimensional finite element interactions between soil and a simple tillage tool. *TRANSACTIONS of the ASAE* (USA) 34(2): 3623-366, marzo-abril.
13. Chi, L. y Kushwaha, R. L. 1998. A non-linear three dimensional finite element analysis of soil failure with curved tillage tools. *Canadian Agric. Eng.* (CA) 41 (1): 15-22, enero-febrero-marzo.
14. Córdoba Tomás, R. y col. 2002. Laboreo localizado de suelos. Informe de investigación. INICA (CU). 70p.
15. Córdoba, R. 1997. Análisis de la aplicación del laboreo localizado en el CAI Abrahán Lincoln. Informe, INICA.
16. Cuellar I. A, et al. Caña de Azúcar. Paradigma de Sostenibilidad. INICA, 175pp. , 2003.
17. FAO. La agricultura conservacionista. http://www.fao.org. visitado por última vez diciembre de 2002.
18. Fernández S. et al.2004. Nuevas variantes de laboreo mínimo en la empresa azucarera "América Libre" sin quemar residuos de cosecha. Memoria electrónica de la Jornada

Científica por el 40 Aniversario del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Cuba.
19. Fielke Milton, J. 1999. Finite element modeling of the interaction of the cutting edge of tillage implements wet soil. *J. Agric. Eng. Res*. (UK). 74: 91-101.
20. García, I. et al, 2000. Preparación localizada de suelos para la plantación de la caña de azúcar de villa clara. Rev. Centro Azúcar, UCLV, pág. 26-30.
21. Gómez, A. et al. Nuevas Soluciones para la preparación de suelo en Cuba. Rev. CUBA & CAÑA, pág. 31-36, Septiembre-Diciembre, No 3, 1997.
22. Guillen, S. Informe presentado al viceministro de caña del MINAZ en la Empresa Azucarera "Perucho Figueredo". Grupo empresarial Azucarero de Villa Clara, Cuba. (no publicado).20 pp., 2006.
23. Gutiérrez, A. et al. Tecnología integral para la producción de caña de Azúcar en los suelos arcillosos pesados del norte de Villa Clara. INICA-ETICA Villa Clara -Cienfuegos, 47 pp., 2001.
24. Hernández, A. et al. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelo. Editora AGRINFOR. 64 pp, 1999.
25. Hernanz J. L.1990.Maquinaria para el laboreo mínimo y siembra directa. Ministerio de Agricultura pesca y Alimentación (España) (2): 3-16.
26. Herrera M. 2006. Simulación del comportamiento mecánico de los suelos ferralíticos rojos mediante el método de elementos finitos. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias. Universidad Agraria de La Habana"Fructuoso Rodríguez Pérez", Centro de Mecanización Agropecuaria, Cuba.130p.p.
27. Horoaki, T. y col. 2000. Simulation of soil deformation and resistance at bar penetration by the distinct element method. *J. Terramech.* (UK) 37(1): 41-56.
28. IIMA. 2002. Instructivo técnico del Multiarado M-250 cañero. Ciudad de La Habana. Ediciones IIMA. 11p.
29. Karmakar, S. y Kushawaha, R. 2003. Dynamic analysis of soil-tool interaction a computacional fluid dynamics approach. ASAE Paper No. 030013. 14p.
30. Karmakar, S. y Kushawaha, R. L. 2004. Simulation of soil deformation around a tillage tool using computational fluid dynamics. TRANSACTIONS of the ASAE (USA) 48(3): 923-932.
31. Karmakar, S. y Kushawaha, R. L. 2004. Simulation of soil deformation around a tillage tool using computational fluid dynamics. ASAE Paper No. 041014. 12p.
32. Mouazem Mounem, A. y Nemenyi, M. 1999. Tillage tool design by finite element method: Part 1. Finite element modeling of soil plastic behavior. *J. Agric. En. Res.* (UK) 72: 37-51.
33. Mounem Mouazem, A. y Nemenyi, M. 1999. Finite element of subsoiler cutting in non homogeneous sandy loam soil. Soil & Till. Res. (UK) 51: 1-15.
34. 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.
35. Piery C. y col. 2002. No till farming for sustainable rural development. Development and Reconstruction International Bank. Rural Development Department, Washington, 77pp.
36. Primavesi A. Manejo Ecológico del Suelo. Editorial el Ateneo, 499 pp, 1984.
37. Pupo E. et al, 2004. El laboreo localizado con el C-101, resultados técnicos-económicos obtenidos en la aplicación entre el periodo 1999-2001 en la provincia Las Tunas. Memorias Cuarenta Aniversario del INICA (CD).
38. Rebolled J.P. y Gómez J.F. 2000.Sistema de labranza reducida en el ingenio Manuelita S.A. Rev. Cenicaña (Colombia) (1 y 2):30-34.
39. Rodríguez I. y col. 2005. El arrope al narigón con residuos de cosecha, un herbicida ecológico para la caña de azúcar. Memorias XVIII Congreso de la Asociación Latinoamericano de las Malezas (CD).

40. Santana, M. et al. 1999. Principios básicos para la aplicación de tecnologías de preparación de suelos en el Marco de una agricultura conservacionista y sostenible. INICA-MINAZ-IIMA-CNCA, 77 pp.
41. Shen, J. y Kushawaha, R. L. 1988. Soil-Machine interactions: A finite element perspective. New York. Ed. Marcel Dekker, Inc.316p.
42. Shikanai, T. y Uno, M. Simulation of soil resistance at plate at plate penetration by the Distinct Element Method. ASAE Paper No. 02-3046. 8p.
43. Suárez, H. J., et al. Programa de fitomejoramiento. Impacto en la producción azucarera cubana. INICA, 99 pp., 2003.
44. Tanaca, H y col. 1999. Numerical analysis of soil loosening en subsurface tillage by a vibrating type subsoiler by jeans of the Distinct Element Method. 13th International Conference Soil Dynamics. Munich. Alemania.
45. Uri N. D., Atwood J. D. y Sanabria J. 1999. The Environmental benefits and costs of conservation tillage. Environmental Geology 38 (2).
46. Villega R.2000. Labranza reducida en oriente S.A. Rev. Cenicaña (Colombia) (1 y 2):28-30.

ANÁLISIS AGROINDUSTRIAL DE DOS EMPRESAS AZUCARERAS DE LA PROVINCIA DE HOLGUÍN

R. Cruz, A. Céspedes, Ibis Labarta, Betty Bendig, J. Ibarra, Odalis Luis, Yakelin Basto y Mabel Romero.

Estación Provincial de Investigación de la Caña de Azúcar de Holguín.
epica@hl.minaz.cu

Resumen

Se presentan los resultados obtenidos en un estudio realizado con el objetivo de conocer las causas que afectan el rendimiento industrial de las Empresas Azucareras "Fernando de Dios" y "Loynaz Hechavarría". Para ello, se evaluó el comportamiento de un grupo de variables durante el período 1978 – 2002 en la Empresa "Fernando de Dios" y durante 2007 en "Loynaz Hechavarría", las cuales se sometieron a análisis uni y multivariados, que pusieron de manifiesto que en "Fernando de Dios" el volumen de caña que se procesó de la variedad Ja60-5 tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento base 96^o (r = 0.53), pero no constituyó el factor más importante; el mismo estuvo afectado por las lluvias, fundamentalmente la sumatoria de la del mes más la de los dos anteriores, el tiempo perdido y el que media entre el corte y la molida. Los mejores resultados se han logrado en el período febrero – mayo, por lo que se recomienda el mismo como el más adecuado para enmarcar la zafra. En "Loynaz Hechavarría", el rendimiento base 96^0 fue inferior al planificado en todas las decenas evaluadas, siendo afectado por la calidad de la materia prima y por ineficiencia de la industria, evidenciado por el bajo aprovechamiento del RPC; el efecto de la lluvia sobre el rendimiento base 96^0 resulto similar al ya mencionado.

Palabras clave: Rendimiento, eficiencia industrial, calidad de la materia prima.

Summary

Results presented were obtained in a study carried out in order to know the causes that affect the industrial yield of the sugar enterprises "Fernando de Dios" and "Loynaz Hechavarría". For it, the behavior of a group of variables was evaluated during the period 1978 - 2002 in the enterprise "Fernando de Dios" and during 2007 in "Loynaz Hechavarría", which were submitted to uni and multivariate analysis that showed that in "Fernando de Dios", the processed cane volume of the variety Ja60-5 had a positive effect on the bases 96º yield (r = 0.53). but it didn't constitute the most important factor; the same one was affected by the rains, fundamentally the sum of that of the month more two months previous to cutting, the lost time and the one that mediates among cutting and the one milled. The best results have been achieved in the period February - May, for what the same one is recommended as the most appropriate to perform the harvest. In "Loynaz Hechavarría", the bases 96º yield was lower than the one planned in all evaluated tenths, being affected by the quality of the row matter and the unefficiency of the industry, evidenced by the low proficiency of RPC; the effect of the rain on the bases 96º yield was similar to the already mentioned.

Key words: Yield, industrial efficiency, quality of the matter prevails.

Introducción

La zafra azucarera constituye uno de los últimos eslabones de un largo y complejo proceso productivo, cuya eficiencia refleja el grado de optimización de un grupo de factores agronómicos, industriales, climáticos, socio – económicos, etc; por ello, cualquier elemento que limite el éxito, debe ser analizado detenidamente y tenido en cuenta en la toma de decisiones, tanto técnicas como gerenciales.

En diversas ocasiones se han hecho precisiones referentes a la necesidad de lograr una alta eficiencia en la producción de azúcar; al respecto, el ministro del azúcar señaló que el proceso de cambios en la agroindustria azucarera tiene como fin disminuir los costos de la tonelada de azúcar, llevar más alimentos a la población mediante la diversificación y desarrollar una agroindustria sostenible (Varela, 2004).

En la provincia de Holguín se han efectuado diversos análisis tendientes a esclarecer las causas del deficiente comportamiento del rendimiento obtenido en diferentes momentos en varios centrales azucareros, entre ellos, los realizados por Ibis Labarta y Betty Bendig (inédito), Ibis Labarta y Argota (1997), Argota et al (1999) y otros. Entre las causas que han influido en los resultados productivos se señalan, entre otras, las siguientes: enmarcar las zafras en un periodo no adecuado, proceso industrial deficiente, efecto de las enfermedades y plagas, el comportamiento de las lluvias, etc

Teniendo en cuenta que los rendimientos alcanzados en los ingenios "Fernando de Dios" y "Loynaz Hechavarría" han estado muy por debajo de los planificados, se realizó este trabajo con el objetivo de conocer las posibles causas de tal comportamiento y aportar elementos técnicos que ayuden a la toma de decisiones para aplicar estrategias dirigidas a elevar la eficiencia agroindustrial.

Materiales y Métodos

Para realizar el estudio, se tomó información correspondiente al período 1978 – 2002 en la empresa azucarera "Fernando de Dios" y al 2007 en "Loynaz Hechavarría".

Las variables evaluadas en "Fernando de Dios" fueron las siguientes:

- Rendimiento base 96^{o}
- Volumen de caña procesado de la variedad Ja60-5
- Lluvia mensual de la Empresa.
- Brix
- Pol en jugo
- Pureza
- Rendimiento
- RPC
- Fibra
- Materias extrañas
- Tiempo entre el corte y la molida
- Tiempo perdido total
- Molida potencial

En "Loynaz Hechavarría" no se evaluó la molida potencial ni el volumen de caña procesada de la variedad Ja 60-5; en cambio, se incluyeron las siguientes:

- Azúcares reductores
- Ph
- Gomas hidro – alcohólicas
- Rendimiento guía
- Aprovechamiento del RPC
- Pureza del jugo mezclado
- Recobrado

Se efectuaron muestreos azucareros, según las Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba (Jorge et al, 2002), conteos de población y de hojas activas, evaluación del estado fisiológico y fitosanitario de las plantaciones, muestreos para la determinación de materias extrañas y revisión de las programaciones de corte decenales.

A las matrices de datos se les realizaron análisis de varianza (ANOVA) de clasificación doble y de componentes principales (ACP) mediante el paquete estadístico STATITCF (versión 4.0), determinándose

las correlaciones entre variables, las componentes principales y su contribución a la variación total, las variables más importantes en cada componente, así como la representación gráfica de la primera y segunda componentes. En los casos en que se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Newman Keuls.

Resultados y Discusión

Empresa Azucarera "Fernando de Dios".

Para efectuar este análisis, se tomó la información de las zafras realizadas en el periodo 1978-2000; en el mismo, el volumen de caña procesado de la variedad Ja60-5 osciló entre 2.1 y 30.4 millones de @, correspondiendo dichos valores límites a las zafras 2000 y 1985 respectivamente, mientras que el rendimiento base 96° varió entre 8.97 y 12.83 en las zafras 1994 y 1985. El coeficiente de correlación calculado entre ambas variables, el cual indica el grado lógico en que están relacionadas entre sí , o sea, el grado de dependencia, fue de r = 0.53, significativo con una probabilidad de error del 5 %, no obstante, dicho valor se puede considerar que es bajo, si tenemos en cuenta que el coeficiente de determinación (t), que explica el porcentaje en que las variaciones del volumen de caña de Ja60-5 influyeron en el rendimiento base 96°, fue de t = 0.28, o sea, sólo el 28 % de las variaciones del rendimiento se debieron al efecto producido por las variaciones del volumen de caña de la variedad Ja60-5 procesado en el período 1978-2000, por lo que hay otra u otras causas que inciden en forma más directa.

En las figuras 1 y 2 se muestran los datos del volumen de caña de Ja60-5 y el rendimiento base 96°, por zafra, durante el período mencionado, los mismos no muestran evidencias suficientes para establecer una relación de causa y efecto, en correspondencia con lo anteriormente expuesto. Al respecto, Argota et al (1990), al efectuar una validación de la variedad C86-503 en esta empresa, encontraron que el porcentaje de caña molida de Ja60-5 tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento base 96°, pero el coeficiente, aunque fue significativo para una probabilidad de error del 5 %, fue bajo (r = 0.25).

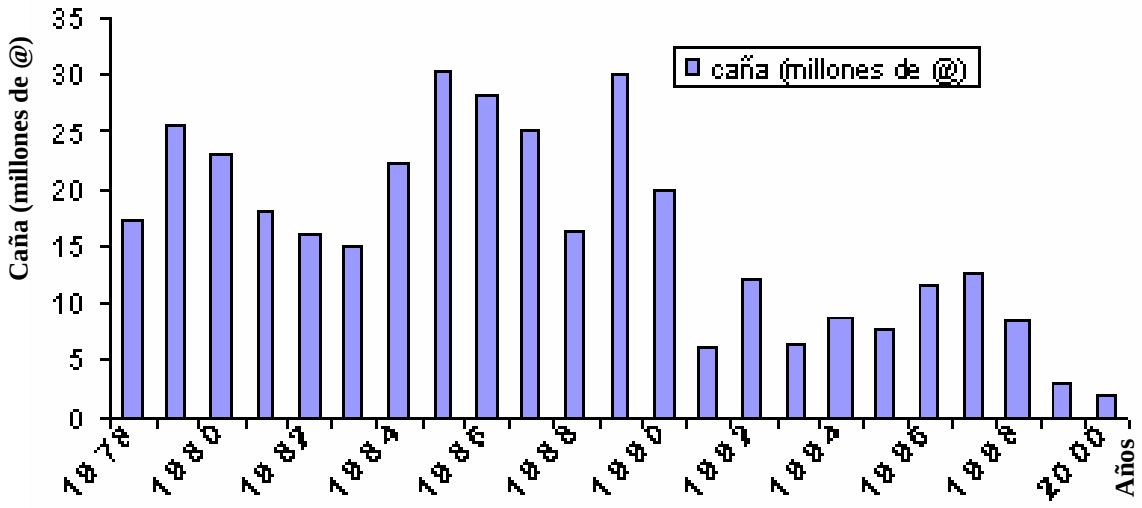


Fig 1 . Volumen de caña procesada de la variedad Ja60-5.

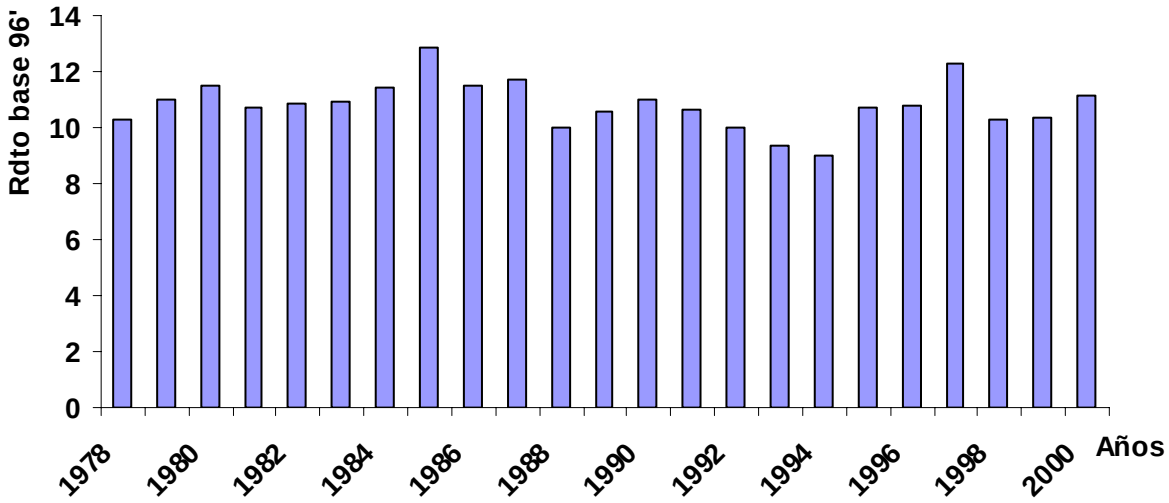


Figura 2. Rendimiento base 96º alcanzados en las zafras

Relación entre el rendimiento base 96º, el RPC, el tiempo perdido, la frescura y el porcentaje de materias extrañas.

El análisis se realizó sobre la base de la información correspondiente a las 10 zafras efectuadas en el periodo 1993-2002; los resultados se muestran en la figura 3 y tabla I.

En la figura 3 se observa que el RPC y el rendimiento base 96º estuvieron asociados positivamente con un valor de r = 0.96 (con una probabilidad de error del 1 %), o sea, el RPC es un indicador de cómo habrá de comportarse el rendimiento base 96º en la industria, comportamiento que es lógico esperar. A su vez, éste estuvo afectado por el tiempo perdido total (r = -0.87), lo que pone de manifiesto la importancia que reviste la estabilidad de la molida en la eficiencia operativa.

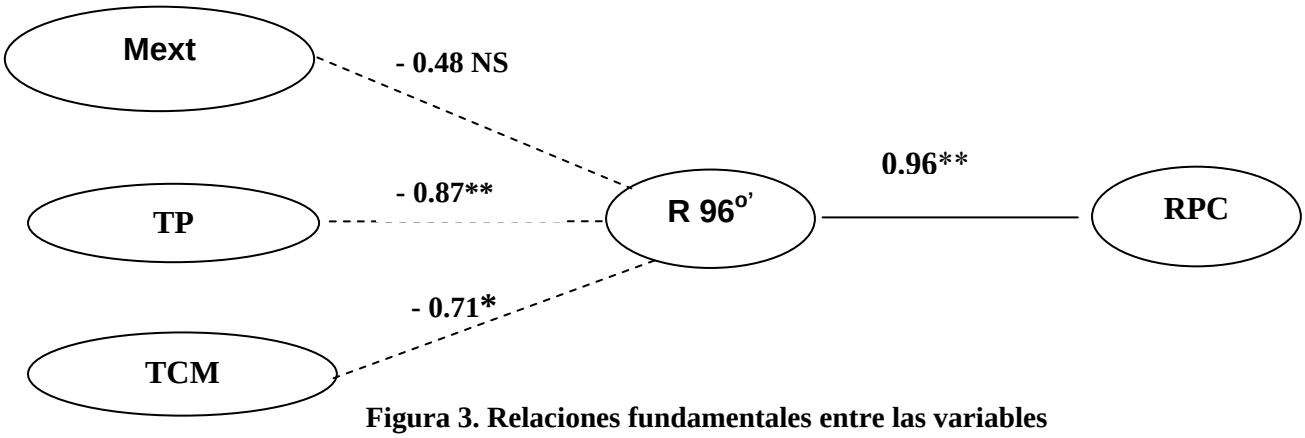


Figura 3. Relaciones fundamentales entre las variables

Por otra parte, a medida que se incrementó el tiempo entre el corte y la molida, se afectó el rendimiento base 96º (r = -0.71, con una probabilidad de error del 5%), es decir, el elemento frescura de la caña es otro factor a tener en cuenta. Así mismo, hubo una tendencia a la existencia de un efecto negativo del porcentaje de materias extrañas sobre el rendimiento base 96º, aunque el efecto principal de este elemento debe manifestarse de otra forma.

Teniendo en cuenta algunos de los resultados que han sido expuestos, se efectuó un análisis comparativo de

las variables Rendimiento base 96°, RPC, Pol en caña y Pureza, por decenas, tomándose las comprendidas entre la 3ra de enero y la 3ra de mayo, ambas inclusive, por ser éste el periodo en que se enmarca la mayoría de las zafras (ocho entre 1990 y 2002). En la tabla I se presenta un resumen de los ANOVA, en la que se observa que las diferencias entre los años fueron más consistentes, pues fueron significativos para $p \leq 0.001$ en todos los casos, mientras que entre las decenas lo fueron con ese nivel de significación sólo en la variable RPC y para $p \leq 0.05$ en el % pol en caña.

Tabla I. Resumen de los ANOVA de las variables Rendimiento 96°, RPC, % Pol Caña y Pureza.

	Rdto 96°			RPC		%Pol caña		Pureza	
	GL	CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig
Total	103	2.30		1.02		1.71		3.29	
Decenas	12	3.30	N.S	1.77	***	2.56	*	1.75	NS
Años	7	7.22	***	5.96	***	6.83	***	26.33	***
Error	84	1.75		0.50		1.17			

NS. Diferencia no sig. *- Sig. $p \leq 0.05$ ***- Sig. $p \leq 0.001$

En la tabla II se muestra la comparación de las medias por decenas y por años, observándose que el mejor comportamiento del RPC fue en el periodo comprendido desde la segunda decena de febrero hasta la tercera de mayo, con valores significativamente superiores y por años el 1997 resultó el mejor.

Tabla II. Comparación de medias de las variables en el período enero – mayo durante ocho zafras.

Decenas	RPC		Polcaña		Años	Rdto 96o	RPC	Pol caña	Pureza
3ra decena de enero	10.71	bc	11.97	ab	1990	11.29 b	11.96 b	12.95 b	85.08 a
1ra decena de febrero	10.62	c	12.20	ab	1992	10.20 b	10.37 d	12.08 b	83.55 b
2ra decena de febrero	10.80	abc	12.06	ab	1996	11.00 b	11.34bcd	12.40 b	85.48 a
3ra decena de febrero	11.11	abc	12.87	ab	1997	12.35 a	12.75 a	14.13 a	85.78 a
1ra decena de marzo	11.40	abc	12.49	ab	1998	10.48 b	10.88 cd	11.89 b	82.39 b
2ra decena de marzo	11.45	abc	13.04	ab	2000	11.06 b	11.13 cd	12.90 b	82.25 b
3ra decena de marzo	11.47	abc	12.81	ab	2001	10.37 b	10.93 cd	12.04 b	82.89 b
1ra decena de abril	11.78	ab	12.85	ab	2002	10.65 b	11.59 bc	12.54 b	83.10 b
2ra decena de abril	11.87	a	13.78	a					
3ra decena de abril	11.97	a	13.06	ab					
1ra decena de mayo	11.96	a	12.86	ab					
2ra decena de mayo	11.73	abc	12.34	ab					
3ra decena de mayo	11.50	abc	11.67	b					

Al analizar las medias de RPC y R96° (figura 4), observamos que la diferencia entre estos dos rendimientos es alta, lo que permite definir que no le están extrayendo todo su potencial a la materia prima que se procesa, excepto en el año 2000.

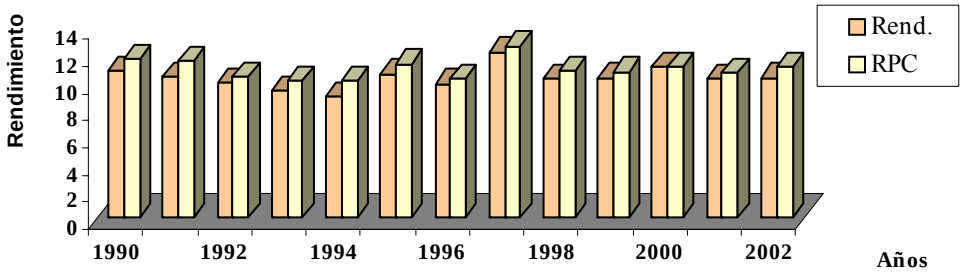


Figura 4. Comportamiento del rendimiento 96° y el RPC por zafras (período 1990-2002).

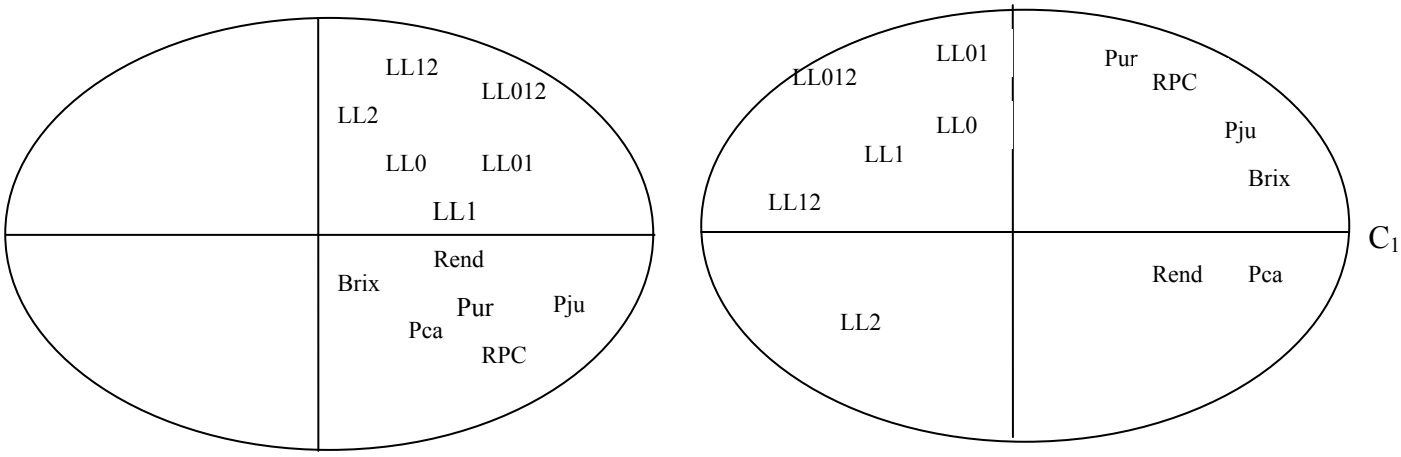
Efectos de las lluvias sobre el RPC y el rendimiento base 96°

Se procedió a efectuar ACP con las variables siguientes: lluvia del mes (LL0), del mes anterior (LL1), del segundo mes anterior (LL2), la suma del mes más la del mes anterior (LL0+1), la de los dos meses anteriores (LL1+2) y la del mes más la de los dos anteriores (LL0+1+2), conjuntamente con los decenales del brix, pol en jugo, pureza, pol en caña, RPC y rendimiento base 96°. Las matrices de correlación correspondientes a las diferentes zafras, analizadas en forma independiente, muestran que el mayor efecto de las lluvias sobre las variables industriales mencionadas estuvo dado por la lluvia del mes más la suma de los dos anteriores (LL0+1+2) y la menos importante fue la lluvia del mes; para ilustrar estos resultados; en la tabla III se presenta la matriz correspondiente a la zafra 1993. Al respecto, Ibis Labarta y Betty Bendig (inédito), al efectuar un análisis de la producción industrial en el ingenio Guatemala, encontraron que las precipitaciones ocurridas un mes antes, el total de los dos meses antes y durante la cosecha, incidieron negativamente en la pol del jugo que llegó a la industria.

Tabla III. Matriz de correlaciones entre las variables industriales y las de lluvia. (zafra de 1993).

	BRI	PJU	PUR	PCA	REN	RPC	LO	LL1	LL2	LL01	LL12	LL012
BRI	1.0000											
PJU	0.945	1.000										
PUR	0.472	0.734	1.000									
PCA	0.622	0.788	0.833	1.000								
REN	0.568	0.734	0.799	0.960	1.000							
RPC	0.862	0.978	0.849	0.839	0.797	1.000						
LO	-0.101	-0.317	-0.648	-0.441	-0.472	-0.413	1.000					
LL1	-0.466	-0.576	-0.585	-0.436	-0.360	-0.628	-0.107	1.000				
LL2	-0.696	-0.589	-0.135	-0.488	-0.467	-0.491	-0.046	-0.036	1.000			
LL01	-0.408	-0.656	-0.923	-0.655	-0.626	-0.768	0.713	0.621	-0.062	1.000		
LL12	-0.811	-0.832	-0.552	-0.656	-0.583	-0.811	-0.114	0.775	0.603	0.456	1.000	
LL012	-0.714	-0.883	-0.896	-0.832	-0.796	-0.935	0.617	0.539	0.445	0.866	0.711	1.000

En la figura 5 se muestra la ubicación de las variables en el eje de coordenadas (círculo de las correlaciones), correspondiente a las zafras de 1990 y 1992, se observa que las variables de lluvia tienen efectos contrapuestos a las industriales, tanto en la primera como en la segunda componentes, lo que corrobora lo expuesto sobre el efecto de las primeras cuando se efectúa el análisis por decenas.



a) Zafra de 1990 **b) Zafra de 1992**

Figura 5. Ubicación de las variables en el eje de coordenadas.

En la figura 6 se presenta el comportamiento de las lluvias durante el período 1989-2002, en la cual observamos que las lluvias del período previo a inicio de zafra (octubre– diciembre) son relativamente abundantes, lo que, a la luz de algunos de los resultados aquí expuestos, afectan la calidad de la materia prima.

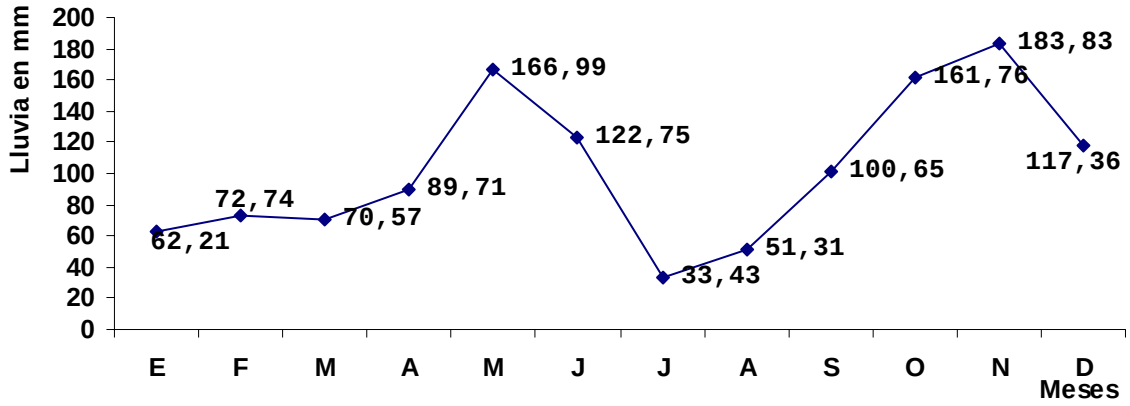


Figura 6. Comportamiento de las lluvias en la Empresa Fernando de Dios durante el periodo 1989-2002.

Empresa azucarera "Loynaz Hechavarría".
En la tabla IV se ofrece la información referente a la materia prima procesada, observándose que los mayores volúmenes son tributados por las Empresas "Urbano Noris" y "Loynaz Hechavarría", representando entre ambas el 87.6 %, (fundamentalmente de las variedades C86-503, C120-78, C323-68, C1051-73 y C86-12, con un predominio de las cepas primavera quedada y retoño quedado).

Tabla IV. Materia prima procesada durante el período.

Empresas	Ton caña	%	Acumulado
"Urbano Noris"	42 145	45.0	45.0
"Loynaz Hechavarría"	39 924	42.6	87.6
"López Peña"	7 585	8.1	95.7
"Fernando de Dios"	2 646	2.8	98.5
"Cristino Naranjo"	1 433	1.5	100.0
Total	93 733	100.0	

En la tabla V se muestra el rendimiento base 96º alcanzado por decenas, observándose que los mismos han sido insatisfactorios durante todo el período de zafra, estando muy por debajo de los valores planificados.

Tabla V. Rendimiento base 96º alcanzado por decenas.

Decenas	Rdto. 96º
1ra enero	7.02
2da enero	6.25
3ra enero	8.04
1ra febrero	8.35
2da febrero	8.85

El análisis de las posibles causas que originaron bajos rendimientos, sugiere que las mismas pudieran estar relacionadas con la calidad de la materia prima que se estaba procesando en la industria y con la eficiencia de ésta.

Al evaluar el estado de las plantaciones que están siendo llevadas a zafra, se observan diferencias entre las empresas; en la tabla VI se ofrece un breve resumen de dichas evaluaciones. En Loynaz Hechavarría entre las principales variedades que se estaban cosechando, se encontraban C120-78, C90-530 y C86-12, observándose altas poblaciones de tallos no molibles o renuevos y gran número de hojas activas en las dos primeras, comportamiento que debe estar relacionado con las abundantes lluvias del período pre – cosecha (608.5mm en oct – dic) según se observa en la figura 7.

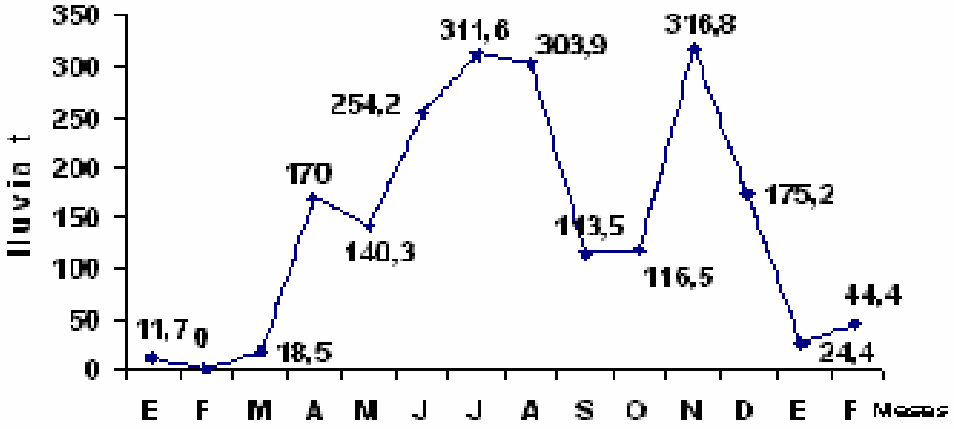


Figura 7. Resumen de lluvia de la Empresa azucarera "Loynaz Echevarria".

En Urbano Noris, donde predominaban C86-503 y C120-78, se observó que la primera presentaba un balance de tallos desfavorable y síntomas de deterioro, fundamentalmente en las primaveras quedadas. En "López Peña", las principales variedades que se estaban llevando a zafra eran C120-78, C86-503 y C323-68; en general, el estado de las plantaciones era satisfactorio, tributando materia prima con buena calidad.

Tabla VI Composición de tallos en diferentes variedades, por empresas

Empresa	Variedad	Total tallos/m	Molibles	No molib.	Secos	Afect. por roed.	Hojas activ.
Loynaz Hechavarría	C120-78	21.18	11.18	7.27	2.72	2.82	9.09
	C90-530	19.25	11.75	7.50	0.0	2.75	9.50
	C86-12	12.33	10.0	2.30	3.6	2.66	3.33
Urbano Noris	C86-503	23	14	6	3	3	8
	C120-78	15	13	1	1	1	7
López Peña	C120-78	14.3	13.3	1.0	-	1	7
	C86-503	10.7	9.0	1.7	-	0.0	9
	C323-68	14.0	12	1.0	1.0	1.0	6

Las materias extrañas entregadas por las cosechadoras en los centros de acopio de "Loynaz Hechavarría" presentan valores altos, tanto en el horario de la mañana como en el de la tarde, destacándose el componente cogollo con valores superiores al 35 % de todas las materias extrañas. (Figura 8).

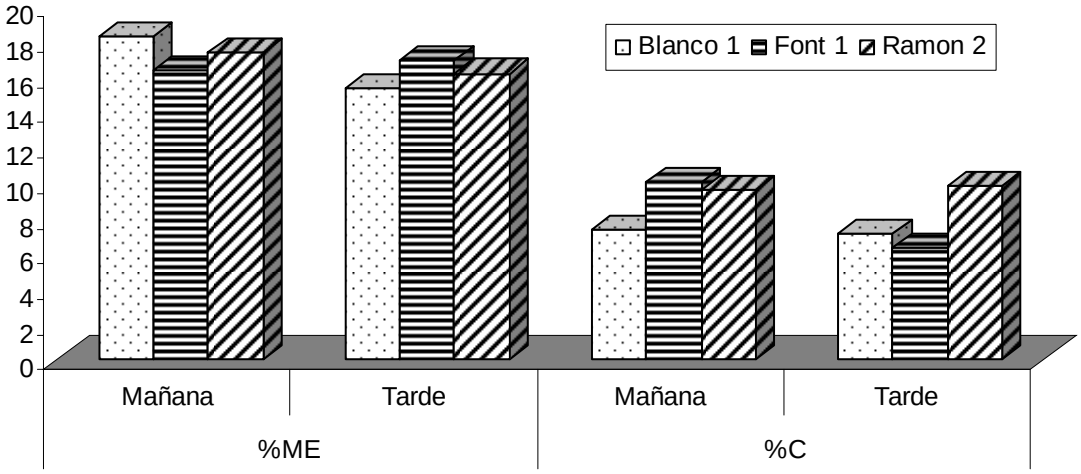


Figura 8 Comportamiento de las materias extrañas en tres centros de limpieza

Al efectuar el análisis del comportamiento de los rendimientos (Fig. 9) podemos apreciar que las diferencias entre el rendimiento del jugo (RPC) y el rendimiento base 96^0 reportado alcanzó valores superiores a 1.1 excepto en los últimos cuatro días de zafra, lo que evidencia un bajo aprovechamiento del primero, resultado que ha estado dado por afectaciones en el proceso industrial.

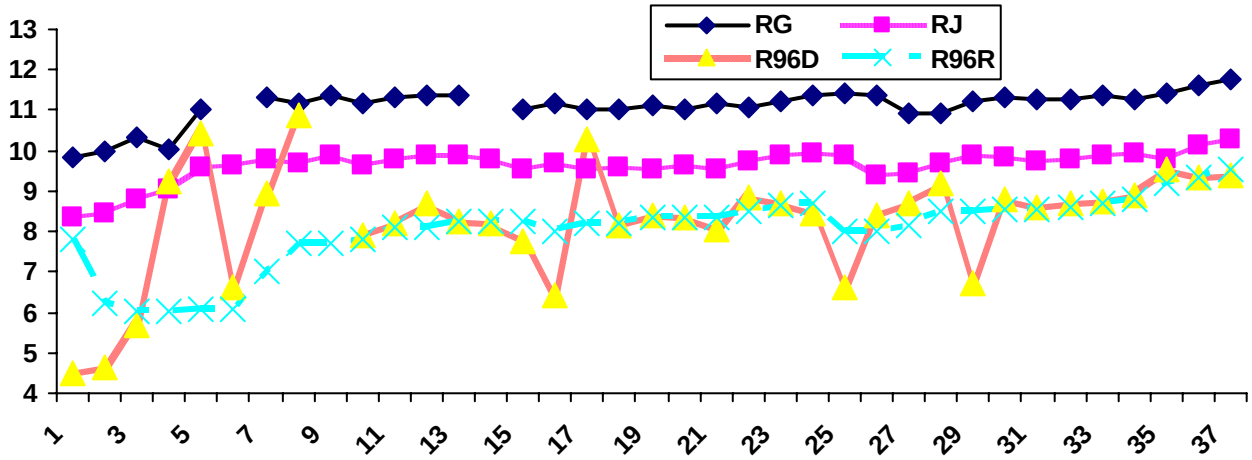


Figura .9. Comportamiento de los rendimientos de la zafra 2007 en la Empresa Azucarera "Loynaz Hechavarría"

Asociaciones de las variables estudiadas con el rendimiento base 96^o.

Cuando analizamos las correlaciones de las 25 variables en estudio con el rendimiento base 96^o (Fig.10), se observa que sólo correlacionaron positivamente al 1% el rendimiento del jugo (RPC) y el recobrado y al 5% el rendimiento guía y el brix del jugo, no produciendo ningún tipo de efecto en éste la pureza del jugo primario y la del mezclado.

Las gomas tienen un efecto adverso no significativo, no así las materias extrañas, que a pesar de mantenerse durante toda la zafra con valores muy superiores a las normas establecidas (estuvieron entre 8.10-14.08%), sólo presentaron una tendencia negativa, esta misma situación sucede con el Ph, que de los 37 días de zafra controlados, sólo el 13.5 % alcanzó valores de 5.0.

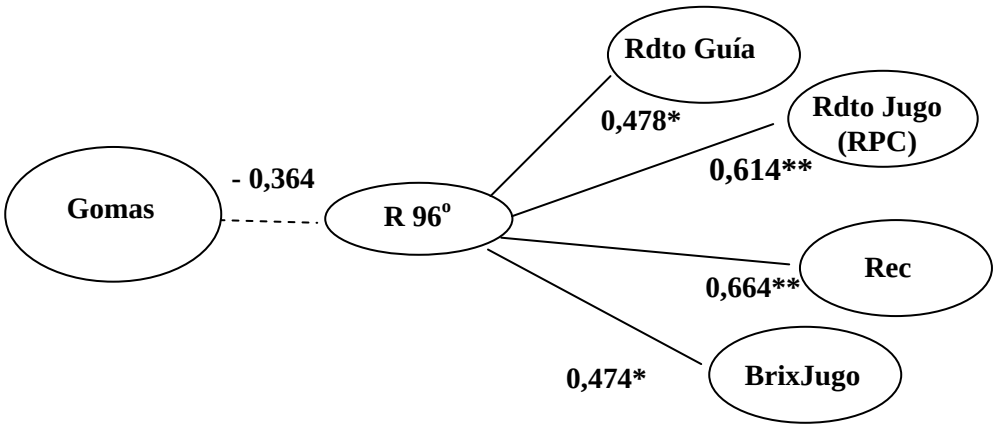


Figura 10. Asociaciones de las variables estudiadas con el rendimiento base 96^0

Asociaciones entre las lluvias y el rendimiento base 96º.

Las lluvias del mes, tanto en "Loynaz Hechavarría" como en Urbano Noris¨, tuvieron un efecto positivo significativo al 5% (Fig.11), tal comportamiento debe estar dado porque las mismas fueron escasas durante el período de zafra; los efectos de las lluvias de los dos meses anteriores y la suma de la del mes más la de los dos meses anteriores fueron adversos, significativos al 1%, en ambas localidades, al parecer por sus altos valores; estos resultados corroboran los obtenidos en la Empresa Azucarera " Fernando de Dios".

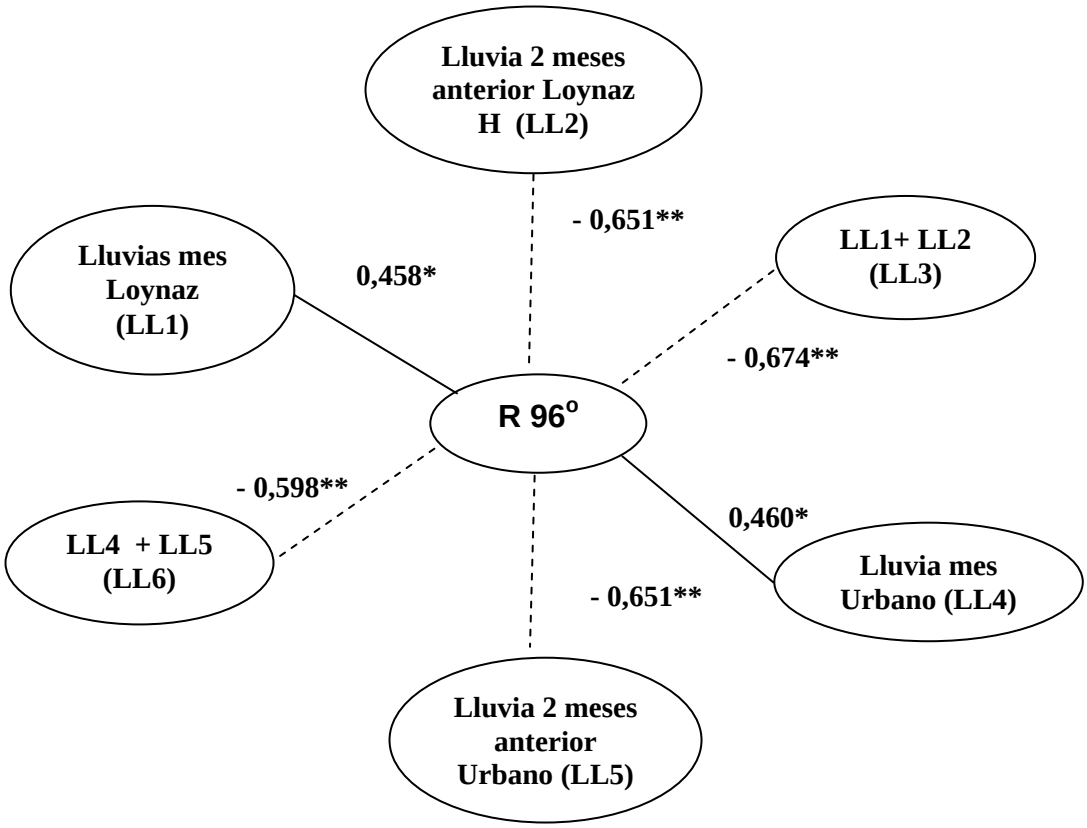


Figura11. Asociaciones de las lluvias con el rendimiento base 96º.

Conclusiones y Recomendaciones

Empresa azucarera "Fernando de Dios"

- El volumen de caña que se procesó de la variedad Ja 60-5 tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento base 96^{o} ($r = 0.53$), pero no constituyó el factor más importante.
- El tiempo perdido y el que media entre el corte y la molida afectaron negativamente el rendimiento base 96^{o}; también hubo una tendencia a ser afectado por el porcentaje de materias extrañas.
- El tiempo perdido ha sido alto en varias zafras y consecuentemente, el aprovechamiento de la norma potencial ha sido bajo, con los consiguientes efectos negativos sobre la eficiencia industrial.
- Los mejores resultados de zafra se han logrado en el período febrero-mayo, por lo que se recomienda, preliminarmente, enmarcarla en éste.

Empresa azucarera "Loynaz Hechavarría"

- Los mayores porcentajes de materia prima procesada corresponden a las áreas pertenecientes a las Empresas "Urbano Noris", "Loynaz Hechavarría", representando entre ambas el 87.6 % del total.
- Los resultados evidenciaron un bajo aprovechamiento del RPC, lo que debe estar dado por deficiencias en el proceso industrial.

Ambas empresas

- El mayor efecto de las lluvias sobre el rendimiento base 96^{o} estuvo dado por la suma de la lluvia del mes más la de los dos meses anteriores a la cosecha.
- Los rendimientos base 96^{o} fueron inferiores a los planificados, siendo afectados por la calidad de la materia prima y por ineficiencia de la industria.
- La información ofrecida por el laboratorio y la sala de análisis, en muchos casos no reflejan la realidad del proceso agroindustrial.
- Se recomienda continuar los estudios de calidad de la materia prima y profundizar en las causas que provocan afectaciones en el proceso.

Referencias Bibliográficas

1. Argota, A., Ibis Labarta y Betty Bendig (1999). Validación de los resultados a escala industrial de la variedad C86-503 en la provincia de Holguín. Informe técnico.
2. Jorge H., R. González, M. A. Casas, Ibis Jorge (2002). Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. Boletín N^{o} 1. Cuba & Caña. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, 315pp.
3. Labarta Ibis y A. Argota (1997). La calidad de la materia prima de la agroindustria azucarera en la provincia Holguín. XIII Forum de Ciencia y Técnica.
4. _____ y Betty Bendig. Análisis de la producción industrial en el ingenio Guatemala durante los 90 años de operaciones fabriles (1907 – 1998). Inédito.
5. Varela, J. (2004). Entrevista del Ministro del Azúcar. Periódico Granma, 12 de enero, p.3.

MONITOREO DE LA SOSTENIBILIDAD EN AGROECOSISTEMAS CAÑEROS DE LA EMPRESA AZUCARERA IFRAÍN ALFONSO DE LA PROVINCIA DE VILLA CLARA.

Bárbara C. Barreto Pérez, Héctor García Pérez, Rafael Más Martínez, Everaldo Becerra De Armas, Emma B. Pineda Ruiz, Inoel García Ruiz, Maritza Sánchez Ortiz, Nadyesca Hernández Roman Y Fidel M. Acosta Hernández.

Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de azúcar Villa Clar –Cienfuegos-Sancti Spiritus
Autopista Nacional Km. 246 Ranchuelo Villa Clara.
Email: epica@civc.inf.cu

Resumen

Se caracterizó el estado de la Gestión Agraria Sostenible de la Empresa Azucarera "Ifraín Alfonso" del municipio Ranchuelo, mediante métodos de trabajo en grupos con la participación de profesionales, técnicos, investigadores y directivos, partiendo de la definición de un conjunto de indicadores de sostenibilidad (83) atendiendo a las propiedades de su agroecosistema en las dimensiones ecológica, económica y social. El conjunto de indicadores definidos mediante un proceso estructurado por dimensión de sostenibilidad, categoría, elemento, propiedad del agroecosistema y descriptor, ofreció una calidad apropiada para la caracterización de los agroecosistemas de la Empresa (Ic=0.69). El análisis de componentes principales detectó que 41 indicadores explicaron el 78.8 % de la variación total en las tres primeras componentes, permitiendo utilizarlos en la caracterización de las Unidades Productoras de Caña. Las Unidades "Teobaldo Núñez" y "Víctor Abello" presentaron mayores discordancias entre las dimensiones ecológica y económica, al tener los porcentajes más elevados de tierras productivas y muy productivas y sin embargo, los más bajos rendimientos agrícolas e indicadores económicos, resultados que fueron corroborados con el análisis de clasificación automática al incluirse en un mismo grupo del dendograma. Se detectaron y jerarquizaron 12 limitaciones de la sostenibilidad, las que se recomendó dar un priorizado seguimiento con vistas a pasar de una sostenibilidad a corto plazo a una en sentido amplio.

Palabras Clave: Indicadores, Caña de Azúcar, Sostenibilidad, Gestión Agraria Sostenible

Abstract

The state of the Sustainable Agrarian Administration of the Sugar Company Efraín Alfonso of the municipality of Ranchuelo was characterized, by means of work methods in groups with the participation of professionals, technicians, investigators and directive, as well as the consultation to experts, leaving of the definition of 83 sostenibilidad indicators. The group of defined indicators by means of a process structured by sostenibilidad dimension, category, element, agroecosistema property and describer, offered an appropriate quality for the characterization of the agroecosistemas of the Company (Ic = 0.69) The analysis of main components detected that 41 indicators explained 78.8% of the total variation in the first three components, allowing to use them in the characterization of the Units cane Producers. The Unidades Teobaldo Núñes and Víctor Abello presented bigger disagreements among the ecological and economic

dimensions, when having the highest percentages in productive and very productive lands and however, the lowest agricultural yields and economic indicators, results that they were corroborated with the analysis of automatic classification when being included in oneself group of the dendograma.

Key Words: Indicators, Sugar Cane, Sustainable Agrarian Administration.

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad de la agricultura es una necesidad del mundo contemporáneo y se ha convertido en una de las premisas para el bienestar de amplios sectores de la población de los países en desarrollo. También se reconoce que sus dimensiones ecológica, económica y social, se encuentran en conflicto (Sepúlveda, 1997; Reiche, 1998). En el sentido de lograr la sostenibilidad en la industria azucarera, se ha emprendido en los últimos cinco años un grupo de acciones, dentro de los que ocupan un lugar destacado el sistema de extensionismo y la puesta en marcha de un grupo de servicios al productor (Servicio de Recomendación de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE), Servicio de Variedades y Semillas (SERVAS), Servicio Fitosanitario (SEFIT). Estas acciones para lograr la tranformación del sector agrícola azucarero estuvieron frenadas en sus inicios por el concepto abstracto de la sostenibilidad prevaleciente, ante el criterio para la toma de decisiones que se requiere, desde la perspectiva de una visión local de la sostenibilidad a que se aspira, producto de un proceso participativo y del uso de métodos científicos. El uso de indicadores se limitó y se limita a los indicadores convencionales sectoriales dirigidos unilateralmente a evaluar el cumplimiento de los planes, los rendimientos agrícolas y los indicadores económicos. El seguimiento de los indicadores sobre el medio ambiente y la calidad de vida, entre otros en el entorno agrario, han sido objeto del trabajo de otros sectores de la administración del estado.

En la EA "Ifraín Alfonso" en el año 2001 se realizó un primer intento en la definición de indicadores (Pérez, ***et al***., 2001), sin embargo su planteamiento metodológico no incluyó la construcción participativa de los mismos por sus actores locales, por lo que puede considerse que no existen antecedentes en Cuba para la agricultura cañera, de un enfoque multidimensional de la sostenibilidad. Teniendo en cuenta la problemática anterior se desarrolló este trabajo con los objetivos siguientes:

1. Determinar un conjunto de indicadores de sostenibilidad para la transformación agraria a los niveles de UPC y EA sobre la base de un procedimiento estructurado que considere las propiedades de los agroecosistemas sostenibles en las dimensiones ecológica, económica y social.
2. Caracterizar la sostenibilidad de la transformación agraria a través de la agregación de indicadores y del análisis multidimensional de los agroecosistemas y determinar sus factores limitantes fundamentales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la EA "Ifraín Alfonso" en el municipio Ranchuelo. Estructuralmente cuenta con seis UPC y un Banco de Semilla Registrada que totalizan una superficie cañera de 8860,6 ha. La investigación se realizó a través de la articulación de diferentes técnicas y procedimientos de gestión del conocimiento y la información, estadística avanzada y visualización, estructurada en la siguiente secuencia.

- Definición de Indicadores de Sostenibilidad.
- Caracterización de la sostenibilidad a los niveles de UPC y EA.
- Análisis de las limitantes de la sostenibilidad.

Construcción del conjunto de indicadores.

El marco metodológico para la definición de indicadores utilizado se determinó a partir del estudio de los marcos teóricos desarrollados para las condiciones de América Latina y el Caribe y sus posibilidades para el modelo político-social y económico cubano (Hünnemeyer, ***et al***., 1997; Winograd, 1995), así como también se tuvo en cuenta el definido para la provincia Cienfuegos (Socorro, 2001). Para ello, el modelo se fue reconstruyendo paso a paso en tres sesiones de trabajo realizadas en tres talleres sobre el tema. En ellos se utilizaron técnicas de trabajo en grupos creativos y visualización. De igual manera se trabajó sobre la base de una visión local de sostenibilidad.
El marco metodológico para construir el conjunto de indicadores se estructuró considerando los siguientes elementos:

1. Concepto de sostenibilidad aplicado.
2. Objetivos del análisis de indicadores
3. Usuarios de la información
4. Procedimiento de definición y selección de indicadores
5. Procedimientos de agregación
6. Valores de referencia

Según el procedimiento empleado por Hünnemeyer, ***et al***., (1997), en la definición y selección de indicadores, se manejaron conceptualmente los términos: indicadores, variables, datos, estadísticas e índices.
En el presente marco metodológico, se consideraron los antecedentes conceptuales, en los que para la selección de indicadores, se reconoció que el concepto de sostenibilidad posee tres dimensiones en conflicto: la ecológica, la social y la económica y se adoptó, acorde al modelo descrito por Müller (1997), que los agroecosistemas pueden describirse a través del estado de sus recursos, de su manejo y desempeño, así como que pueden ser caracterizados por cuatro propiedades: productividad, estabilidad, resiliencia y equidad.

Evaluación del conjunto inicial de descriptores e indicadores de sostenibilidad

El método de selección de indicadores atendiendo a su cualidades consistió en la definición e implementación de una lista de chequeo, la cual consistió en la definición de un conjunto de atributos que deben poseer los indicadores de sostenibilidad.
La sensibilidad del indicador fue evaluada a través del criterio de sensibilidad, según el método de la "Matriz de Vester", indicador vs indicador, analizándose en las filas las influencias y en las columnas las dependencias. Los indicadores con mayor sensibilidad, es decir los que más influyen sobre los demás y a su vez tienen mayor dependencia, fueron considerados como de mayor valor, asignándoseles un peso de 1 a 4 de acuerdo al cuadrante en que se ubique en el gráfico de sensibilidad. La Tabla I muestra las características inherentes a cada cuadrante.

Tabla I. Características del cuadrante y factor de peso de la sensibilidad.

Cuadrante	Influencia	Dependencia	Sensibilidad	Peso
I	Baja	Baja	Poco sensible	1
II	Baja	Alta	Sensible	3
III	Alta	Alta	Muy sensible	4
IV	Alta	Baja	Mod. Sensible	2

IV	III
I	II

La evaluación del indicador a partir de la lista de chequeo se efectuó a través de la determinación de un índice de calidad.

Ic = Wi (i1 + i2 + i3 + i4 +...+in) / p
Donde:
Ic: Indice de calidad
Wi: peso del indicador de acuerdo al cuadrante en que se ubique resultando de la matriz de Vester para la evaluación de la sensibilidad.
in:Puntuación del indicador de acuerdo a la cualidad n de la lista de chequeo en una escala de 0 a 10.
n: número de cualidades consideradas.
p: valor máximo posible de la puntuación de cada indicador (n . 10).
Los valores de la escala de cada indicador para cada cualidad de la lista de chequeo se obtuvieron por consenso a través de una sesión de trabajo en grupo.

La lista de chequeo se conformó con los siguientes criterios de calidad: sensibilidad, capacidad de agregación y desagregación, medible y sencillo para su interpretación, expresa atributos de sostenibilidad, flexible de adecuación a condiciones cambiantes, factible de evaluar económica y operativamente, calculado o compuesto de variables de fuentes confiables, es pertinente social, económica, política-administrativa y ambientalmente.

Caracterización de la sostenibilidad a los niveles de Unidad Productora y Empresa.

Mediante un análisis de Componentes Principales se determinó del conjunto de indicadores defininidos los que mejor caracterizaron las UPC en correspondencia con la varianza extraída de la variación total. Este proceso se fue realizando de manera iterativa de forma tal que se fueron discriminando los indicadores de menor varianza, hasta lograr explicar en las tres primeras componentes más de 70 % de la variación total.

Análisis de las limitantes de la sostenibilidad

A partir del trabajo en un taller multidisciplinario, se definieron las limitantes fundamentales de la sostenibilidad, procediéndose a un análisis de jerarquización a través del uso del procedimiento de la "Matriz de Vester" (Flor, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Definición y selección de indicadores para los agroecosistemas en estudio

El conjunto de indicadores definido tiene puntos de coincidencia con trabajos similares realizados en distintas partes del mundo (Bowerman, ***et al.***, 2003; Sarandón, 2001; Winograd, ***et al.***, 2001; Socorro, 2001), sin embargo, fueron esencialmente concebidos para un monitoreo de la sostenibilidad con un enfoque local dirigido a los niveles de UPC, EA y GEA.

El promedio del índice de calidad de los indicadores definidos fue de un de 0,69 con una variabilidad relativamente alta (CV = 37.40 %) (Tabla II) y se caracterizaron por:

1. Los indicadores para la dimensión social de la sostenibilidad, representan la menor proporción de los indicadores posibles, según la información que se maneja.
2. Existen indicadores generales del desarrollo humano sostenible, de gran valor, pero de baja calidad para expresar sostenibilidad en el sector agrario y seguridad alimentaria.
3. El análisis retrospectivo de indicadores al nivel de base se limita por la no-existencia de series históricas de datos sobre variables de gran peso descriptivo.

Las limitantes del conjunto de indicadores, según se definió por los actores participantes, están dadas por la poca existencia de una cultura sobre los aspectos del medio ambiente y la priorización de la gestión tecnológica productiva sobre el resto de los objetos de la Gestión Agraria Sostenible.

Tabla II. Fuente de la información e índice de calidad (Ic) por indicador.

Dimensión ecológica

Indicador	Fuente	Ic
Superficie de suelo de categorías productivos y muy productivos (A1 y A2) (%)	ETICA-EA	0.23
Superficie de suelo con limitantes agroquímicas para la nutrición (%)	ETICA-EA	0.21
Superficie de suelos poco profundos (< 20 cm) (%)	ETICA-EA	0.39
Superficie agrícola con mal drenaje (%)	ETICA-EA.	0.41
Relación de suelos destinados a la agricultura del total	ETICA-EA	0.96
Relación de suelos destinados a la caña de azúcar.	ETICA-EA	0.87
Precipitaciones anual (mm)	GEA-EA	0.48
Precipitaciones período lluvioso acumulado (% del total)	GEA-EA	0.21
Precipitaciones período poco lluvioso (% del total)	GEA-EA	0.22
Duración período de crecimiento (días)	ETICA	0.42
Duración período húmedo (días)	ETICA	0.43
Duración período déficit hídrico (días)	ETICA	0.46
Superficie hídrica artificial (ha)	INRH.	0.45
Áreas bajo riego (ha)	GEA-EA.	0.98
Relación capacidad de embalse/superficie agrícola (%).	INRH y Estad. Munic.	0.53
Superficie de bosques naturales (ha)	Forestal-Integral y	0.24
Superficie de bosques artificiales (ha)	Forestal-Integral	0.26
Superficie total que es reforestada anualmente (ha).	Estad. Munic.	0.85
Supervivencia de las plantaciones forestales.	Estad. Munic.	0.73
Área cañera cosechada quemada (%).	GEA, EA	0.83
Superficie agrícola bajo forma de propiedad no cultivada (ha)	ETICA, GEA, EA	0.91
Superficie de tierras ociosas (%)	ETICA, GEA, EA	0.94
Consumos de combustibles y electricidad expresados en TCC (toneladas de combustible convencional).	GEA, EA y Estad.	0.45
Consumos de fertilizantes químicos (t).	GEA, ETICA, EA.	0.93
Porcentaje de la superficie total bajo riego de alta tecnología (%)	GEA- EA.	0.69
Porcentaje de daños por borer (%)	ETICA - EA	0.57
Porcentaje de daños por roya (%)	ETICA - EA	0.58
Porcentaje de daños por carbón (%)	ETICA - EA	0.58
Área con nuevas variedades (%)	ETICA - EA	0.59
Existencia de yuntas de bueyes (cabezas/2)	GEA, EA y CENCOP	0.91
Superficie agrícola beneficiada con alternativas de fertilización (ha)	ETICA-EA	0.93
Superficie agrícola beneficiada con alternativas de lucha contra plagas y enfermedades (%)	ETICA-EA.	0.89
Superficie agrícola bajo Manejo Integrado de Plagas (MIP) (ha)	ETICA-EA.	0.90
Volumen de producción de viandas hortalizas y granos.	EA	0.85
Valor promedio de la producción mercantil anual total (MMP)	EA-Estad.	0.93

Dimensión económica

Indicador	Fuente	Ic
Valor promedio de la producción mercantil anual total cañera (MMP)	EA, GEA y Estad.	0.94
Valor promedio de la producción mercantil anual total agropecuaria (MMP)	EA, GEA y Estad.	0.92
Relación productividad / salario medio en el sector agropecuario	EA, GEA y Estad.	0.85
Porcentaje del cumplimiento del plan de producción mercantil cañera (%)	EA, GEA y Estad.	0.94
Porcentaje del cumplimiento del plan de producción mercantil agropecuaria (%)	EA, GEA y Estad.	0.93
Tasa de crecimiento anual de la producción mercantil cañera (%)	EA, GEA y Estad.	0.94
Tasa de crecimiento anual de la producción mercantil agropecuaria (%)	EA, GEA y Estad.	0.93
Superficie de siembra de caña asegurada (ha)	Seguro estatal y EA	0.85
Valor de la siembra asegurada (MP)	Seguro estatal y EA	0.92
Valor de la siembra asegurada por ha (MP)	Seguro estatal y EA	0.93
Costos por peso promedio en la actividad cañera	EA y Estad.	0.87
Rentabilidad de la agricultura (%)	EA y Estad.	0.91
Cantidad de unidades rentables e irrentables (subsidiadas)	EA y Estad.	0.96
Monto total de las inversiones en el área cañera (MP)	GEA, EA y Estad.	0.97
Percápita de la producción mercantil	GEA, EA y Estad.	0.95
Salario Percápita (pesos)	GEA, EA y Estad.	0.89
Relación salario agricultura cañera y no cañera	GEA, EA y Estad.	0.91
Porcentaje del cumplimiento del plan de producción mercantil cañera (%)	GEA-EA	0.90
Porcentaje del cumplimiento del plan de producción mercantil agropecuaria (%)	GEA-EA	0.91
Rendimiento agrícola cañero (T/ha)	GEA-EA	0.87
Rendimiento agrícola no cañero (T/ha)	GEA-EA	0.85
Tasa de crecimiento anual de la producción mercantil cañera (%)	GEA-EA	0.96
Cantidad de producciones agropecuarias (Autoabastecimiento)	GEA-EA	0.92
Porcentaje de las necesidades cubiertas	GEA-EA	0.96
Producción cañera Percápita	GEA-EA	0.94
Producción no cañera Percápita	GEA-EA	0.93

Dimensión social

Indicador	Fuente	Ic
Densidad de población (hab/km^2)	Estad. Munic.	0.43
Población económicamente activa.	Estad. Munic.	0.92
Población económicamente activa agropecuaria.	Estad. Munic.	0.91
Población económicamente activa agropecuaria femenina (%)	Estad. Munic.	0.88
Porcentaje de la población con nivel de noveno grado o más (%)	Estad. Munic.	0.45
Incorporación de profesionales a la producción agropecuaria, cantidad vinculado directamente a la base en UBPC, CCS, CPA, entre otras.	Estad. Munic.y dirección del trabajo	0.53

Cantidad de profesionales y técnicos agropecuarios por habitantes.	Estad. Munic. y dirección del trabajo	0.57
Cantidad de profesionales y técnicos agropecuarios por superficie agrícola.	Estad. Munic. y dirección del trabajo	0.55
Cantidad de estudiantes de las carreras agropecuarias en las aulas universitarias o IPA.	MES y MINED	0.47
Potencial científico (Profesionales con maestrías y/o doctorados)	MES y MINED	0.41
Esperanza de vida al nacer.	Dirección de salud	0.44
Porcentaje de población empleada.	Estad. Prov.	0.23

Caracterización de la sostenibilidad de las Unidades.

Según los análisis de componentes principales realizados de forma iterativa de los 83 indicadores iniciales concebidos, un conjunto de 41 explicaron el 78,8 % de variación total en las primeras tres componentes (Tabla III).

La primera componente se caracterizó principalmente por el porcentaje de cumplimiento del plan de producción cañera (PCPPC), su tasa de crecimiento (TCPC) y el rendimiento agrícola cañero (RAC) los cuales guardaron una estrecha relación con los factores edáficos limitantes como la profundidad efectiva (SM20PE) y en sentido inverso con el mal drenaje (SAMD). Otras variables que tuvieron un peso importante en esa componente fueron la superficie hídrica artificial (SHA) y con ella el índice de capacidad de embalse por superficie agrícola (CEMB-SA), completaron la lista de indicadores dentro de la dimensión ecológica que marcaron la variabilidad entre las UPC; el consumo de fertilizantes nitrogenados (CFERTN) y fosfóricos (CFERTP), así como las alternativas para la fertilización (COMPOST). También definieron la primera componente además del rendimiento agrícola cañero y el cumplimiento del plan de producción de caña, el valor de la producción mercantil (VPM) tanto cañera (VPMC) como no cañera (VPMNC) y el valor de la siembra asegurada (VSA), correspondiente estas a la dimensión económica.

La segunda componente se identificó con el efecto del régimen pluviométrico (LLPA, PPLL y PPPLL), la superficie agrícola de suelos productivos y muy productivos (SAPMP), el empleo de la tracción animal (BUEYES) y el rendimiento agrícola de la producción no cañera correspondiente a los granos (RANCG), entre otros indicadores de la dimensión ecológica.

Es de resaltar que los indicadores de la dimensión social presentaron poca variabilidad dentro de la Empresa, resultados que reafirman la poca información manejada en ese sentido por los gestores de la transformación agraria, no obstante ya existen algunos indicadores que comienzan a considerarse, tales como la fuerza de trabajo calificada (IPPA, PTM-SUPA), los cuáles mostraron un peso importante en la tercera componente.

Tabla III. Resultados del análisis de componentes principales.

Valor propio	**Comp.1**	**Comp. 2**	**Comp. 3**
Valor	14,986	10,210	7,914
Contrib. varianza total (%)	35,7	24,3	18,8
Contrib. acumulada (%)	35,7	60,0	78,8
Vectores propios			
Sup. Agric. Productiva y muy productiva **(SAPMP)**	-0,228	**-0,887**	0,336
Sup. Suelos poco profundos **(SM20PE)**	**0,921**	0,043	0,259
Sup. Agric. con mal drenaje **(SAMD)**	**-0,759**	0,182	0,310
Suelos destinados a la agricultura del total **(SDAT)**	-0,001	**0,833**	0,249
suelos destinados a la caña de azúcar (SDCA)	-0,514	-0,316	0,033
Lluvia promedio anual **(LLPA)**	0,041	**-0,962**	0,058
Precipitaciones período lluvioso acumulado (**PPLL)**	0,091	**-0,959**	0,049

Superficie hídrica artificial (**SHA)**	**0,850**	0,475	0,096
Relac. capacidad de embalse/superf. Agríc. (**CEMB-SA)**	**0,844**	0,466	0,088
Consumo de fertilizante nitrogenado (**CFERTN)**	**-0,872**	0,241	0,195
Consumo de fertilizante fosfórico (**CFERTP)**	**-0,805**	0,228	0,404
Consumo de fertilizante potásico (**CFERTK)**	-0,441	**0,769**	0,208
Área afectada carbón (AACAR)	0,629	0,186	0,082
Existencia de yuntas de bueyes (**BUEYES)**	0,273	**-0,837**	0,271
Superf. Agríc. Benefi. alternativas de fertili. (**COMPOST)**	**0,736**	0,581	0,236
Valor prom. de la produc. mercantil anual total (**VPM)**	**-0,818**	0,047	0,336
Valor prom. produc. merc. anual total cañera (**VPMC)**	**-0,781**	0,045	0,409
Valor prom. produc. Merc. anual no cañera (**VPMNC)**	**-0,723**	-0,101	-0,426
Porc. cumpl. plan de produc. merc. cañera (**PCPPC)**	**0,953**	-0,038	-0,066
Rendimiento agrícola cañero (**RAC)**	**0,910**	-0,147	-0,087
Rendimiento agrícola no cañero (granos) (**RAG)**	-0,105	**-0,744**	-0,016
Tasa de crec. anual de la produc. Merc. cañera (**TCPC)**	**0,828**	-0,359	-0,020

En correspondencia con la representación en el plano de las componentes 1 y 2 se pudo apreciar que existió cierta similitud en la Gestión Agraria de las unidades "Alberto Villafaña" (1) y "Tarapacá" (2) dada la proximidad que ambas fueron situadas (Figura 1).

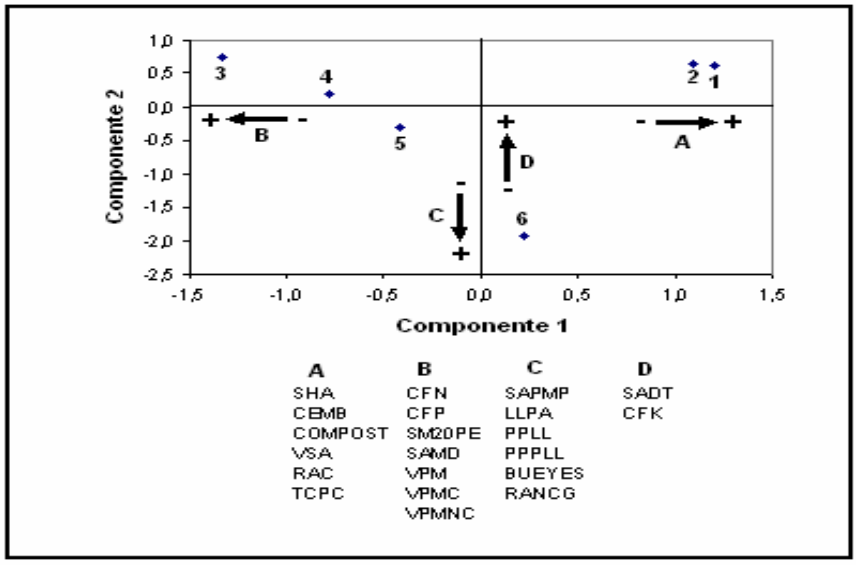


Figura 1. Representación del plano de las componente 1 y 2

En cuanto a las variables que caracterizaron la primera componente el mayor contraste se observó entre las unidades anteriormente mencionadas y la "Teobaldo Núñez" (3), el resto en ese sentido presentó un comportamiento intermedio entre estos grupos. Las Unidades "Alberto Villafaña" (1) y "Tarapacá" (2) se caracterizaron por una mejor gestión económica al superar al resto de las demás unidades en el valor de la producción mercantil, tanto cañera como no cañera (VPM, VPMC, VPMNC), con el mejor rendimiento agrícola (RAC) y la mejor tasa de crecimiento (TCPC). Estos resultados demuestran que su transito a una Gestión Agraria Sostenible en sentido amplio es más favorable que las Unidades restantes, aunque la "Mártires del Moncada" (6) le sigue muy cerca en estos indicadores. Estos resultados pueden estar relacionados con un mejor uso de las alternativas de fertilización como es la aplicación de compost, que

aunque aun no cubre todas las necesidades representa el mayor porcentaje de área cubierta en relación con las demás UPC.

El análisis de las variables que explicaron la variación de la segunda componente, permitieron confirmar los planteamientos en cuanto a la débil Gestión Agraria Sostenible de las unidades "Teobaldo Núñez" (3) y "Víctor Abello" (4) y el más acentuado conflicto entre las dimensiones ecológica y económica de la sostenibilidad, ya que no se corresponde la mayor disponibilidad de suelos con categorías productiva (A2) y muy productiva (A1) (SAPMP) y los bajos resultados económicos. Pudiera estar influenciando este resultado con el poco uso de la tracción animal (BUEYES), sin embargo son las unidades de mayor superficie agrícola, donde sin dudas esa alternativa puede hacer menos marcado el déficit de insumos externos como es el combustible convencional. Otras razones pudieran ser, que ambas se caracterizaron por poseer un régimen de lluvias más desfavorable, así como las de mayor superficie con mal drenaje y que son las de mayores consumos de fertilizantes nitrogenados y fosfóricos, aplicaciones o inversiones que no se han revertido en sus resultados productivos.

Análisis de las limitantes de la sostenibilidad en la Empresa Azucarera "Ifraín Alfonso".

Los principales problemas de la sostenibilidad en la Empresa que fueron definidos en el taller, teniendo en cuenta el análisis de los indicadores de la sostenibilidad, se pueden apreciar en la Tabla 3. Los resultados de la priorización mostraron cinco problemas de naturaleza crítica, entre ellos el de mayor puntaje fue la ineficiencia en la Gestión Agraria, dada, según el criterio colectivo por su reducción al aspecto tecnológico productivo, excluyéndose los elementos de la sostenibilidad de los agroecosistemas que considera las dimensiones ecológica, económica y social y que depende a su vez de un conjunto de factores objetivos limitantes.

La ubicación de los problemas identificados, por niveles de causalidad y efecto, permite apreciar que el aprovechamiento insuficiente de las tierras, el uso y distribución del agua, la poca superficie con riego y de ella el riego de alta tecnología, así como la disponibilidad de insumos y energía y el bajo nivel de profesionales y técnicos incorporados a la producción agroazucarera son los problemas de mayor nivel de causalidad entre los factores estudiados.

Tabla.3 Jerarquización de los problemas de la sostenibilidad en la Empresa Azucarera "Ifraín Alfonso"

No.	Problema	Pasivos	Activos	Cuadrante	Naturaleza del problema
1	Aprovechamiento insuficiente de tierras aptas para la agricultura	15	15	II	Activo
2	Problemas en la uso y distribución del agua	16	15	II	Activo
3	Poca existencia de superficies boscosas	19	14	IV	Pasivo
4	Bajo porcentaje de la superficie total bajo riego y riego de alta tecnología	16	14	II	Activo
5	Bajo nivel de uso de las alternativas de fertilización.	14	12	I	Indiferente
6	Déficit de energía e insumos para la producción agrícola	12	16	II	Activo

7	Bajo percápita de la producción mercantil.	22	18	III	Crítico
8	Insuficientes percápitas de autoabastecimiento	18	19	III	Crítico
9	Irrentabilidad de las UPC	19	18	III	Crítico
10	Bajo nivel de profesionales y técnicos incorporados a la producción agropecuaria	19	9	II	Activo
11	Déficit de fuerza de trabajo	15	14	III	Crítico
12	Ineficiencia en la Gestión Agraria	31	23	III	Crítico

Estos problemas a su vez, generan un bajo percápita de la producción mercantil agropecuaria en la, con un insuficiente autoabastecimiento, como consecuencia también del déficit de fuerza de trabajo, que repercuten marcadamente en la rentabilidad de las UPC y de la EA.

Los problemas de mayor naturaleza crítica, es decir la insuficiente Gestión Agraria y el bajo percápita de la producción mercantil y el déficit de fuerza de trabajo, son la causa de la insuficiencia de la producción local de alimentos en cantidad, calidad y diversidad, efecto de las migraciones hacia la ciudad y el bajo nivel de ingresos y estimulación de los resultados de la producción, a su vez efecto de la baja disponibilidad de recursos y modernización del sector.
Sin embargo, para las condiciones del país, el salto que se requiere lograr en la producción cañera, depende en gran medida del recurso agua y de la tecnología para el riego, dado el hecho de que la agricultura en Cuba tiene una naturaleza estacional.
No obstante los conceptos discutidos, la sostenibilidad de la agricultura en la depende en gran medida de la eficiencia de su gestión, eficiencia ésta que debe fomentarse a partir de un cambio en la actuación de los gestores hacia una cultura de la sostenibilidad en las dimensiones ecológica, económica y social.

CONCLUSIONES

1. Los indicadores determinados facilitan la evaluación de las propiedades de los agroecosistemas al tener en cuenta las dimensiones de sostenibilidad ecológica, económica y social de la transformación agraria en curso, desde la perspectiva de su integración en los niveles de UPC y EA
2. De los 83 indicadores de sostenibilidad, 41 presentaron la variabilidad suficiente para explicar la gestión de la transformación agraria de las UPC.
3. La transformación agraria en la EA “Ifraín Alfonso” tiende hacia la sostenibilidad en sentido amplio, pero en lo particular se presentan similitudes y diferencias entre los agroecosistemas de sus UPC, encontrándose las mayores discrepancias entre las dimensiones ecológica y económica en las UPC Teobaldo Núñez y Víctor Abello, cuyas limitaciones en cuanto a suelos son inferiores a las restantes y sin embargo sus resultados económicos son los más desfavorables, ocurriendo lo contrario en las UPC Alberto Villafaña y Tarapaca.
4. Los factores limitantes fundamentales de la sostenibilidad de la transformación agraria en la EA “Ifraín Alfonso” se definen por la ineficiencia de la Gestión Agraria, derivado del mal aprovechamiento de las tierras, déficit de fuerza de trabajo, bajo percápita de la producción mercantil, y bajo nivel de profesionales y técnicos incorporados a la producción, todo ello causado por el déficit de energía e insumos para la producción agrícola, a los problemas con el uso y distribución del agua y el bajo porcentaje de superficie bajo riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bowerman, D.P.; J. Walker, M.C. Collins. Indiactors of Sustainability. Interim Report. Thomas Jefferson Sustainability Council. [En línea]. Disponible en: http://monticello.avenue.org/Gov/TJPDC/ind-7'96.htm (Consulta: enero, 13 2003)
- Flor, C.A. 1999. Curso sobre Metodologías de Investigación Científica. Escuela de Posgrados, Universidad Nacional–Sede Palmira. Facultad de Ciencias, Universidad del Valle, 170 p.
- Hünnemeyer, A.J.; De Camino, R.; S. Müller. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en Centro América: Indicadores para la Agricultura y los Recursos Naturales. Proyecto IICA/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. 157 p.
- Pérez, H.; C. Balmaseda; R. Más; L. Vidal; y Emma Pineda . 2001. Informe. Evaluación de la Aptitud Física de las Tierras del CAI "Ifraín Alfonso". Primera Aproximación. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana 54 pp
- Reiche, C. 1998. Conceptos y marco general sobre indicadores de sostenibilidad. Proyecto IICA/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. 20 p.
- Sarandón, S.J. 2001. Aplicación de indicadores para evaluar la sustentabilidad de sistemas productivos agrícolas en Colonia Güemes, Misiones. Argentina. Conferencia al IV Encuentro de Agricultura Orgánica, La Habana, Cuba, 17 – 19 de mayo, 2001.
- Sepúlveda, S. 1997. Desarrollo sostenible microregional. En su: Desarrollo sostenible. Agricultura, recursos naturales y desarrollo rural. Lecturas seleccionadas. Tomo V. / S. Sepúlveda y R. Edwards. IICA. p. 9 - 26.
- Socorro, A.R. 2001. Indicadores de la sostenibilidad de la Gestión Agraria en el territorio de la provincia Cienfuegos. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. UNAH.
- "Winograd, M. 1995. Indicadores Ambientales para Latinoamérica y el Caribe: Hacia la Sustentabilidad en el Uso de las Tierras. Proyecto IICA-GTZ, Instituto de Recursos Mundiales. San José. 84 p.
- Winograd, M.; Lisa Segnestam; A. Farrow. Rural Sustainability Indicators: Lessons Learned from Central America. (En línea), octubre, 2000, Disponible en: http://www.cgiar.org/cifor (Consulta: enero, 12 2001).

"EFICACIA DEL HERBICIDA "HERBIO" EN EL CONTROL DE MALEZAS DICOTILEDONEAS Y TOLERANCIA DE LA CAÑA DE AZUCAR"

Rafael Zuaznábar[(1)], Juan Carlos Díaz[(1)], María Elena Díaz de Villegas[(2)], Fidel Hernández[(1)], Yamilé Maturell[(1)], Roberto Córdoba[(1)], Alexis Mira[(1)], Gilda Jiménez[(1)] y Sandalio Pino[(1)].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar
[2]Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar

Resumen

El ICIDCA ha desarrollado el bioherbicida bioquímico Herbio que se sintetiza por vía biotecnológica a partir de la *Pseudomonas aeruginosa PSS*. Su ingrediente activo, son las fitotoxinas de naturaleza peptidica producidas por esta cepa. Se emplea en el control post-emergente de malezas dicotiledoneas. Las muestras producidas fueron evaluadas el pasado año en las Estaciones Experimentales de La Habana y Matanzas donde se obtuvo un control satisfactorio de las especies *Ipomoea trifida*, *Euphorbia heterophylla*, *Croton lobatus*, *Chamaecyse hyssopifolia*, *Vigna vexillata* y M*omordica charantia* con las mezclas de Herbio más AG-5 con las dosis de 6,25, 12,50, 25 y 50 kg/ha que manifestaron su mayor efecto con el incremento de estas y la estabilización del pH en 5. Los tratamientos que no incluían el acidificante AG-5 solo alcanzaron buen control con las dosis más altas. Ninguno de los tratamientos evaluados resultó eficaz en el control de las especies *Sorghum halepense*, *Rottboellia cochinchinensis* y *Echinochloa colona*. Los tratamientos de Herbio solo y en mezcla con AG-5 mostraron una completa selectividad en las variedades de caña de azúcar CP 52-43 y C 323-68.

Palabras clave: Bioherbicidas, Malezas, Control.

Abstract

The ICIDCA has developed the biochemical bioherbicide Herbio that is synthesized for way biotechnical starting from the *Pseudomonas aeruginosa PSS*. Their active ingredient, they are the phytotoxins of peptidic nature taken place by this stump. It is used in the post-emergent control of dicotyledoneous overgrowths. The produced samples were evaluated last year in the Experimental Stations of Havana and Matanzas where a satisfactory control of the species *Ipomoea trifida* was obtained, *Euphorbia heterophylla*, *Croton lobatus*, *Chamaecyse hyssopifolia*, *Vigna vexillata* and *Momordica charantia* with the mixtures of more Herbio AG-5 with the doses of 6,25, 12,50, 25 and 50 kg/ha that you/they manifested its biggest effect with the increment of these and the stabilization of the pH in 5. The treatments that didn't include the acidificant alone AG-5 reached good control with the highest doses. None of the evaluated treatments was effective in the control of the species *Sorghum halepense*, *Rottboellia cochinchinensis* and *Echinochloa colona*. The treatments of alone Herbio and in mixture with AG-5 showed a complete selectivity in the varieties of cane of sugar CP 52-43 and C 323-68.

Key words: Bioherbicides, Weeds, Control.

Introducción

El control de las malezas es una práctica de vital importancia para poder maximizar la producción agrícola. Para combatir las mismas se emplean diferentes métodos siendo el más generalizado el uso de herbicidas químicos, que si bien es efectivo, la tendencia es hacia su disminución debido a la contaminación ambiental los daños que ocasiona y los elevados costos de los mismos.

A los seres vivos, así como por lo antes expuesto, la tendencia actual en el mundo es hacia el desarrollo de un programa integrado de control de malezas donde se incluya el empleo de bioherbicidas, como una alternativa amigable con el medio ambiente (Charudattan, 2001, Ghosheh, 2005).

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 et al 2003; Kremer, 1996, Boyetchko, 2005).

La utilización de fitotoxinas en lugar del microorganismo intacto, tiene mayores potencialidades de ser introducido en la agricultura, fundamentalmente porque con el uso de los microorganismos vivos, hay peligro de escape a cultivos susceptibles vecinos, 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 (Rojas y Gámez, 2002; Abbas y Duke, 1995).

Las toxinas microbianas son metabolitos de bajo peso molecular, producidos por hongos y bacterias patógenos de plantas capaces de reproducir síntomas similares a los encontrados en las infecciones naturales en las plantas (Bilgram and Dube, 1976).

A partir de los años 90, se incrementa el interés en la producción de fitoxinas bacterianas (Boyetchko and Holmstrom-Ruddick, 1996). Entre las bacterias que producen un amplio espectro de fitotoxinas, se encuentran las del género *Pseudomononas* spp. (Bender *et al.*, 1999).

El bioherbicida bioquímico HERBIO se produce por vía biotecnológica a partir de la *Pseudomonas aeruginosa* PSS. Su ingrediente activo, son las fitotoxinas de naturaleza peptídica producidas por esta cepa. Se emplea en el control post-emergente de malezas de hoja ancha (Díaz de Villegas et al. 2005)

Materiales y métodos

Se establecieron dos ensayos de campo en parcelas experimentales en caña de azúcar de planta, variedad CP 52-43 plantada el 7 de agosto del 2007, localizada en el campo 6, bloque 40, Unidad Básica de Producción Cooperativa “Comandante Manuel Fajardo” municipio Quivicán, provincia La Habana, además se realizó otro estudio en cepa de 2^{do} retoño variedad C 323-68 de la unidad Básica de producción cooperativa “La Estrella”, municipio Jovellanos, Provincia Matanzas, en ambos casos sobre suelo Ferralítico Rojo en secano.

Las aplicaciones se realizaron el 12 y 13 de septiembre del 2007, 35 y 36 días posteriores a la plantación respectivamente, con altura de cultivo entre 30 y 40 cm. las aplicaciones en retoño se efectuaron 70 días posteriores a la cosecha con altura del cultivo entre 50-70 cm., con un diseño experimental empleado fue de bloques al azar con 10 tratamientos y 6 réplicas y áreas de parcelas de 12 m^2 (3 x 4 m). Tabla I.

Tabla I. Tratamientos herbicidas en estudio.

No	Productos	% P/V	Kg/ha	G o ml para 6 parcelas (72 m^2)
1	Testigo absoluto	-	-	-
2	2.4-D Ester.	0.75	1.88	14
3	Herbio	2.5	6.25	47
4	Herbio	5	12.5	94
5	Herbio	10	25	188
6	Herbio	20	50	376
7	Herbio + AG-5 (PH-5)	2.5	6.25	47
8	Herbio + AG-5 (PH-5)	5	12.5	94
9	Herbio + AG-5 (PH-5)	10	25	188
10	Herbio + AG-5 (PH-5)	20	50	376

Las especies de malezas predominantes en el experimento 1 fueron *Sorghum halepense* (10-20 cm.), *Ipomoea trifida* (10-15 cm.), *Vigna vexillata* (10-20 cm.), *Croton lobatus* (5-10 cm.) y *Euphorbia heterophylla* (5 cm.). En el 2 experimento hubo predominio de *Sorghum halepense* (15-25 cm.) *Chamaecyse hyssopifolia* (10-20 cm), *Vigna vexillata* (15-20 cm), *Ipomoea trifida* (10-15 cm.) y *Cyperus rotundus* (5-10 cm.). El estudio 3 tuvo predominio Momordicacharentia (10-15), Ipomea Trifida (5-10 cm), Rottboellia cochinchinensis (15-20 cm) y Echimochloa colona (10-20 cm).
La técnica de aplicación; mochila Matabi de 16 litros de capacidad con boquilla deflectora (flood-jet) Lurmark verde lima AN-3 con presión de 1.5-2 bar y solución calibrada final de 250 l/ha.
Se realizaron a diferentes intervalos después de la aplicación (15 y 30 días) evaluaciones de porcentaje de cobertura de maleza (Fischer, 1975), y de tolerancia del cultivo usando la escala EWRS de nueve grados (Jahannes y Schuh, 1971, citados por CIBA GEIGY, 1981). (Tabla II).

Tabla II. Evaluación de la eficacia herbicida y tolerancia del cultivo EWRS (European Weed Research Society).

Índice de evaluación	Estimación visual de eficacia o de fitotoxicidad	
	Sobre malezas	Sobre el cultivo
1	Total 100	Ningún efecto como el testigo
2	Muy buena	Muy ligeros síntomas
3	Buena	Ligeros síntomas
4	Suficiente en la práctica	Daños sin influencias cosechas
5	Dudosa	Dudosa
6	Mediocre	Daños bastantes fuertes
7	Mala	Daños fuertes
8	Muy mala	Daños muy fuertes
9	Nula como testigo	Destrucción total 100

Las precipitaciones durante el período de desarrollo del experimento fueron de (123 y 240.2 mm) para ambas localidades respectivamente abundantes, típicas del período lluvioso y en el momento de la aplicación había abundante humedad en el suelo.

Resultados y discusión

En las aplicaciones realizadas en los experimentos a los 15 y 30 días se observa que los tratamientos 3 y 4 de Herbio solo no realizaron un control efectivo sobre las malezas dicotiledóneas *Ipomoea trifida*, *Euphorbia heterophylla*, *Croton lobatus*, *Chamaecyse hyssopifolia* y *Vigna vexillata*, sin embargo los tratamiento 5 y 6 que incluían las dosis superiores alcanzaron una mayor eficacia, sobre todo en el último tratamiento donde se logran buenos resultados sobre *Ipomoea trifida*, *Croton lobatus* y *Chamaecyse hyssopifolia*. (Tablas III y IV).

Tabla III. Eficacia de los tratamientos Herbicidas sobre las malezas a los 15 días de aplicación

No.	***I. trif***	***C. lob***	***E. het***	***V. vex***	***S. halep***	***C. hyso***	***C. rot***	***M. char***	***E. col***	***R. coch***	**Grado fitotoxicidad a la caña**
1	9	9	9	9	9	9	9	*9*	*9*	*9*	1
2	1	1	1	1	9	1	8	*2*	*9*	*9*	1
3	6	6	6	7	9	6	9	*4*	*9*	*8*	1
4	5	5	5	6	9	5	8	*3*	*8*	*8*	1
5	4	4	4	5	9	4	7	*2*	*8*	*8*	1
6	3	3	4	5	9	3	7	*1*	*8*	*8*	1
7	3	3	3	4	9	4	8	*3*	*7*	*8*	1
8	2	2	2	3	9	3	7	*2*	*7*	*8*	1
9	2	2	2	2	9	2	4	*1*	*7*	*7*	1
10	1	1	1	1	9	1	3	*1*	*7*	*7*	1

I. trif: Ipomoea trifida; C. lob: Croton lobatus; E. het: E*uphorbia heterophylla; V. vex:* V*igna vexillata; S. halep: Sorghum halepense; C. hyso: Chamaecyse hyssopifolia*, C*. rot: Cyperus rotundus y M. char: monordica charantia, E. col: Echimochloa colona y R. coch: Rottboellia cochinchnensis.*

Tabla IV - Eficacia de los tratamientos sobre las malezas a los 30 días de la aplicación.

No.	*I. trif*	*C. lob*	*E. het*	*V. vex*	*S. halep*	*C. hyso*	*C. rot*	Grado fitotoxjcidad a la caña
1	9	9	9	9	9	9	9	1
2	1	1	1	1	9	1	9	1
3	7	7	7	8	9	7	9	1
4	6	6	6	7	9	6	9	1
5	5	5	5	6	9	5	7	1
6	4	4	4	5	9	4	7	1
7	3	3	3	5	9	4	8	1
8	2	2	2	3	9	3	7	1
9	2	2	2	2	9	2	4	1
10	1	1	1	1	9	1	3	1

Las mezclas de Herbio más AG-5 alcanzaron resultados satisfactorios con todos los tratamientos evaluados logrando buena eficacia sobre las malezas dicotiledóneas antes citadas, siendo superior el efecto con las dosis mas elevadas (Tabla 3 y 4), los que también ejercieron un control aceptable sobre la especie *Cyperus rotundus*.
Ninguno de los tratamientos evaluados resultó eficaz en el control de la especie *Sorghum halepense, Rottboellia cochinchinensis y Echinochloa colona.*
Los tratamientos de Herbio solo y en mezcla con AG-5 mostraron una completa selectividad en las variedades de caña de azúcar CP 52-43 y C 323-68.

Conclusiones

Los tratamientos de Biomal solo resultaron eficaces en el control de las malezas dicotiledóneas *Ipomoea trifida, Croton lobatus, Chamaecyse hyssopifolia, Euphorbia heterophylla* y Momordica charantia a la dosis de 25 y 50 kg/ha a los 15 y 30 días de la aplicación.
Las mezclas de Herbio más AG-5 ejercieron un control satisfactorio sobre las malezas dicotiledóneas *Ipomoea trifida, Croton lobatus, Chamaecyse hyssopifolia, Euphorbia heterophylla, Vigna vexillata y Momordica charantia* con las dosis de 6.25 + 2.5, 12.5 + 5, 25 + 10 y 50 + 20 respectivamente, resultando superior la eficacia en el control con las dosis superiores. La especie *Cyperus rotundus* también resultó controlada con las dosis más altas.
Las especies *Sorghum halepense, Rottboellia cochinchinensis* y *Echimochloa colona* no resultaron controladas por ninguno de los tratamientos en estudio.
No se aprecian daños fitotóxicos visibles en las variedades de caña de azúcar CP 52-43 y C 323-68.

Recomendaciones

La formulación Herbio presentó dificultades severas en la solución con el agua debido fundamentalmente al volumen de los gránulos y la consistencia de los mismos que en ocasiones dificultan el paso a través de los filtros de los medios de aplicación, pudiendo provocar tupiciones y daños mecánicos en estos equipos.
Continuar el estudio de la eficacia de Herbio solo y en mezclas con otras formulaciones en el control de otras especies dicotiledoneas de importancia.

Referencias

Con el establecimiento del estudio para la evaluación del Herbio el objetivo fue comprobar la eficacia herbicida de diferentes dosis de esta formulación y su mezcla con el agente acidificante AG-5 en el control de malezas dicotiledóneas en el cultivo de la caña de azúcar.

- Abbas H. K., Duke S. O. (1995), Phytotoxins from plant pathogens as potential herbicides. J. Toxicol-Toxin Reviews 14: 523-543.
- Bender C.L., Alarcon-Chaidez F., Gross D.C. (1999), *Pseudomonas syringae* Phytotoxins: Mode of Action, Regulation, and Biosynthesis by Peptide and Polyketide Synthetases. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 63: 266–292.
- Bilgram K.S., Dube H.C. (1976), Modern plant pathology, Vikas Publishing House, New Dehil pp 344
- Boyetchko, S..M., Holmstrom -Ruddick, B., 1996, Host-range of rhizobacteria effective as biocontrol agents of downy brome Can. J. Plant Pathol. 18: 86–87.
- Ciba Geigy. 1981. Manual para Ensayos de Campo. 2da. Ed., Basilea, 205 p.

- 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 M. E., Bell A., Altuna B., González M.A., García R., Paredes E., Gallardo R., Torres E., Carbonero M. (2005), Influencia del pH y la temperatura en la producción de las fitotoxinas producidas por la *Pseudomonas aeruginosa* PSS. Evaluación de su efectividad en el control de malezas. Fitosanidad 9: 41-48.
- Fischer, F. Comparación de dos métodos de evaluación para determinar el grado de efectividad herbicida. Rev. Agric., 8 (1): 70-80.
- Ghosheh H. (2005) Constraints in implementing biological weed control: A review Weed Biology and Management 5: 83–92.
- Johannes, H. y J. Schuh. 1971. Das bonitierungsschema 1-9. European Weed Research Council. (EWRS), Begbroke Hill, Kidlinton, Oxford.
- Li Y., Sun Z., Zhuang X., Xu L., Chen S., Li M (2003), Research progress on microbial herbicides. Review, Crop Protection 22: 247-252.
- Rojas M., Gámez N. (2002). Herbicidas de origen natural. Ciencia UANL. Vol V Abril-Junio: 80-84.

Características del HERBIO

Formulado en forma de polvo humedecible.
Concentración de fitotoxinas (expresada como proteína) 10 mg/g de producto comercial.

pH: 4.5
Humedad: 3.48

COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN VERTISUELO CULTIVADO CON CAÑA DE AZÚCAR

Yakelin Cobo Vidal [(1)], George Martín Gutiérrez [(1)], Yunior Rodríguez Ortiz [(1)], Juan A. Villazón Gómez [(1)], Silvino Anache Casaell [(1)] y Reski Tello Céspedes [(1)].

[(1)] Estación provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín
***Email*: epica@.hl.minaz.cu**

Resumen

El trabajo se desarrolló en áreas de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín con el objetivo de evaluar el comportamiento de las propiedades químicas en un Vertisuelo durante un ciclo de cultivo con caña de azúcar y su influencia en el agroecosistema. Las evaluaciones fueron realizadas en el 3er ciclo del experimento de "Estudio de Niveles de Potasio", con siete tratamientos. En el análisis de los resultados se utilizan los datos de rendimiento en toneladas de caña/ha en las cepas de planta hasta tercer retoño. Las determinaciones analíticas tales como: pH (H_2O), pH(KCl), MO y cationes intercambiables (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ y Na^+) y CIC se realizaron en la parcela testigo. Los resultados obtenidos muestran que los contenidos de potasio en el suelo son suficientes para la nutrición de la caña de azúcar ya que no existen diferencias significativas entre las dosis aplicadas de fertilizante potásico. Al finalizar el ciclo se obtuvo un aumento del pH y del catión Mg^+ incidiendo en la relación Ca/Mg, el potasio intercambiable (K^+) en la solución del suelo se mantuvo constante a inicio y final del ciclo y disminuyó el contenido de materia orgánica en el suelo. El comportamiento de estas propiedades afectan la fertilidad y la calidad del suelo por tanto se recomienda aplicar medidas de mejoramiento y conservación de suelos para aumentar su productividad.

Palabras clave: agroecosistema, potasio, fertilidad, conservación.

Summary

The work was developed in areas of the Provincial Station of Investigations of the Cane of Sugar of Holguín with the objective of evaluating the behavior of the chemical properties in a Vertisuelo during a cultivation cycle with cane of sugar and its influence in the agroecosistema. The evaluations were carried out in the 3er cycle of the experiment of "I Study of Levels of Potassium", with seven treatments. In the analysis of the results the yield data are used in tons of caña/ha in the plant stumps up to third sprout. The such analytic determinations as: pH (H2O), pH(KCl), MO and interchangeable cationes (Ca2+, Mg2+, K+ and Na+) and CIC was carried out in the parcel witness. The obtained results show that the contents of potassium in the floor are enough for the nutrition of the cane of sugar significant differences don't exist since among the applied doses of fertilizer potásico. When concluding the cycle an increase of the pH it was obtained and of the catión Mg+ impacting in the relationship Ca/Mg, the interchangeable potassium (K+) in the solution of the floor he/she stayed constant to beginning and final of the cycle and it diminished the content of organic matter in the floor. The behavior of these properties affects the fertility and the quality of the floor therefore is recommended to apply measures of improvement and conservation of floors to increase its productivity.

Key words: agroecosistema, potassium, fertility, conservation.

Introducción

El cultivo de la caña de azúcar en el territorio agrícola nacional continúa siendo una de las principales fuentes de ingreso de la economía, abarca varios tipos de suelos, condiciones topográficas y regiones climáticas, por lo que es afectado por diversos factores tanto naturales como antropogénicos. (García, 2000).
Los Vertisuelos juegan un papel importante en el desarrollo agrícola del país y nuestra provincia dedica grandes extensiones de estos al cultivo de la caña de azúcar. Este agrupamiento posee dentro de sus características fundamentales una alta fertilidad desde el punto de vista químico, aunque su uso está limitado por las deficientes propiedades físicas y mineralógicas que hacen difícil su manejo, tanto en épocas de seca como de lluvia.
Una medida de la capacidad productiva de los agroecosistemas a largo plazo es la condición de los suelos. Los procesos climáticos naturales y las prácticas de manejo pueden afectar la calidad de los mismos. El agotamiento de nutrientes con frecuencia se vincula con la intensificación en tierras marginales, pero puede ocurrir en cualquier tipo de suelo si los nutrientes extraídos por el cultivo no se reponen adecuadamente. Este aspecto y la pérdida de materia orgánica constituyen uno de los principales procesos de degradación del suelo.
La caña de azúcar posee una alta demanda de nutrientes en particular, nitrógeno, potasio, calcio y fósforo. El equilibrio de nutrientes es una de las principales técnicas para mantener la capacidad productiva de un ecosistema, particularmente en aquellos donde se cultiva la caña de azúcar de forma intensiva se impone la reposición de nutrientes del suelo con abonos orgánicos o fertilizantes inorgánicos.
El análisis de suelo es una herramienta de gran utilidad para diagnosticar problemas nutricionales y establecer recomendaciones de fertilización. El Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE), propone un uso eficiente de los fertilizantes, propiciando que las cantidades de estos productos a utilizar fueran los estrictamente necesarios para satisfacer las necesidades del cultivo no cubiertas con los aportes de formas asimilables de nutrientes aportados por el suelo, evitando efectos perjudiciales de una fertilización irracional en cuanto a productividad, rentabilidad y protección del medio ambiente.
El siguiente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento de las propiedades químicas en un Vertisuelo durante un ciclo de cultivo con caña de azúcar y su influencia en el agroecosistema.

Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en áreas del Bloque Experimental de Cristino Naranjo, perteneciente a la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín. Las evaluaciones fueron realizadas en el 3er ciclo del experimento de "*Estudio de Niveles de Potasio*", plantado sobre un diseño de cuadrado latino con la variedad C120-78. Los tratamientos aplicados se describen a continuación: **I (0-0-0), II (0+Fondo), III (40+Fondo), IV (80+Fondo), V(120+Fondo), VI(160+Fondo), VII (200+Fondo)**. El fondo empleado fue de 120 Kg N/ha y 50 Kg P_2O_5/ha. Se comparan las toneladas de caña/ha producidas en los siete tratamientos. Se analizan las propiedades químicas en la parcela testigo al inicio y final del ciclo: pH (H_2O), pH(KCl), MO, cationes intercambiables (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ y Na^+) y la CIC.
Se realizó un análisis de varianza utilizando el paquete estadístico Statif V. 6.0. Las evaluaciones fueron realizadas según las Normas Metodológicas del Departamento de Suelos y Agroquímica (INICA, 1990).

Resultados y Discusión

Los resultados de la Figura 1, muestran que entre los siete tratamientos no existen diferencias significativas en las toneladas de caña por hectáreas obtenidas, debido al carácter potasófico de la caña de azúcar y al aceptable balance de las formas de potasio de estos suelos. Angarica (1985), Rubio (1982) y Cuellar (1983) Se destaca la cepa de planta por su mayor producción con un agotamiento en las cepas sucesivas producto

del empeoramiento de las propiedades físicas del suelo, la mala agrotecnia, entre otros, son factores que influyen en la respuesta productiva del cultivo, independientemente de los niveles de fertilizantes suministrados. Otros estudios realizados por Angarica (1990), manifiestan no encontrar respuesta a la fertilización con potasio en estos suelos, ya que las reservas de potasio aún son suficientes para nutrir la caña de azúcar. Los factores limitantes juegan un importante papel en la respuesta a la fertilización, ya que las precipitaciones, el mal drenaje y la compactación impiden alcanzar rendimientos potenciales, lo que se hace necesaria la aplicación de medidas de acondicionamiento y mejoramiento de los suelos para aumentar su productividad.

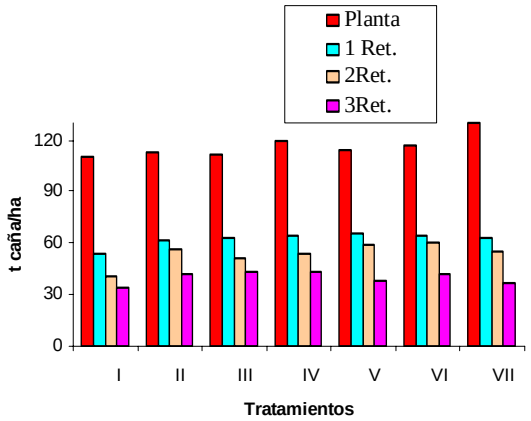


Figura 1. Comportamiento de los rendimientos ante las dosificaciones de fertilizantes

La caña de azúcar es un cultivo que se adapta a un amplio intervalo de pH. La Figura 2 muestra el comportamiento del pH al inicio y final del ciclo en la parcela testigo, pasando de un estado neutro a ligeramente alcalino de acuerdo a los valores críticos propuestos por Pegel y otros (1982). El pH, es consecuencia de la relación de los cationes alcalinizantes o bases cambiables (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} y Na^{+}), provocando un aumento del pH, a medida que aumenta la participación de los dos primeros (Ca^{2+} y Mg^{2}).

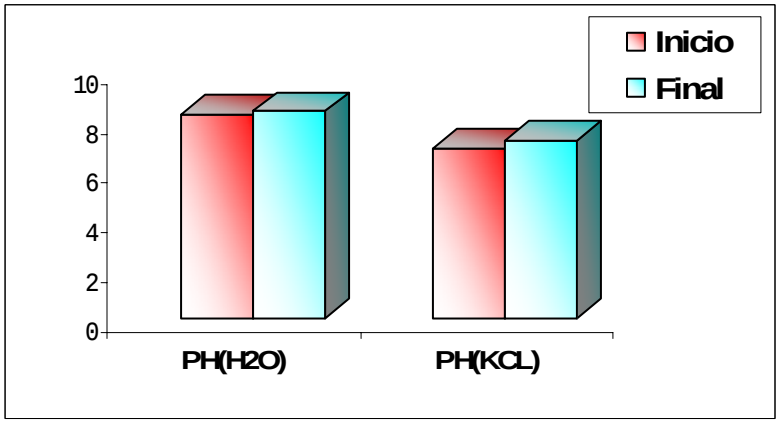


Figura 2. Comportamiento del pH a inicio y final del ciclo

La Figura 3, presenta los valores de los cationes al inicio y final del ciclo con predominio del (Ca^{2+} y Mg^{2+}), incrementándose el Mg^{2+} al final del ciclo. El potasio intercambiable (K^{+}) se mantiene constante durante todo el ciclo (0.68 $cmol.kg^{-1}$), lo que puede estar condicionado por su gran poder regulador. Investigaciones

realizadas por Conti (1993), plantean que en los suelos bien regulados, el poder de suministro del potasio no es sensiblemente afectado por la extracción de los cultivos, de esta manera el potasio en la solución del suelo es mantenido regularmente constante a lo largo de todo el ciclo del cultivo. A medida que el potasio es absorbido y extraído su concentración es renovada y restituida por formas menos accesibles.

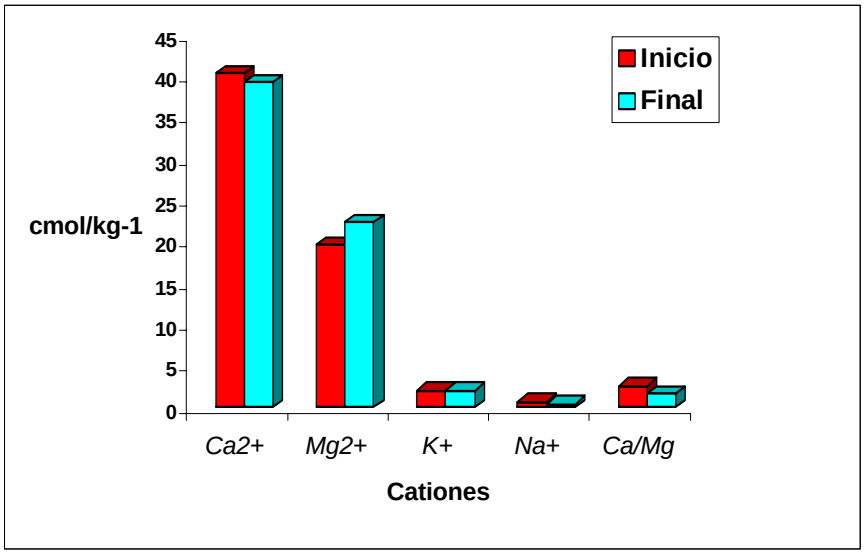


Figura 3. Cationes Cambiables a inicio y final de ciclo

La relación Ca/Mg al inicio del ciclo es considerada conveniente siendo esta de 2:1, sin embargo al final del ciclo se pierde esta relación, existiendo un incremento del catión Mg^{2+}, esto trae inconvenientes en el suministro de nutrientes por el suelo. Estudios recientes determinaron que en suelos donde hay poco Na^{+}, pero mucho Mg^{2+} se manifiesta un estado estructural deficiente, disminuyendo la aireación y por consiguiente la permeabilidad , en lo que se puede pensar en resolver estos problemas con enmiendas químicas. Cairo, (2005).

La CIC, al inicio y final del ciclo aumenta de 61,16 a 62,55 $cmol.kg^{-1}$ respectivamente, no obstante, es importante tener en cuenta el porcentaje que cada catión representa de la CIC, (Tabla I).

Tabla I. Cationes Intercambiables presentes en el suelo al inicio y final del ciclo

Ciclo	***Ca^{2+}***	***Mg^{2+}***	***K^{+}***	***Na^{+}***	***CIC***	***Ca^{2+}***	***Mg^{2+}***	***K^{+}***	***Na^{+}***
	$cmol.kg^{-1}$					***% CIC***			
Inicio	40.43	19.56	0.68	0.49	61.16	66.0	31.0	0.8	**1.1**
Final	**39.25**	**22.35**	**0.68**	**0.27**	**62.55**	**62.8**	**35.7**	**0.4**	**1.0**

Lazcano, (2001), plantea que un suelo ideal debe contar aproximadamente con 65% de calcio (Ca), 10% de magnesio (Mg), 5% de potasio (K) y 20 % de hidrógeno entre sus cationes intercambiables. Siendo así, un suelo que tiene cationes en exceso de la saturación ideal como es el caso del Mg, se deben hacer recomendaciones de enmiendas orgánicas, ya sea para incrementar los otros cationes que están deficientes o reducir el que está supuestamente excedido.

El contenido de materia orgánica del suelo y su estabilidad a través del tiempo son indicadores claves de su calidad y fertilidad, estos permiten estimar de forma aproximada las reservas de N, P y S en el suelo y su comportamiento en la dinámica de nutrientes (Kass, 1996). Durante el ciclo el porcentaje de MO decreció de niveles medios a bajos, (2.05 a 1.86 %), respectivamente. Esto afecta la retención de agua, la capa cultivable del suelo y la riqueza de su biota. Se puede detener este deterioro y restaurar la materia orgánica hasta

niveles adecuados mediante una apropiada rotación de cultivo, aplicación de nutrientes particularmente de fuentes orgánicas y prácticas de laboreo mínimo, para evitar la remoción de los residuos de cultivos y la erosión del suelo, que aceleran la pérdida de la materia orgánica.
Existe la evidencia de que para mantener el aumento de los rendimientos o preservarlos en sus niveles potenciales se requieren de las aplicaciones regulares de fertilizantes, sin tener en cuenta que esto puede ocultar el deterioro de otras propiedades del suelo, como son las relaciones entre nutrientes, la pérdida de la materia orgánica, los procesos erosivos, la salinización por lo que es necesario, aplicar las medidas de mejoramiento de suelos para aumentar su productividad, de esta manera se establece un sistema agrícola sostenible, consistente en detener los procesos que degradan los suelos. (MINAGRI, 2001).

Conclusiones y Recomendaciones

- El contenido de potasio en el suelo es suficiente para la nutrición de la caña de azúcar en el tercer ciclo de cultivo.
- El pH aumentó al final del ciclo debido al aumento del Mg^{+} en la solución del suelo.
- El potasio intercambiable se mantuvo constante durante todo el ciclo debido a su gran poder regulador.
- Se afecta la relación Ca/Mg al final del ciclo debido al predominio del Mg lo que incide en el suministro de nutrientes por el suelo.
- Disminuyó el contenido de materia orgánica lo que afecta la fertilidad y la calidad del suelo.
- Aplicar medidas de acondicionamiento y mejoramiento para aumentar la productividad de los vertisuelos que se encuentran bajo condiciones de monocultivos con caña de azúcar, que incluyan aplicaciones de enmiendas orgánicas y laboreo mínimo para evitar la remoción excesiva de residuos de cultivos y la erosión del suelo.

Referencias Bibliográficas

- Angarica, B. E. (1985). Caracterización agroquímica y uso de los fertilizantes en caña de azúcar en suelos Oscuros Plásticos Grises Amarillentos de la provincia Holguín y Santiago de Cuba. Tesis para optar por el grado de Candidato a Doctor en Ciencia Agrícolas.
- Angarica, E., E. Pérez y B. Montero. (1990) requerimientos de NPK para la caña de azúcar bajo condiciones agroclimáticas de la provincia Holguín.
- Cairo, C. y O. Fundora. (2005) Edafología. Segunda Parte. Editorial Félix Varela. La Habana,
- Conti, M. E.; A.M. de la Horra. D. Effrom.; M. P. Jiménez. (1993). Alteración producida en la relación cantidad-intensidad de potasio (Q/I) de algunos suelos argentinos afectados por el laboreo continuo. Agrochimica. 37. 4-5.
- Cuellar, I. (1983): El potasio en los principales tipos de suelos de las plantaciones cañeras de Cuba y efectividad de la fertilización potasita de la caña de azúcar. Tesis CDr, INICA, 115 p.
- INICA, (1990). Normas Metodológicas del Departamento de Suelos y Agroquímicas.
- Kass, D. (1996). Fertilidad de Suelos. Editorial EUNED, San José. Costa Rica. 272 p.
- Lazcano F. I. Los resultados de los análisis de suelos como un elemento para el manejo integral del suelo. Instituto de la Potasa y el Fósforo. México.
- MINAGRI, (2001): Programa nacional de mejoramiento y conservación de suelos. Instituto de Suelos, Edit. Agrinfor. La habana. 39 p
- Pegel H., J. Enrmann y H. Mustscher: (1982). Planzennahrstoffe in tropischen Boden Ihre Bestimmung und Bevertung. VEB, Berlin.
- Rubio, R. (1982). La calibración del análisis potásico del suelo, para recomendaciones de fertilización potásica de la caña de azúcar. Tesis CDr, INICA, 18 p.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y DIVERSIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA DEL MINAZ EN VILLA CLARA

Everaldo Becerra de Armas[1], Rafael Más Martínez[1], Emma Pineda Martínez[1], Bárbara Barreto Pérez[1], Nadyesca Hernández Román[1], Manuel Luciano Vidal[1], Aldo Valencia[1], Fidel Acosta[1], Amaury Cruz[1], Lorena Quiñones[1], Ana Ibis Prieto[2], Nancy Guerra Martín[2], Celso F. Manso Pérez[2], Omar Dios Ruiz[2], Pio Abundio Ferrer[2], Evaristo Curvelo[3], Jorge Luis Fundora[3].

[1] Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara – Cienfuegos – Sancti Spíritus. pima@epica.vc.minaz.u
[2] Empresas Agropecuarias de Villa Clara.
[3] GEA Villa Clara.

Resumen

Desde hace varios años el Ministerio del Azúcar (MINAZ) ha estado enmarcado en un profundo proceso de cambios, con el objetivo de ser cada vez más eficiente en sus producciones, para ello se realizó el estudio de la aptitud física de la tierra para el cultivo de la caña de azúcar y para otros 33 cultivos. Teniendo en cuenta estos objetivos, así como las premisas establecidas por el MINAZ Nacional se procedió a realizar el ordenamiento y planificación territorial de las áreas del MINAZ en Villa Clara. Por ello, se elaboró una nueva propuesta de uso de la tierra, dedicándose aproximadamente el 36.6 % del área agrícola para el cultivo de la caña de azúcar, a cultivos varios 9.47 %, el 44.4 % a la actividad pecuaria, 7.85 % a forestales y el 1.63 % al cultivo de los frutales. Se implementó un SIG en todas las empresas y unidades productoras mediante el cual se generaron diferentes escenarios en forma de mapas temáticos que permitieron optimizar el proceso de toma de decisiones disminuyendo los posibles errores.

Palabras Clave: Diversificación, Ordenamiento Territorial y SIG

Abstract

For several years the Ministry of Sugar (MINAZ) has been involved in a deep process of changes, with the objective of being more and more efficient in its productions, so it was carried out the study of the physical aptitude of the soil for growing sugar cane and other 33 crops. Keeping in mind these objectives, as well as the premises settled down by the MINAZ, it was carried out the classification and territorial planning of the areas of the MINAZ in Villa Clara. So, a new proposal of use of the soil was elaborated, approximately 36.6% of the agricultural area was devoted to sugarcane growing, 9.47% was devoted to vegetables, 44.4% to the cattle activity, 7.85% to forest and 1.63% to the cultivation of the fruit-bearing ones. A Geographical Information System (GIS) was implemented in all the companies and productive units by means of which different scenarios were generated in form of thematic maps that allowed to optimize the process of decisions making diminishing possible errors.

Key words: Diversification, Territorial Classification and Geographical Information Systems (GIS)

Introducción

Debido a las trasformaciones y diversificación que ha venido experimentado el Ministerio del Azúcar con el objetivo de ser cada vez mas eficientes en sus producciones, la proyección territorial juega un papel extremadamente principal en la organización, control, restauración y medición de las áreas agrícolas, siendo el área la base fundamental para los cálculos de fertilizantes, herbicidas, estimados de producción, pago de salarios, combustible, etc., los que garantizan un desarrollo productivo de forma eficiente, ya que una información imprecisa o morosa pierde validez e importancia.

Otro elemento de gran importancia en el para el proceso de diversificación lo constituyen los estudios detallados del suelo y uso de la tierra, los cuales resultan de gran importancia para el planeamiento del desarrollo agrícola de una región, constituyendo un arma insustituible para que los especialistas, productores y decisores puedan conocer cuales son los cultivos a sembrar, las medidas agrotécnicas a emplear así como el riego y la fertilización idónea.

En general para poder establecer un planeamiento agrícola sostenible, es decir, que sea económica y ecológicamente compatibles, no se puede prescindir del conocimiento del medio edáfico, fundamental para establecer adecuadamente el mejor uso y conservación de la tierra (Ortiz y col, 2004).

El desarrollo de herramientas que permitan desarrollar y fortalecer este proceso participativo de diversificación, debe de ser visto como una acción prioritaria a desarrollar, en búsqueda de optimizar las potencialidades del territorio.

Los sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta de gran utilidad para la diversificación agropecuaria y el ordenamiento territorial ya permiten la entrada de datos, su almacenamiento, tratamiento y la elaboración de información y a partir de dichos datos espaciales integrados con datos cualitativos se genera información que permite optimizar la toma de decisiones en el área donde se emplee.

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar los principales resultados obtenidos en el proceso de diversificación agropecuaria en el MINNAZ en la provincia de Villa Clara así como la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica con el objetivo de ayudar y facilitar el trabajo de las personas encargadas de tomar decisiones en función de mejorar la eficiencia de la agricultura.

Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en 4 etapas fundamentales:

1. Evaluación de aptitud y uso de la tierra para la caña de azúcar.
2. Solución de los conflictos de uso de la tierra en la caña de azúcar (con el inicio de la Tarea Álvaro Reynoso se decidió mantener la caña de azúcar solo en las mejores áreas, con categoría A1 y A2).
3. Evaluación de aptitud de la tierra para otros cultivos, pastos y forestales (Más y Col, 2002).
4. Implementación del programa agropecuario (esta etapa incluye la elaboración de Planificación Estratégica y Ordenamiento Territorial para las áreas que se dedicaron a la producción de cultivos diversificados y la implementación del SIG como herramienta de apoyo a la toma de decisiones).

Para la evaluación de aptitud y uso de la tierra fueron utilizados las siguientes informaciones, procedimientos y softwares:

- Series de datos climáticos de 4 estaciones meteorológicas de Villa Clara (Sagua, Caibarién, Yabú y Sto. Domingo).
- Base de datos del Mapa 1:25 000 de la Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba.
- Datos históricos y actuales de rendimientos, costos de producción, balances de área agrícola y otras estadísticas, aportados por los CAI y la Delegación Provincial del MINAZ en Villa Clara.
- Programas de computación PreAgro24 (INICA, 2000), FoxPro, EXCEL, etc.

- Sistema de Evaluación de Suelos Agro24 (Mesa y col, 1993).
- Sistema de Información Geográfica ILWIS 3.0.
- Bases de conocimientos obtenidas por consultas con expertos.

Los cultivos evaluados fueron: Caña De Azúcar, Boniato, Malanga Colocasia, Malanga Xanthosoma, Papa, Plátano Fruta, Plátano Vianda, Yuca, Calabaza, Ajo, Cebolla, Col, Melón, Pepino, Pimiento, Tomate, Zanahoria, Arroz de Frío, Arroz de Primavera, Café, Frijol, Maíz, Fruta Bomba, Guayaba, Mango, Cítrico, Tabaco, Pastos, Soja, Maní, Sorgo, Girasol, Piña, Uva y Fresa.

Para la implementación del SIG en el desarrollo de este trabajo se procedió primeramente a la recopilación de la información primaria: gráfica o espacial y las bases de datos asociadas.

Recopilación de la Información Primaria

Gráfica

La información Primaria Grafica consta de:

a.- Mapas por bloques 1:10 000

b.- Hojas Cartográficas 1:10 000,1:25 000

c.- Plano de suelo 1:25 000

d.- Imágenes Digitales

e.- Catastros especializados de las unidades 1:10 000

Esta información se recopiló en el departamento de Proyección Territorial, así como en las Unidades Productoras de la empresa. Además se visitaron las oficinas de GEOCUBA con el fin de recopilar Catastros Especializados, Hojas Cartográficas, Fotos Aéreas, etc.

Bases de Datos

Toda Base de datos por pequeña que sea puede tener importancia, por ello a la hora recopilar la información primaria debe recogerse todas las bases disponibles.

Las bases de datos de vital importancia son:

a.- Bases resultantes de la Evaluación del Suelo.

b.- Modelos Estadísticos (balance de áreas, uso y control de suelo).

c.- Bases de datos de la estructura vial (inicio, final, categoría, estado técnico, etc.).

d.- Inventario de los sistemas de riego.

Validación de la Información

Gráfica

Los mapas existentes en las empresas se revisaron con los compañeros de Proyección Territorial y los jefes de producción y técnicos de las unidades, para que estos fuesen lo más actualizados posible, asegurando que la bloquificación, campificación y estructura territorial que aparezca en los mapas sea la que realmente hay en el campo.

Los objetos desactualizados fueron corregidos usando GPS, además estos equipos se utilizaron para verificar en el campo la validez de algunos objetos seleccionados al azar lo cual nos dio una idea del nivel de veracidad de los mapas con que se trabajó.

Se verificó que los mapas a digitalizar poseían redes de coordenadas, en los caso donde no era así se superpuso a cartográficos de igual escala para trasladar los ejes de coordenada del cartográfico al planimétrico

Bases de Datos

Al igual que con la parte grafica se validaron todas las bases de datos, constituyendo objetivo fundamental que la cantidad y número de los bloques y campos fueran la misma que aparecían en los mapas, para evitar errores a la hora de asignarle los valores correspondientes a cada objeto en los mapas. En esto jugó un papel fundamental las Unidades Productoras, así como los técnicos del área agrícola.

Terminado todo este proceso pasamos a convertir con ayuda del escáner los mapas georeferenciados a formato Raster para su posterior digitalización.

Digitalización

Se utilizó la digitalización en pantalla en el SIG MapInfo, con la ayuda de imágenes ráster ya que con esto se logra una mayor precisión y calidad del trabajo dada las ventajas que el mismo brinda, aunque existen otros métodos para lograr la digitalización.

Se crearon 4 capas de mapas las cuales contendrán información gráfica y estructura de datos diferentes las cuales son:

Caña – A pesar de que estas empresas cambiaron su objeto social (de productoras de caña a agropecuarias) se creó esta capa con vistas a tener identificada las áreas que se plantarían con este cultivo con destino a alimento animal.

Otros Usos – La misma tendrá todos los usos excepto la caña, incluyendo los sistemas de riego.

Viales- La conformaran las carreteras, terraplenes y líneas férreas.

Límite de las Unidades- Contendrá el límite de la unidad.

Para llevar a cabo este proceso en se realizo un concentrado de trabajo, en el que participaron todas las empresas Azucareras y agropecuarias de la provincia. Se digitalizaron e introdujeron en un SIG (MAPINFO 8.0) el mapa catastral escala 1: 10 000 a nivel de parcela y de suelos a escala 1:25000 de todas las Unidades de Producción de las empresas agropecuarias del MINAZ en la provincia. La información agrícola literal correspondiente a bases de datos de suelo, clima y uso de la tierra fue organizada y asociada a la base de datos espacial mediante un identificador común, conformándose de esta forma las bases de datos digitales.

Finalmente se elaboró el programa agropecuario el cual se basó en la necesidad de satisfacer la demanda de alimentos de toda la población de manera estable y balanceada para cubrir el déficit de la distribución normada en cantidad y en valor nutritivo, así como la sustitución de importaciones.

El proceso de “Planificación Estratégica y Ordenamiento Territorial” de las nuevas empresa agropecuarias se concibió en el marco de desarrollo de tres fases consecutivas.

1. Fase Constructiva: Se caracterizó por el desarrollo y sistematización de las bases conceptuales, de participación y concertación, que sustentaron el Plan de Ordenamiento Territorial, lo cual nos permitió la obtención de información primaria y secundaria, que se utilizara para la elaboración del “Diagnostico” y proponer el marco operativo para el desarrollo de la “Fase Estratégica”;
2. Fase Estratégica: Consistió en la elaboración de la Planificación, la consolidación y formulación del Plan de Ordenamiento Territorial, producto de estudios, verificación de campo, desarrollo de base SIG y acciones participativas;
3. Fase Operativa: Fase en la cual se definieron en forma participativa las propuestas de desarrollo territorial, la formulación, organización, gestión y ejecución del “plan de ordenamiento territorial”.

Resultados y discusión

La provincia de Villa Clara antes de la TAR estructuralmente estaba conformada por 28 Complejos Agroindustriales Azucareros y una empresa de alimentos (figura 1), subdivididos en 121 UBPC, 48 CPA, 70 CCS, 3 Granjas Estatales y 28 Bancos de Semilla Registrada (Vidal y col, 2002).

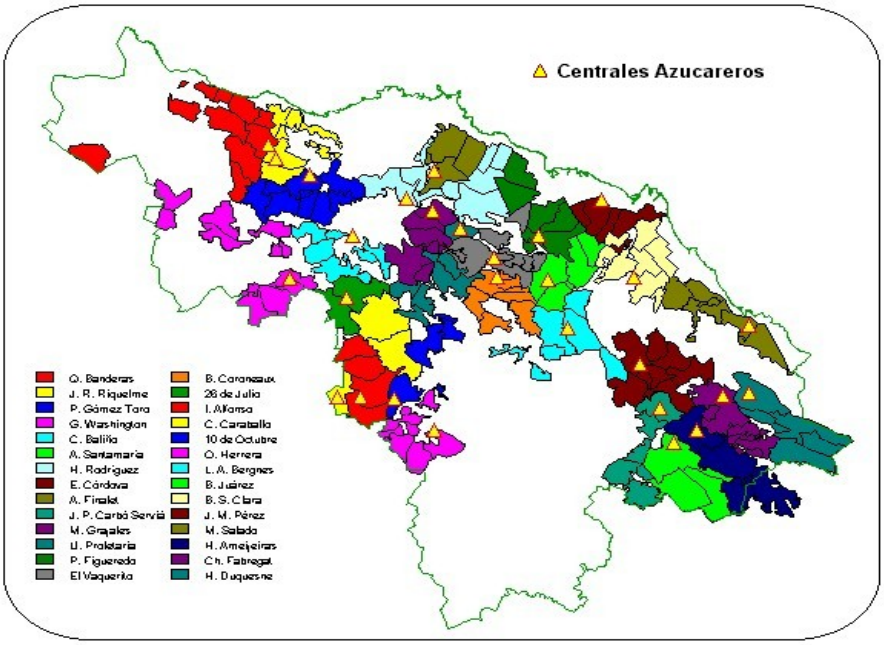


Figura 1. Territorio de las empresas del MINAZ antes del reordenamiento en Villa Clara.

En cuanto al la distribución del uso del suelo en la provincia antes de la Tarea Álvaro Reynoso (TAR) estaba ocupada de la siguiente forma: la caña de azúcar era el cultivo que mayor superficie ocupaba con un 79.6% del total del área agrícola, el 9.9% estaba ocupado por pastos, el 6.7% estaba dedicado a la producción de alimentos, el 3% del área estaba ociosa y el 0.8% de forestales y frutales (Pérez y col, 2001), tal como se puede apreciar en la figura 2.

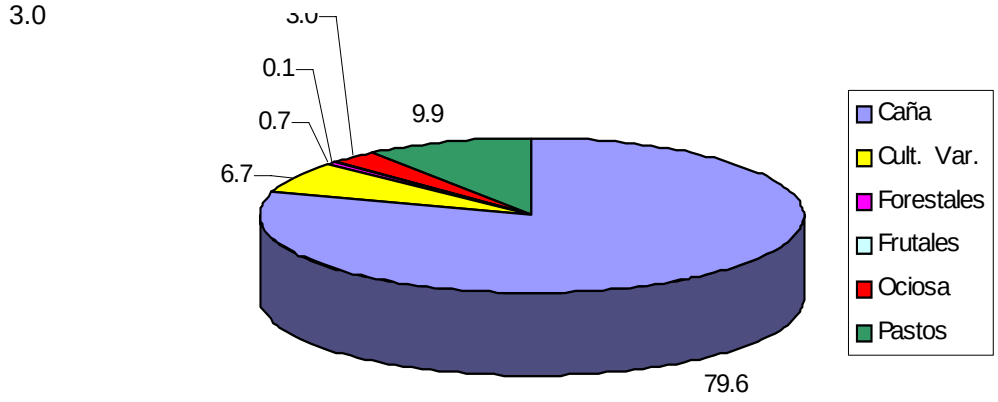


Figura 2. Distribución del uso del suelo en las áreas del MINAZ en Villa Clara.

Reordenamiento Agroproductivo y Estrategias

Sobre la base de los estudios de la evaluación de aptitud y uso de la tierra, así como las premisas establecidas por el MINAZ Nacional de mantener funcionando los centrales de mayor eficiencia industrial y menores costos de producción del azúcar y mantener además los CAI con mayor desarrollo en la producción de derivados se llevó a cabo el proceso de reestructuración quedando conformada por 10 Empresas Azucareras y 5 Empresas Agropecuarias (figura 3), las cuales cuentan con un total de en 85 UBPC, 31 CPA, 8 CCS, 1 Granjas Estatales y 12 Bancos de Semilla Registrada

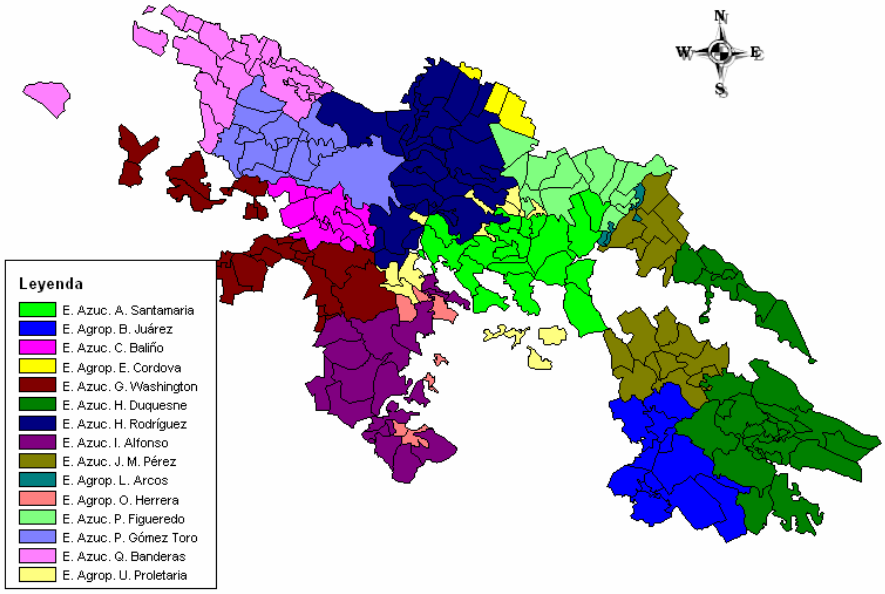


Figura 3. Estructura de las nuevas empresas azucareras y agropecuarias del MINAZ en Villa Clara

Con el fin de poder lograr la actualización de las áreas y creación de un catastro que garantizara las necesidades del MINAZ y facilitara el manejo de la información de forma rápida con una alta confiabilidad, nos auxiliamos con tecnología de punta en el mundo, como son los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), con los cuales se realizaron las mediciones necesarias en el campo, los Sistemas de Información Geográficos (SIG) que han sido utilizados para la mapificación y la creación de bases de datos asociadas de alto valor para el manejo de las Empresas, ayudándolos en las tomas de decisiones de forma rápida y segura.
Para el reordenamiento del uso del suelo se tuvieron en cuenta otro grupo de premisas entre las que se encuentran dedicar a la producción de caña las tierras de mayor aptitud para este cultivo (A1 y A2) y destinar a otros usos agropecuarios y forestales las áreas no seleccionadas para la producción cañera, proceso que se ha venido realizando de forma paulatina y en cual el Estudio de Capacidad de Uso de la Tierra (ECUT) juega un papel fundamental.
Los ECUT se determinaron mediante el empleo de los Sistemas de Información Geográfica en forma de mapas temáticos "conflictos de uso" (figura 4) al comparar los resultados de "Aptitud física" y cruzarlo con el mapa de "uso actual".

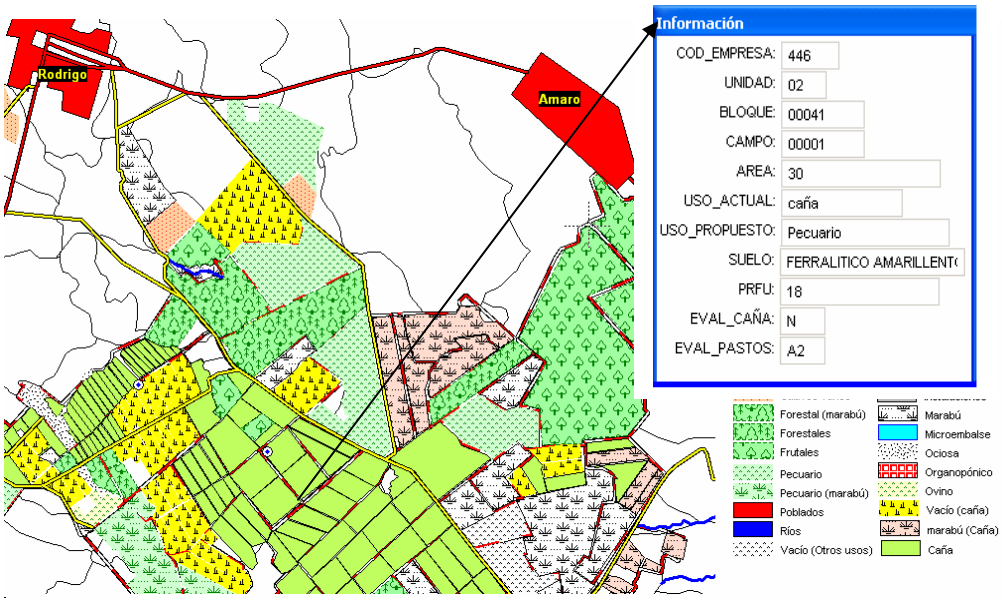


Figura 4. Conflicto de uso del suelos en la UBPC Rodrigo, Empresa Azucarera Carlos Baliño.

Como resultado de este trabajo de logró determinar que existían en la provincia el 52 % del área total y el 51 % del área plantada de caña correspondía a las categorías A3 ó N. También puedo comprobar que el 9.3 % del área con evaluación A1 y A2 para caña de azúcar de la provincia estaba destinada a otros usos o no se explotaba.

Ante esta situación el Equipo Técnico de Ordenamiento Territorial (ETOT), Integrado principalmente por profesionales y Técnicos de las empresas, la ETICA Villa Clara y el Grupo Empresarial Agroindustrial (GEA) se dio la tarea de realizar la formulación del Plan de Ordenamiento Territorial.

Para la selección y recomendación de los cultivos a sembrar en las áreas que no continuarían con caña se tuvo en cuenta la aptitud de los suelos (figura 5) y los principales factores limitantes que afectan la producción de los diferentes cultivos.

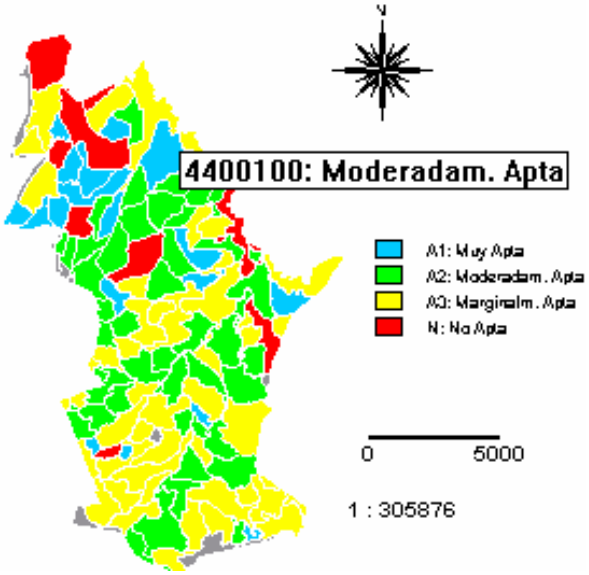


Figura 5. Mapa de aptitud de la tierra para el cultivo de la yuca, Empresa Azucarera Ifraín Alfonso.

Mediante la asociación de las bases de datos como son las referentes a los servicios científicos técnicos que brinda el INICA (SERFE, SERVAS, SERFIT, SERCIM, etc.) a los Productores se generaron mapas temáticos de reservas de nutrientes, conocidos como cartogramas agroquímicos (figura 6), los cuales permitieron identificar con mayor precisión los lugares donde existía un mayor déficit de estos nutrientes y trazar una estrategia de aplicación de abonos con vistas a enmendar estas carencias.

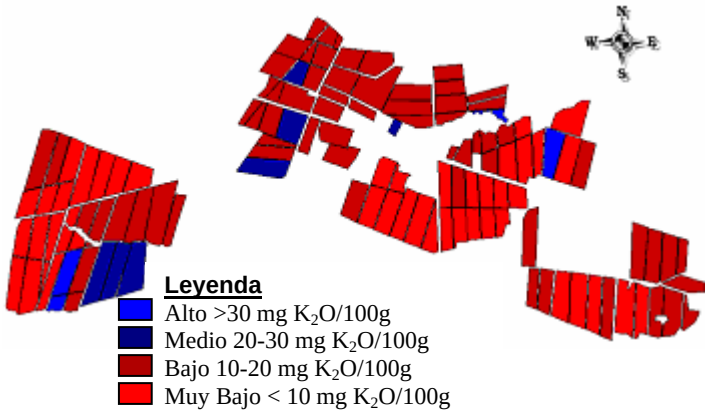


Figura 6. Cartograma de Potasio. UBPC Jaime H. Vilella. Empresa Azucarera George Washington.

En este sentido es alarmante el déficit de potasio que se presenta en los suelos de la provincia donde el 88.5% del área cañera presenta bajo contenido de este nutriente esencial para el buen desarrollo del cultivo de la caña de azúcar. De igual forma se pueden generar mapas de recomendaciones de fertilizantes (figura 7). El programa funciona de la siguiente forma, en la tabla de datos de la Unidad que se está analizando se toman las variables que intervienen en la recomendación de la dosis de cada nutrimento, por ejemplo, para el Nitrógeno serán: Cepa, Rendimiento esperado (t/ha) y si el suelo presenta o no limitaciones por compactación o hidromorfía (Arzola y col, 1998).

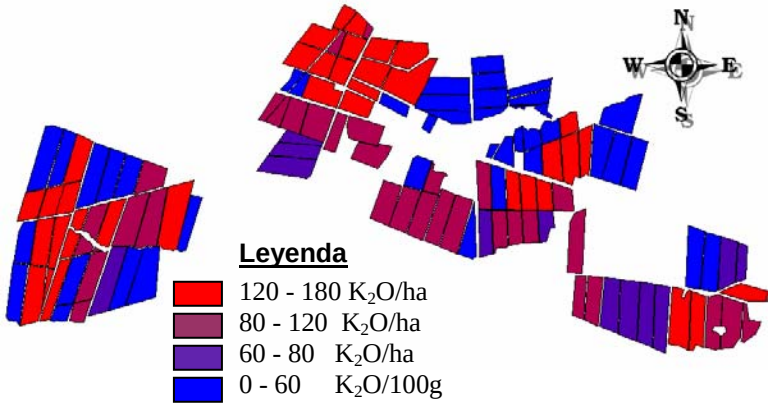


Figura 7. Mapa de recomendaciones de Potasio. UBPC Jaime H. Vilella. Empresa Azucarara G. Washington.

Dada la gran importancia y utilidad de los SIG en la toma de decisiones se utilizó esta herramienta con vista a diseñar la estrategia de producción para el período correspondiente al 2007 – 2010 (figura 8), lo cual sirvió para confeccionar el plan de inversiones para llevar a cabo satisfactoriamente dicho programa de producción.

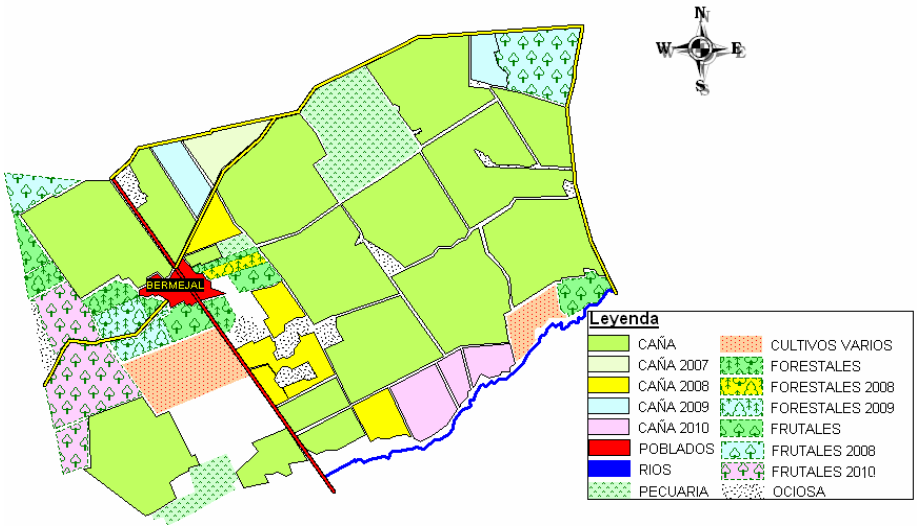


Figura 8. Estrategia de producción. UBPC Bermejal. Empresa Azucarera C. Baliño.

Finalmente la propuesta de uso de la tierra fue: caña 36.6 %, cultivos varios 9.47 %, Actividad pecuaria 44.4 %, forestales 7.85 % y frutales 1.63 % (figura 9)

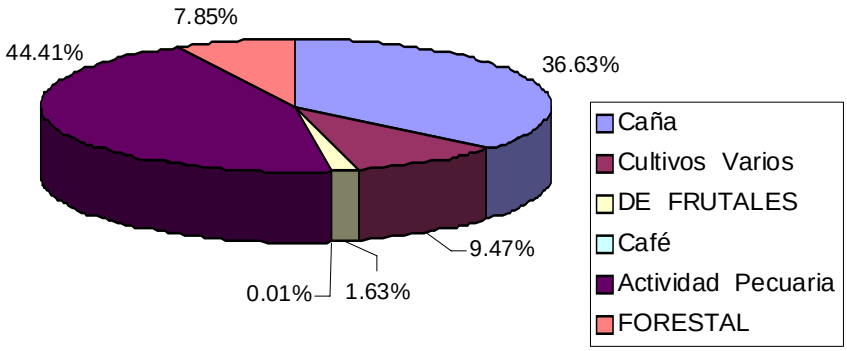


Figura 9. Uso propuesto del suelo. Provincia Villa Clara.

Mediante el estudio del relieve se potencian las posibilidades de recuperación de territorios dañados por proceso exógenos, como la erosión y la denudación en general, que ocupan los primeros lugares en cuanto a la extensión y gravedad de los impactos ambientales y atentan contra los rendimientos agrícolas y la estabilidad geoecológica (Ángel y col, 2003).

La figura 10 muestra un ejemplo de aplicación de los mapas de relieve mediante la utilización de las curvas de nivel en la empresa azucarera Carlos Baliño.

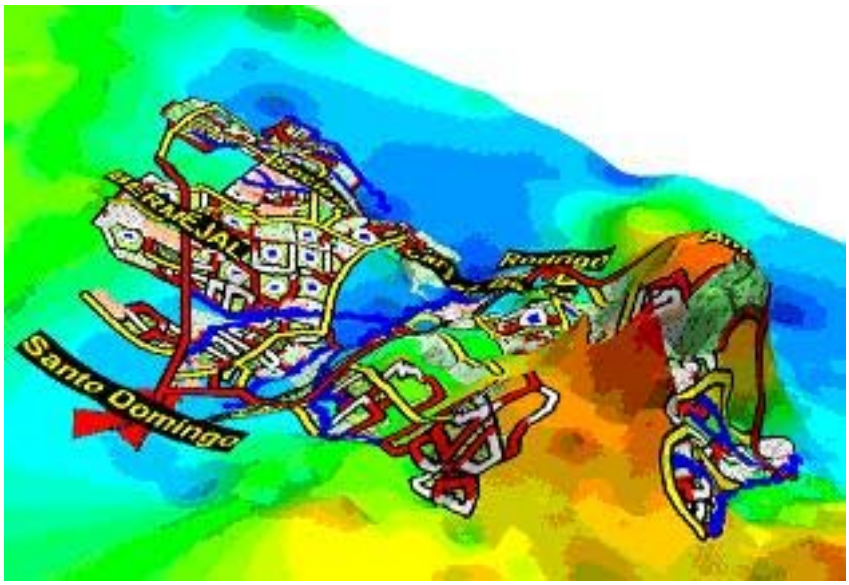


Figura 10. Mapa de Relieve de la empresa Carlos Baliño

Beneficios económicos, sociales y ambientales.

Es habitual en trabajos de esta índole realizar una valoración económica de los resultados alcanzados, no obstante en este caso, resulta extremadamente difícil, representar numéricamente el efecto económico que puede derivarse, al realizar el ordenamiento territorial de las unidades de producción cañera de las empresas azucareras, sin embargo el aporte económico se revierte al contar los técnicos, directivos y productores con una potente herramienta, que les permite tomar las decisiones adecuadas, en el momento oportuno, logrando una organización mas eficiente en la producción al disminuir al mínimo la posibilidad de errores e imprecisiones que tanto daño originan en la economía.

Mediante el empleo de los SIG se puede analizar un gran cúmulo de datos, con la ventaja de combinar información temática y espacial, brindando la posibilidad de realizar análisis espaciales en un período relativamente corto de tiempo y con una alta calidad. Este trabajo ha contribuido además a la capacitación del personal agrícola d las empresas en materia de sistema de información geográfica y agricultura de precisión.

La oferta que ofrece una empresa especializada (GEOCUBA) en la actualización del catastro y la implementación de un Sistema de Información Geográfica en las empresas azucareras de la provincia Villa Clara es de 272.0 $ MN/ Km^2 y $9.75 MLC/ Km^2 . Si tenemos en cuenta que la superficie total del MINAZ en la provincia es de 317901.03 ha (3179.0103 Km^2) y que estos servicios se realizaron por los especialistas de la ETICA Villa Clara y de las empresas azucareras y agropecuarias del MINAZ en la provincia, lo que represento para este organismo un ahorro equivalente al 70 % de los gastos por estos conceptos, podemos decir que este trabajo significó un ahorro de 605 283.6 $ MN y $ 21 696.75 MLC para este organismo.

Otro beneficio que se obtiene al implementar los SIG en las empresas es que actualmente las unidades de producción realizan el pago de las diferentes labores agrícolas que se realizan en los bloques y campos de caña, por el área estimada de los mismos y no por la real, lo cual origina toda una serie de problemas en el sistema contable de la unidad, ya que se paga de más o de menos la mayoría de las veces, en dependencia si el área estimada está por encima o por debajo de la real. Con la implantación del SIG se eliminan estas deficiencias, constituyendo esto una valiosa herramienta para las unidades productoras.

Principales resultados productivos de las áreas diversificadas.
Según información con cierre Junio 30 del 2008 existen en la provincia 130087.3 ha (38.8%) en explotación dedicadas a las producciones agropecuarias.

Programa de Cultivos Varios
En el programa de cultivos varios cuenta con 28221.7 Ha de ellas hay 20444.2 Ha en explotación para un 72.4 %. Hasta la fecha de un plan de producción de 11902.1 TM de cultivos varios y se han producido 12969.8 TM para un 109.2% con un crecimiento 1.8 veces mas que el año anterior y se han construido 371 organopónicos.

Programa Pecuario
- Producción de Leche

En cuanto al programa pecuario al cierre de junio el plan de producción de leche se cumple al 134.4% con un total de 9 millones 71 mil litros de leche de un plan de 6 millones 743 mil y la entrega al Balance Nacional se cumple aL 120.4%.

- Producción de Carne Vacuna.

La Carne Vacuna de un plan de producción hasta mayo de 1796.2 toneladas se producen 1948.6 t para un 108.4%, la entrega al Balance Nacional se cumple al 93.7% y GEMA al 204.8%. El incumplimiento al Balance Nacional es producto de la suspensión de 3 pesas por reparación del matadero las cuales se deben de recuperar con 2 pesas.

- Producción de Carne Porcina.

La carne porcina al Balance Nacional se cumple al 87.5 % con un total entregado de 112 toneladas de un plan de 128 toneladas

- Producción de carne Ovino-caprino, conejo y huevo.

Teniendo en cuenta la disminución del consumo en el comedor de la carne porcina y leche, para su entrega al Balance Nacional, es imprescindible que las Empresas Azucareras garanticen la producción de carne ovino-caprina, conejo y huevo con vista a la zafra.
La situación actual es la siguiente:

- Ovino – caprina: Existe un total de reproductoras existentes en la provincia es de 15458, que en su conjunto han producido hasta la fecha un total de 9.8 ton de carne ovino-caprino, lo que no garantizan comida para la zafra.
- Conejo: Provincialmente el total de reproductoras cunicola son de 1027.
- Huevo: Hasta la fecha se han producido un total de 665.0 miles de

Programa Forestal y Frutales.
Forestales: La producción de posturas en los viveros hasta mayo/08 se comporta al 83.5% de 2030.0 M ptas se han producido solo 1694.3 Mptas
Frutales: La producción se cumple al 119.2% de 2065.6 Tm se logran 2462.3 Tm.

Conclusiones y Recomendaciones

1. Como resultado del Ordenamiento Territorial se conformó la estructura de la provincia de Villa Clara la cual quedó subdividida en 10 empresas azucareras y 5 empresas agropecuarias.
2. Del área agrícola del MINAZ en Villa Clara continúa vinculada a la producción de caña el 36.6 % del área y pasa a otros usos agropecuarios y forestales el 63.4 % (44.4 % pecuario, 7.85 % forestal, 9.47% cultivos varios y 1.63% frutales).
3. Los Sistema de Información Geográfica constituyen una herramienta de gran utilidad para ordenamiento territorial, la diversificación agropecuaria y el manejo sostenible de los suelos.
4. Existe un comportamiento positivo en los indicadores de producción de la provincia de Villa Clara, sobre todo en la producción de cultivos varios, leche y carne vacuna.

Referencias Bibliográficas

1. Ángel J y L Machín. Estudio del relieve para la gestión ambiental, con el uso de Sistemas de Información Geográficos. Instituto de Geografía Tropical. 2003
2. Arzola, N., A. Menéndez, M. de León y col. 1998. Bases para el empleo de Fertilizantes y Enmiendas. En: Elementos Básicos sobre Suelos y Usos de Fertilizantes en el cultivo de la Caña de Azúcar. INICA. P. 37-132.
3. INICA. (2000). PreAgro24. Programa para la preparación de datos de entrada al AGRO24. Grupo de Evaluación de Tierras, INICA.
4. Mesa, A. y A. Mesa. 1993. AGRO24. Sistema para el Cálculo del Potencial Productivo de los Suelos. Versión 4.0. Agrosoft, CNSF. MINAGRI.
5. Más R, L. Vidal, E. Becerra y col. 2002. Evaluación de la aptitud física de las tierras para cultivos diversificados.
6. Ortiz Garcés C., D. Gómez Concepción, B. Pérez Machado, J. P. Reyes Gómez, Bárbara Vargas González y Rosa Noguera Almeida. 2004. Tecnología para el Uso y Manejo Ecológico de los Suelos en una Unidad Básica de Producción Cooperativa de La Provincia Granma.
7. Pérez H, R. Más, E. Becerra y col. 2001. Evaluación de las tierras de los centrales azucareros de la provincia de Villa Clara, Cuba.
8. Vidal L, R. Más, E. Becerra y col. 2002. Solución de los conflictos de uso de la Tierra en Villa Clara.

IMPACTO DE LOS MÉTODOS CROMATOGRÁFICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE FITOHORMONAS BIOSINTÉTICAS EN LA VALIDACIÓN DE BIOPRODUCTOS APLICADOS EN LA AGRICULTURA CAÑERA.

Autores: **Grolamys Castillo**, Grisel Delgado, Beatriz Altuna, Georgina Michelena, Magdalena Lorenzo, Delfa Redondo, Elisa Bedolla y Ricardo Reádigos

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca 804 y Carretera Central. Apdo Postal 4026, San Miguel del Padrón, CP 11000, Ciudad de la Habana, Cuba.
E. Mail: grolamys.castillo@icidca.edu.cu

RESUMEN

Las fitohormonas son sustancias que están involucradas en la regulación y el control de diversos procesos fisiológicos de las plantas. Las mismas, son aplicadas en la agricultura para mejorar la calidad de las cosechas y los rendimientos. El ICIDCA durante varios años, ha realizado investigaciones encaminadas a desarrollar una tecnología nacional de producción de fitohormonas biosintéticas, tomando en cuenta, los altos precios de estos productos en el mercado internacional y su importancia en el desarrollo de una agricultura sostenible.
Diferentes procedimientos de HPLC de fase reversa se desarrollaron y validaron para separar y cuantificar de manera precisa y exacta los pares de giberelinas GA_3 y GA_1, GA_4 y GA_7; las auxinas AIA, AIP, AIB y EEAIA y el ácido jasmónico, en caldos de fermentación de diferentes microorganismos obtenidos en el ICIDCA, permitiendo así el control de la dosis empleada de estas sustancias, para la evaluación agronómica de diferentes bioproductos en múltiples cultivos, entre ellos la caña de azúcar. Se logró disponer por primera vez de estos métodos robustos y fáciles de implementar por una institución cubana, con un considerable ahorro económico para la misma. A partir de los métodos implementados se logró registrar el bioproducto BIOENRAIZ en el Registro Central de Fertilizantes de Cuba y la presentación de los registros de los bioproductos: IC-GIB y BIOJAS con los métodos de cuantificación exigidos por el Registro Nacional de Plaguicidas y Productos Biológicos.

Palabras clave: fitohormonas biosintéticas, métodos cromatográficos, HPLC, bioproductos, agricultura cañera

ABSTRACT

The phytohormones are substances that are involved in the regulation and control of diverse plant physiological processes. They are applied in the agriculture to improve the quality and yields of the crops. ICIDCA during several years, has carried out investigations in order to develop a national technology of biosynthetic phytohormones production, taking into account the high prices of these products in the international market and their importance in the development of a sustainable agriculture.
Different reverse phase HPLC procedures were developed and validated to separate and to quantify in a precise and exact way, the gibberellins pairs GA_3 and GA_1, GA_4 and GA_7; the auxins AIA, AIP, AIB and EEAIA and the jasmonic acid in fermentation broths of different microorganisms obtained at ICIDCA. These procedures allowed the control of the used dose of these substances, for the agronomic evaluation of

different bioproducts in multiple crops, among them, the sugar cane. For the first time, it was possible to have robust and easy of implementing methods by a Cuban institution with a considerable economic saving for the same one. The register of the bio product BIOENRAIZ in the Cuban Central Registration of Fertilizers and the presentation of the registrations of the bio products: IC-GIB and BIOJAS with the demanded quantification methods for the National Registration of Pesticides and Biological Products were possible starting from the implemented methods.

Key words: phytohormones, chromatographic methods, HPLC, bio-products, sugar cane agricultture

INTRODUCCIÓN

El ICIDCA ha realizado investigaciones encaminadas a desarrollar una tecnología nacional de producción de fitohormonas, considerando el carácter eminentemente agrícola de nuestro país y la necesidad del uso de sustancias como las fitohormonas biosintéticas, que le permitan dar un salto cualitativo y cuantitativo en el rendimiento y calidad de sus cosechas. Además, tomando en cuenta, los altos precios de estos productos en el mercado internacional y las limitaciones para acceder al mismo que nos impone el bloqueo económico [Castillo, 2007].

Las fitohormonas son sustancias presentes naturalmente en las plantas que influyen en diversos procesos del metabolismo vegetal. Dentro del grupo de estas sustancias se encuentran las giberelinas, las auxinas y los jasmonatos. Las giberelinas influyen en procesos tales como: la germinación de semillas, la floración y el espigamiento, el cuajado de los frutos y el comportamiento postcosecha de los mismos, etc . Sin embargo, las auxinas, en general, tienen como efecto estimular el alargamiento celular o favorecer su depresión dependiendo de su concentración y los jasmonatos son promotores de la senescencia de las hojas, estimulan la maduración de frutos, la formación de tubérculos e incrementan los rendimientos agrícolas en algunos cultivos e inducen la síntesis de proteínas y de sustancias de defensa, etc [Franhenberger and Arshad ,1995].

La síntesis química de estos compuestos no ha resultado viable y solo ha sido estudiada desde un punto de vista académico, pues involucra varias etapas y caros reactivos, lo cual no hace rentable la producción industrial por esta vía. Sin embargo, la síntesis biotecnológica muestra diferentes ventajas, entre las que se distingue su mayor compatibilidad con el término de agricultura sostenible.

Se comenzó por la producción de giberelinas y posteriormente, se amplió la producción a otro tipo de sustancias como las auxinas y los jasmonatos, sobre la base de la salida a convocatoria del Programa CITMA de *"Biotecnología Agrícola"*, el cual tiene entre sus principales objetivos la obtención y desarrollo de biorreguladores por vía biotecnológica [Castillo, 2007].

Como parte del desarrollo de diversos proyectos de investigación relacionados con la producción biotecnológica de fitohormonas, surgió la necesidad de identificar y cuantificar las mismas, así como el control de la dosis o concentración empleada de ellas en los cultivos por ser decisivo para lograr realmente el efecto deseado en la planta; como ejemplo de la necesidad del trabajo interdisciplinario para abordar problemas complejos.

El montaje, desarrollo y validación de los métodos cromatográficos.

El desarrollo de la instrumentación analítica en los últimos años, ha permitido el uso de esta como herramienta para la obtención de resultados más confiables. La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) ha permitido la separación, identificación y cuantificación de diversas sustancias con alta precisión y exactitud, constituyendo un equipo imprescindible en un laboratorio moderno. Como resultado del estudio

bibliográfico se pudo determinar que la cromatografía HPLC ha sido el método de separación y cuantificación más usado para este tipo de sustancias. Aunque pueden usarse otros métodos cromatográficos como la Cromatografía Gaseosa, la cromatografía HPLC evita la necesidad de derivatización haciendo la técnica menos compleja [Brenner, 1981].

Como parte del desarrollo de los métodos cromatográficos, se realizó el estudio de los antecedentes de la muestra y la selección del método a emplear, el montaje de las técnicas con el estudio de preparación de muestra y con la necesaria optimización de los parámetros cromatográficos como: el flujo, la sensibilidad, el tipo de detección a emplear, la preparación de la muestra, etc; la validación de las técnicas con el estudio de linealidad, repetibilidad, reproducibilidad, exactitud, límite de detección y cuantificación, la redacción de las técnicas para el manual de técnicas analíticas según la ISO 9000 y la determinación en diferentes tipos de muestras de caldos de fermentación, extractos orgánicos y acuosos y en muestras sólidas.

A modo de resumen de los resultados se puede plantear que:

- Se logró el montaje de diferentes técnicas cromatográficas con las condiciones de análisis óptimas en cuanto a flujo, sensibilidad y tipo de detección.
- Se logró la separación de las fitohormonas con muy buena resolución entre ellas (R>1.5) y con tiempos de retención con coeficientes de variación menores al 1%.
- Se estudió y se logró establecer una preparación de muestra adecuada, que consiste en una extracción líquido-líquido, que permite alargar la vida útil de las columnas de HPLC cuyo costo oscila entre $300 y $400 USD, pues evita introducir en el equipo las muestras crudas de caldos de fermentación al inyectar extractos orgánicos de las mismas.
- Se logró validar las técnicas y como resultado se obtuvo en el estudio de linealidad coeficientes de correlación mayor de 0.99 para todas las técnicas acordes con el criterio de aceptación planteadas por las normas de calidad ISO 9000.
- En el estudio de repetibilidad para las fitohormonas de mayor interés biológico (GA_3, GA_4, GA_7, AIA y AJ) se obtuvo coeficientes de variación del orden de 1% acorde con lo establecido por las normas de validación y para la reproducibilidad se obtuvo coeficientes de variación adecuados en relación con la concentración estudiada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 2 tipos de Cromatógrafos HPLC: Un equipo Philips integrado por una bomba PU 4100, detector UV-Vis PU 4110, detector de fluorescencia (Shimadzu) y un equipo Knauer integrado por una bomba K1001 y un detector fotométrico de ordenamiento de diodos K-2800, en ambos casos se utilizó un inyector Rheodyne con lazo de 20 μl.

Se utilizó metanol HPLC, agua desionizada, ácido acético glacial y ácido fosfórico para la preparación de la fase móvil. Los patrones de fitohormonas fueron suministrados por SIGMA.

Preparación de la muestra: A 5 ml del caldo de fermentación, previamente filtrado y centrifugado, se le ajusta el pH a 2.8 con una solución de HCl y se realiza una extracción con acetato de etilo, la cual se repite 3 veces consecutivamente, con 5 ml en cada ocasión. Posteriormente, se rotoevapora el extracto y se realiza la dilución requerida de la muestra en la fase móvil.
La tabla I muestra un resumen de las condiciones cromatográficas obtenidas después del estudio de optimización. [Castillo, 1997, 2002, 2004a,b,c; 2005a,b]

Tabla I. Condiciones cromatográficas empleadas en las técnicas

	GA_3 y GA_1/ GA_4 y GA_7	AJ	AIA, AIP, AIB y EAIA
Columna	HYPERSIL ODS 25 cm x 4.6 mm i.d.	HYPERSIL ODS 25 cm x 4.6 mm i.d.	SUPELCOSIL C18 25 cm x 4.6 mm i.d.
Fase Móvil	GA_3 y GA_1: Metanol:0.01*M* H_3PO_4 30:70 (pH=3) para GA_3 y GA_1 40:60 (pH=6) para GA_4 y GA_7	Metanol: HAc (0.1%) 60:40	Metanol: HAc(0.5%) 60:40
Flujo	1.3 ml/min	0.85 ml/min	0.7 ml/min
Tiempo de Retención	20 min – 25 min	15 min	20 min
Detección	UV 206 nm R=1 y R=0.5	UV 210 nm	Fluorescencia Exc 280nm y Em 340 nm

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla II muestra los tiempos de retención, mostrando una variabilidad entre días menor que el 0.7 % en todos los casos, siendo el menor CV (%) para la GA_3.

Tabla II. Tiempos de Retención de las Fitohormonas (media, error absoluto y coeficientes de variación).

Fitohormona	Tiempo de Retención	
	Media (Min)	CV (%)
GA_3	14.91 ± 0.02	0.17
GA_1	17.50 ± 0.03	0.18
GA_7	18.44 ± 0.14	0.70
GA_4	22.45 ± 0.11	0.50
AIA	9.08 ± 0.03	0.33
AIP	10.81 ± 0.04	0.37
AIB	13.02 ± 0.06	0.46
EEAIA	17.56 ± 0.07	0.39
AJ	6.92 ± 0.02	0.32

La evaluación de la linealidad se muestra en la Tabla III para cada fitohormona, dentro del rango de concentración estudiado y se obtuvo coeficientes de correlación mayores que el 0.99 para todas con $p<0.05$.

Tabla III. Coeficientes de correlación y rangos de concentración

Fitohormona	Coeficiente de Correlación	Rango de Concentración (mg/L)
GA_3	0.9998	100 a 1000
GA_1	0.9991	10 a 500
GA_7	0.9996	10 a 500
GA_4	0.9991	10 a 500
AIA	0.9995	10 a 250
AIP	0.9997	10 a 250
AIB	0.9997	10 a 250
EEAIA	0.9998	10 a 250
AJ	0.9990	100 a 1000

Los límites de detección y cuantificación se calcularon considerando valores respecto a la relación señal-ruido de 3 y 10. Los valores expresados en ng "on column" obtenidos en las condiciones de análisis se muestran en la tabla IV a continuación:

Tabla IV. Límites de detección y cuantificación

Fitohormona	Límite de Detección (ng)	Límite de Cuantificación (ng)
GA_3	40	110
GA_7	80	280
GA_4	80	280
AIA	5	20
AJ	50	100

La precisión del método cromatográfico se estudió incluyendo repetibilidad y la precisión intermedia. Para la repetibilidad se inyectó 10 extractos de caldos en el mismo día y la precisión entre días se estudió durante tres días, a un nivel dado de concentración. Los resultados se muestran en la tabla V a continuación:

Tabla V. Estudio de precisión de los métodos

Fitohormona		Repetibilidad N=10	Precisión intermedia N=6
	Media (mg/L)	**CV (%)**	**CV(%)**
GA_3	260	0.5	2.0
GA_7	80	1.0	3.0
GA_4	80	1.0	4.0
AIA	110	1.0	2.0
AJ	100	1.0	2.0

Los resultados del estudio de exactitud se muestran en la tabla VI a continuación:

Tabla VI. Estudio de exactitud de los métodos

FITOHORMONA	CONC. AÑADIDA (MG/L)	RECUPERACIÓN (%)
GA_3	100	98
GA_7	20	96
GA4	20	96
AIA	100	98
AJ	300	97

A continuación, las figuras muestran los cromatogramas superpuestos de los patrones (Giberelinas, Auxinas y AJ) y las muestras de extractos de los diversos caldos de fermentación estudiados.

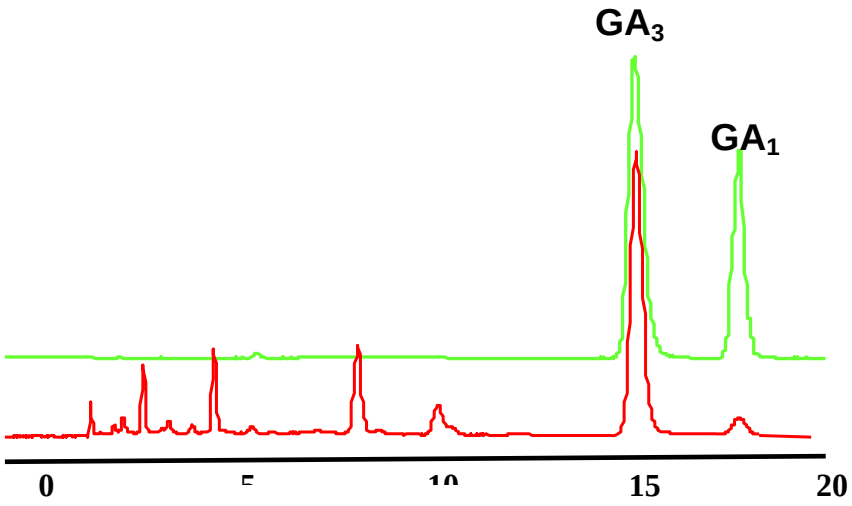


Figura 1. Cromatogramas superpuestos de los patrones de GA_3 y GA_1 y una muestra de extracto caldo fermentado de *Gibberela Fujikuroi*.

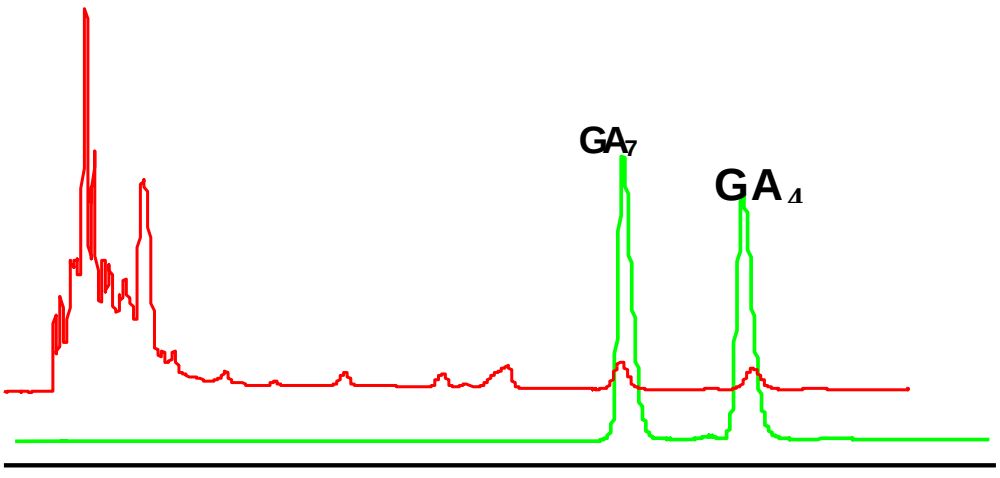


Figura 2. Cromatogramas superpuestos de los patrones de GA_7 y GA_4 y una muestra de extracto de caldo fermentado de *Gibberela Fujikuroi*.

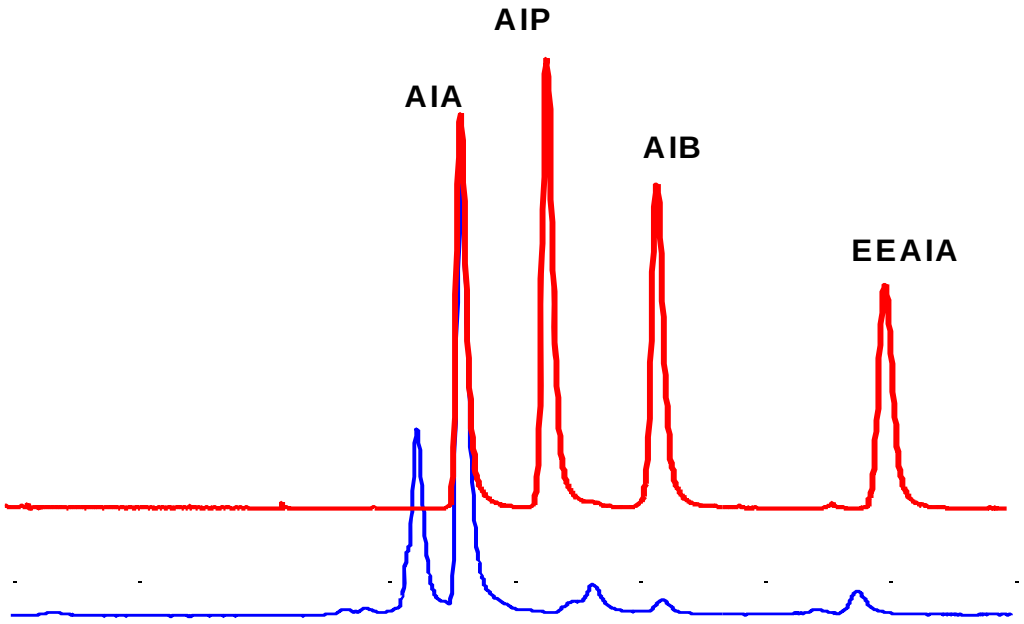


Figura 3. Cromatogramas superpuestos de los patrones de Auxinas y una muestra de extracto de caldo fermentado de *Rhizobium*, en el método del estándar externo

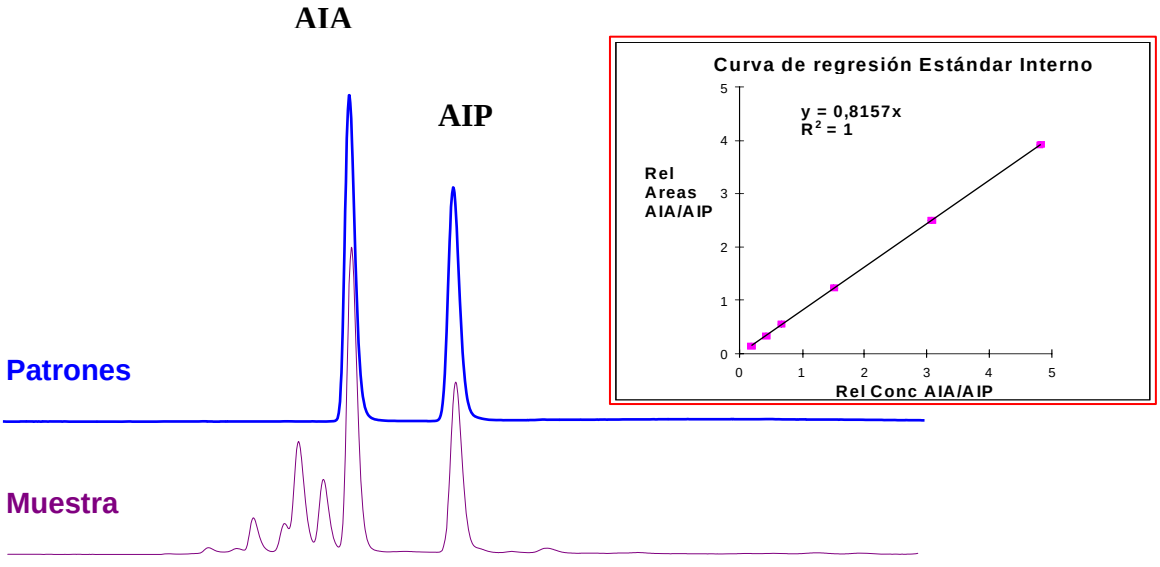


Figura 4. Cromatogramas superpuestos de los patrones de AIA y AIP y una muestra de extracto de caldo fermentado de *Rhizobium*, en el método del estándar interno

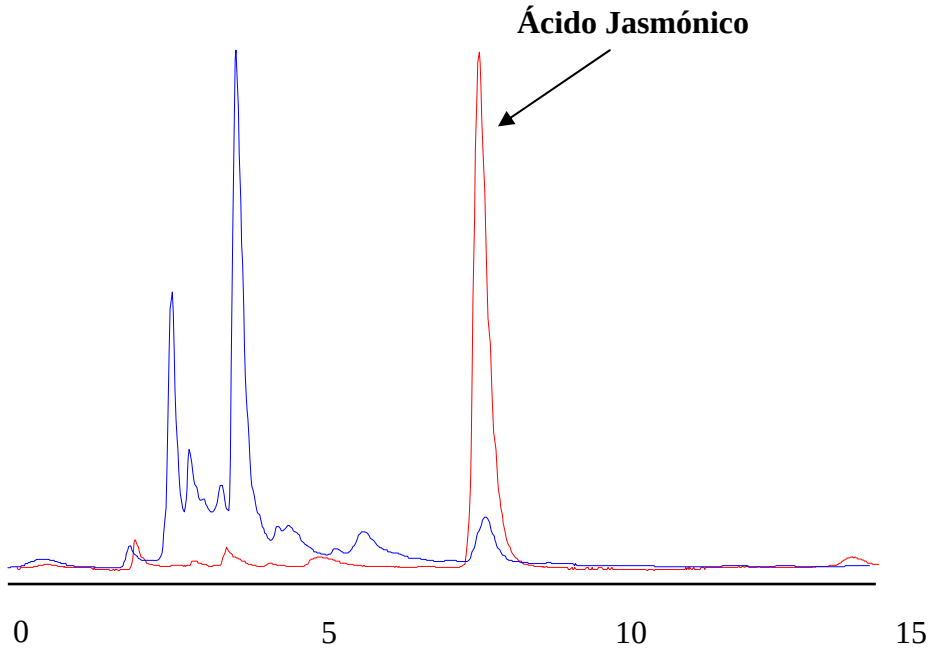


Figura 5. Cromatogramas superpuestos del patrón de AJ y de una muestra de extracto de caldo fermentado de *Bothryodiplodia Theobromae*.

Las aplicaciones de los métodos desarrollados.

El ICIDCA logró con este trabajo el establecimiento, desarrollo y validación de cinco métodos cromatográficos por HPLC robustos y fáciles de implementar, que han permitido cuantificar de manera precisa y exacta las fitohormonas tales como las giberelinas (GA_3, GA_1, GA_4 y GA_7) así como las auxinas (AIA, AIP, AIB y EEAIA) y el Acido Jasmónico (AJ)permitiendo diversas aplicaciones entre las que se encuentran las siguientes:

-cada método sirvió como herramienta analítica para la selección de microorganismos productores, al evaluar cepas de distintos géneros evidenciándose la mejor alternativa.
-Permitió el seguimiento de las cinéticas de fermentación.
-Permitió evaluar diferentes alternativas de fuente de carbono y nitrógeno en la fermentación.
-Permitió evaluar las mejores condiciones de fermentación de aireación, agitación, etc.
-Permitió evaluar diferentes sistemas de fermentación que incluyeron batch convencional y sistemas de alimentación incrementada fed-batch con alimentación constante y alimentación exponencial.
-Permitió la determinación de pureza a distintos patrones de GA_3 y AIA .
-Permitió realizar estudios de purificación de los caldos de fermentación con diferentes tipos de columnas: intercambio iónico, silica gel, etc.
-Permitió la obtención de datos de equilibrio para determinar la constante de distribución en la extracción para la producción de un polvo de GA_3.

-Permitió el estudio de purificación del caldo según patente para obtener dos fracciones: una rica en GA_3 y GA_1 y otra en GA_4 y GA_7.
-Permitió realizar la determinación en muestras de caldos de fermentación, extractos orgánicos y acuosos y en muestras sólidas.
-Permitió realizar estudios de estabilidad de los productos obtenidos, determinándose las temperaturas de almacenamiento y el tipo de frascos a emplear para envasarlos.
-Determinación de GA_3 y AIA en otros tuipos de caldos de fermentación obtenidos en el instituto, como los de pseudomonas.
-Permitió realizar el estudio de correlación entre el método cromatográfico de HPLC y el método colorimétrico de Salkowsky utilizado para la determinación de AIA.
-Permitió realizar la evaluación agronómica de los productos obtenidos ya que estas técnicas brindan un resultado de concentración preciso y exacto con alto nivel de confiabilidad.

Cada método desarrollado por sí mismo constituye una publicación, además de formar parte de otras publicaciones y estar presente en la parte analítica de diversas tesis tanto de pregrado como de maestría. Los métodos desarrollados se han presentado en múltiples eventos nacionales e internacionales como son: Simposios Nacionales de Cromatografía, eventos de Diversificación, eventos sobre el medio ambiente y biotecnología vegetal, Forum de Ciencia y Técnica, etc.

Las ventajas sociales y económicas de los métodos desarrollados.

Desde el punto de vista social la aplicación de este tipo de productos está acorde con los conceptos de agricultura sostenible que emplea sustancias de origen biológico inocuas al hombre, redundando en el incremento de la productividad y la calidad de las cosechas donde son aplicados.

El desarrollo de estos métodos cromatográficos permitió que se dispusiera por primera vez de estas técnicas de determinación de fitohormonas, que no se encontraron establecidas por ninguna otra institución nacional, lo cual representa un aporte científico al desarrollo de la analítica en el ICIDCA y en el país. Este trabajo ha permitido la identificación y cuantificación de estas sustancias no sólo en proyectos del ICIDCA sino también en proyectos de otra institución como la Universidad Agraria de la Habana, que ha desarrollado también productos biológicos para la agricultura. Actualmente, estas técnicas también están siendo solicitadas por la Facultad de Biología de la Universidad de la Habana.

Las fitohormonas comerciales poseen un elevado precio en el mercado internacional, por lo que la biosíntesis de este tipo de sustancias a nivel nacional representa un gran ahorro para la agricultura al poder aplicar los productos ofertados por el ICIDCA: ***IC-GIB, BIOENRAIZ y BIOJAS***.

La realización de análisis con equipos de alta precisión y resolución tienen un alto costo. En específico los análisis de HPLC se cotizan entre $20 y $25 USD y su precio depende del tipo de columna, tipo de detección, del gasto de solvente, etc. El beneficio económico que reporta el desarrollo de estos métodos en nuestro instituto radica en no tener que haber contratado este tipo de análisis, en caso que hubieran estado disponible por otra institución. Lo cual representó un ahorro de $ 10 000 USD considerando el total de muestras realizadas.

Además la optimización de las condiciones de análisis y la sustitución del metanol importado por metanol purificado en el instituto significó un considerable ahorro económico para el ICIDCA, ya que el metanol purificado por el instituto tiene un costo de $10 USD el litro, y el comercial $18 USD, por lo que se ahorran $8 USD por cada litro utilizado. Por este concepto se han ahorrado al instituto $ 1000 USD considerando los volúmenes de metanol que se han consumido.

Como control de la calidad de los productos ofertados, cada año se realizan alrededor de 20 determinaciones de fitohormonas en los productos obtenidos, lo cual representa un ahorro entre $400 y $500 USD por este concepto para el instituto.

Aplicación de los bioproductos en diversos cultivos, fundamentalmente en la caña de azúcar.

IC-GIB

El ácido giberélico ha sido evaluado en diversos cultivos como cítricos, frutales y vegetales, obteniéndose en todos los casos resultados satisfactorios como aumento del rendimiento y calidad de los frutos, etc.

BIOENRAIZ

El ácido indol acético ha sido evaluado para el enraizamiento y germinación de la semilla agámica y botánica en caña con aumentos del largo de la raíz y formación de yemas. También fue aplicado en el enraizamiento de esquejes de guayaba, introduciendo la siembra masiva de este cultivo en áreas de La Habana y del resto del país. Además, a diversos cultivos de interés económico como la papa, el arroz, frutales, y flores ornamentales.

Para lograr el aumento del largo de raíces y formación de yemas en la semilla agámica de la caña de azúcar (Ja 60-5) se deben aplicar dosis de **130 mg/L** en propágulos, mediante aspersión (Ortega, 2003).

BIOJAS

El Acido Jasmónico ha sido evaluado en diversos cultivos como la fresa, variedad “Misionaria”, donde incrementó los rendimientos del número y masa de los frutos entre 15 y 20%. En el cultivo de papa, variedad Diament produjo efectos positivos en la tuberización de los cultivos, con un incremento de los rendimientos, entre el 30 y 35%. En el cultivo de piña, variedad Cayena lisa de México, permitió controlar y reducir de modo significativo el ataque de la Chinche harinosa que representa la plaga más dañina a este cultivo. En el cultivo de Habichuela “Escambray” ha permitido la muerte del 100% de los pulgones y que no se produzcan más brotes, ni la detección de mosca blanca ni Trips en el área total tratada. En el tomate (variedad INCA) produjo un incremento en el número y la masa de los frutos y un efecto positivo en el estado sanitario de las plantas.
Para la aplicación en caña de azúcar (embriones caña cv CP 5243) se recomienda añadir 1 ppm al medio de inducción y maduración, permitiendo un incremento de la germinación de los embriones por el aumento del número de supervivencia de los mismos en 4.5 veces con respecto a un control y en vitroplántulas un 1ppm, (1mL por plántula mediante sumersión) obteniéndose incrementos del 2% en el cierre de estomas y la inducción de la aclimatación de la misma. En la variedad C-323-08, se recomiendan dosis de 5; 12.5 ; 25 y 50 mL/50 L de H_2O asperjado foliar, con un incremento del 36 % de germinación por encima del testigo con una concentración más alta (Ortega, 2003).
A partir del BIOJAS se ha desarrollado un producto inhibidor microbiológico, EVIPOL, que ha sido evaluado industrialmente en varios complejos azucareros con resultados satisfactorios.

CONCLUSIONES

- Se logró desarrollar y validar métodos cromatográficos optimizados, para determinar las fitohormonas biosintéticas (giberelinas, auxinas y ácido jasmónico) en distintos caldos de fermentación.

- Los métodos implementados resultaron ser lineales, sensibles, precisos y exactos en los intervalos de concentración estudiados para cada fitohormona.

- Se logró disponer por primera vez de estos métodos robustos y fáciles de implementar por una institución cubana, con un considerable ahorro económico para la misma.

- Se logró con estos métodos el estudio y optimización de la biosíntesis de las fitohormonas por el ICIDCA y su validación agronómica en múltiples cultivos, como la caña de azúcar, en diferentes instituciones avaladas para estos fines.

- Con los métodos desarrollados se logró registrar el BIOENRAIZ en el Registro Central de Fertilizantes de Cuba y la presentación de los registros de los productos: IC-GIB y BIOJAS con los métodos de cuantificación exigidos por el Registro Nacional de Plaguicidas y Productos Biológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Castillo G**.**, Gregorí B., Michelena G., Díaz de Villegas M.E., Delgado G., Montano R., Cejas G., Gálvez L.O. (2007) *Revista ICIDCA* Franhenberger, Jr. W. T. and Arshad M. (1995) Phytohormones in soils. Microbial production and function. Marcel Dekker, Inc. New York.
3. Brenner M. L. (1981) *Ann. Rev. Plant Physiol.* 32, 511-538.
4. Castillo G. and Martínez S. (1997). *Journal of Chromatography A* 782, 137-139.
5. Castillo G. (2002) *Revista ICIDCA: Memorias de Diversificación* T I, 88-91.
6. Castillo G., Redondo D., Eng F., Ortega G., Altuna B., Michelena G. (2004 a) *Revista ICIDCA*, No.2, Vol. XXXVIII, 24-27.
7. Castillo G., Redondo D., Ortega G., Lorenzo M., Altuna B. y Michelena G. (2004 b) *Revista Cubana de Química* Vol. 16 th, No. 3
8. Castillo G., Redondo D., Ortega G., Lorenzo M., Altuna B. y Michelena G. (2004 c) *Revista ICIDCA: Memorias de Diversificación*
9. Castillo G., Altuna B., Michelena G., Sánchez-Bravo J., Acosta M. (2005 a) *Revista ICIDCA No2*, 51-55.
10. Castillo G., Alfonso, Altuna B., Michelena G., Sánchez-Bravo J., Acosta M. (2005 b) *Anales de Biología* 27: 139-144.
11. Ortega G. M.; Michelena G.;Altuna B.; Eng F. (2003) *Informe Interno ICIDCA* II-4491.

OLIGOSACÁRIDOS COMO RESPUESTA DE DEFENSA DE LA CAÑA DE AZÚCAR A LA INFECCIÓN CAUSADA POR *Sporisorium scitamineum.*

Josefa V. Hormaza *, Mailen Fernández**, María La O**, Ariel Arencibia**, Yatali Montero-Sánchez*, Martha Ramírez*.
victoria.hormaza@icinaz.minaz.cu

* *Instituto de Investigaciones Azucareras. Carretera al CAI Martínez Prieto Km 2 ½. Boyeros, C. Habana.*
**Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera al CAI Martínez Prieto Km 2 ½. Boyeros, C. Habana.*

RESUMEN

Como una estrategia de la agricultura sostenible se ha incrementado el número de investigaciones encaminadas a sustituir el empleo de fertilizantes sintéticos y plaguicidas por productos biodegradables que no constituyan causas de afectación ambiental. Varios autores describen la gran actividad que poseen los oligosacáridos como elicitores (compuestos que inducen reacción de defensa en las plantas); por tal motivo nos propusimos realizar un estudio preliminar de los oligosacáriodos presentes en la caña de azúcar y su comportamiento frente a la infección causada por ***Sporisorium scitamineum*** (M. Piepenbr., M. Stoll & Oberw.) (***Ustilago scitaminea*** Sydow). Se analizaron por HPLC los extractos obtenidos a tiempo cero, 24 y 72 horas postinoculación de las variedades Ja60-5 (susceptible) y M31/45 (resistente) inoculadas con esporidios del patógeno; utilizando diferentes solventes de extracción: agua, KOH 16% y Ácido Bórico 4%. Se detectó que el nivel de oligosacáridos aumenta a las 24h postinoculación, disminuyendo nuevamente a las 72h en las condiciones analizadas; observándose mejor resolución cuando se realiza la extracción en medio ácido. Por tal motivo resulta de gran importancia la purificación de las fracciones obtenidas y su análisis como elicitores de la respuesta defensiva de la planta en la búsqueda de soluciones eficientes y sostenibles en la agricultura cañera.

Palabras Clave: caña de azúcar, ***Sporisorium scitamineum***, carbón, oligosacáridos.

ABSTRACT

As a strategy of sustainable agriculture, has increased the number of investigations aimed at replacing the use of synthetic fertilizers and pesticides by biodegradable products that do not constitute causes of environmental affectation. Several authors describe the activity that possess oligosaccharides as elicitores (compounds that induce defense reaction in plants), for this reason we decided to conduct a preliminary study of oligosaccharides present in sugarcane and their behavior against infection caused by *Sporisorium scitamineum* (M. Piepenbr., M. Stoll & Oberw.) (*Ustilago scitaminea* Sydow). We analyzed by HPLC extracts from time zero, 24 and 72 hours of varieties postinoculation Ja60-5 (susceptible) and M31/45 (tough) inoculated with the pathogen; using different solvent extraction: water, and 16% KOH Boric acid

4%. It found that the level of oligosaccharides increases to 24 hours postinoculación, again declining to 72h on the conditions tested; observed better resolution when the acid extraction in the middle. For this reason it is of great importance the purification of fractions obtained as elicitores and the analysis of the defensive response of the plant in finding solutions efficient and sustainable farming sugar cane.

Keyword: sugarcane, Sporisorium scitamineum, coal, oligosaccharides.

Introducción

Las plantas superiores están compuestas por multitud de células organizadas para mantener y controlar las funciones y el desarrollo de todo el vegetal. Estas células, a diferencia de las células animales tienen una pared celular que contiene el protoplasto y que está compuesta fundamentalmente por polisacáridos, proteínas y compuestos fenólicos. Durante los procesos de crecimiento, morfogénesis, maduración e interacción con los microorganismos, ocurren cambios en la composición y estructura de la pared celular que permiten la realización de estas funciones y conllevan a la liberación de determinados oligosacáridos que actúan como reguladores de estos procesos. De esta forma, la pared celular actúa como una especie de seudo-glándula o depósito de precursores de una clase de moléculas reguladoras, que una vez liberadas, son capaces de controlar diversas funciones relacionadas con la fisiología de las plantas (Albersheim y col., 1992). Estos oligosacáridos se conocen con el nombre de oligosacarinas.

Los compuestos que pueden inducir la reacción de defensa en las plantas son conocidos como elicitores, la mayoría de estos son derivados de componentes de la superficie celular de microorganismos patogénicos o compuestos de bajo peso molecular producidos por patógenos (Yamaguchi y col., 2000).

Los elicitores naturales (bióticos) pueden clasificarse en varios grupos, los que difieren en el rango de especificidad. Por ejemplo los elicitores derivados de los llamados genes "avirulentos" se piensa que inducen reacciones de defensa solamente en las variedades que poseen genes de "resistencia". Sin embargo otros como las oligosacarinas pueden ser reconocidas por varias especies de plantas, entre estos últimos los oligosacáridos derivados de la quitina y β glucano son potentes elicitores (Yamaguchi y col., 2000).

Entre las señales elicitoras de reacciones de defensa se incluyen los oligosacáridos β (1-3,1-6)-glucanos, quitina y oligomeros quitosano, glicopéptidos, fosfolípidos y ácidos grasos como el araquidónico; todos ellos han sido identificados como potenciales elicitores capaces de desencadenar la cascada de eventos que permite la activación de genes de defensa (Picard y col., 2000).

La defensa de las plantas a patógenos incluye varias respuestas que pueden ser preformadas y otras inducidas. Los componentes de estos sistemas usualmente incluyen polímeros específicos de paredes celulares y mezclas de metabolitos secundarios y proteínas o péptidos con capacidad antimicrobiana. La eficiencia de estas barreras a patógenos en particular, así como la reacción que desencadena la respuesta inducida se piensa que esté determinada por el potencial de infección de los microorganismos (Orsomando y col., 2001).

Se conoce que ***Sporisorium scitamineum*** (M. Piepenbr., M. Stoll & Oberw),(***Ustilago scitaminea*** Sydow) (Piepenbring y col., 2002), hongo causal del carbón de la caña de azúcar, penetra a través de las escamas de la yema y se han detectado hifas del hongo a partir de las seis horas postinoculación en variedades susceptibles (Alexander y Ramakrisham, 1980). Acevedo y colaboradores, (2004), indican que los cambios estructurales están asociados a cambios bioquímicos, todo producto de la infección con el hongo.

Con vistas a caracterizar los mecanismos que desencadenan la respuesta de resistencia inducida en la interacción ***S. scitamineum*** - caña de azúcar nos propusimos realizar un estudio preliminar de los oligosacáriodos presentes en la caña de azúcar y su comportamiento frente a la infección causada por este patógeno

Materiales y métodos

Se utilizaron tercios medios de tallos de 9 meses de edad de las variedades Ja60-5 (susceptible) y M31/45 (resistente). Los que se cortaron en porciones de una yema y se pusieron a germinar en incubadora a 30º C y 85% de HR en oscuridad, cuando las yemas brotaron fueron inoculadas, 60 por cada variedad, levantando cuidadosamente la escama de la yema y depositando una gota de suspensión de esporidios de un aislamiento monospórico de ***S. scitamineum*** a una concentración de $1{,}5x10^7$ ufc/ml. Se dejó igual número de muestras como controles sanos. Las yemas se colectaron a las 0, 24 y 72 horas postinoculación, fueron lavadas y se pesó igual cantidad por triplicado para macerar en nitrógeno líquido y homogenizar en cada uno de los solventes: en condiciones ácidas: ácido bórico 4%, neutras: agua destilada y básicas: KOH 16%, a una proporción 1:2 (p/v), posteriormente se centrifugaron a 12000 rpm durante 10 minutos. Las muestras se secaron y resuspendieron en 1/3 del volumen inicial.
Fueron analizadas por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en un equipo Knauer, con una columna de Eurokat Ca 10µm 300 x 8 mm con un detector de Índice de Refracción y uno Chiral. La cuantificación se realizó por el método del estándar externo con el software ChromGate 2.8.

Resultados

Los oligosacáridos son impurezas poco caracterizadas a pesar de que se han realizado diversos estudios sobre sus niveles en diferentes productos. En los últimos años, se ha empleado la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), para analizar carbohidratos y en especial se han obtenido buenos resultados en la separación de los oligosacáridos. La Comisión Internacional de Métodos para la Unificación de Análisis Azucarero, (ICUMSA), ha propuesto el estudio de diferentes métodos para la determinación de los oligosacáridos como la rafinosa y kestosa sin llegar a proponer un método oficial de determinación cuantitativa de cada uno de ellos o sus mezclas.
En las muestras analizadas existen diferencias en los perfiles de carbohidratos de bajo peso molecular, los cuales en las condiciones de trabajo utilizadas eluyen con tiempos de retención menores de 10 minutos. Esto se corresponde con estudios realizados por varios autores que han utilizado la columna de Ca en el análisis por HPLC de azúcares en tejidos de plantas (Parr y Sox, 1984; Wight y col., 1986; Min y col., 1988).
Se determinaron las cantidades de oligosacáridos presentes en cada muestra como el porcentaje peso/peso con respecto al patrón externo rafinosa (Tabla 1). La familia de oligosacáridos de la rafinosa está ampliamente distribuida en las plantas (French, 1954; Dey, 1985). Las formas predominantes de este sacárido difieren en varias especies de plantas y se ha asociado su presencia a funciones de almacenamiento y transporte de carbohidratos durante la maduración de las semillas (Min y col., 1988).
Para la variedad resistente puede observarse que el nivel de oligosacáridos es mayor en las muestras extraídas en el solvente neutro; en la variedad susceptible el nivel de oligosacáridos va desde las muestras extraídas en el solvente básico, seguido del neutro y por último las aisladas en condiciones ácidas.
Para ambas variedades los niveles de carbohidratos aumentan a las 24 horas de inoculadas las muestras, disminuyendo a las 72 horas llegando, en algunos casos, a valores inferiores a los del control.

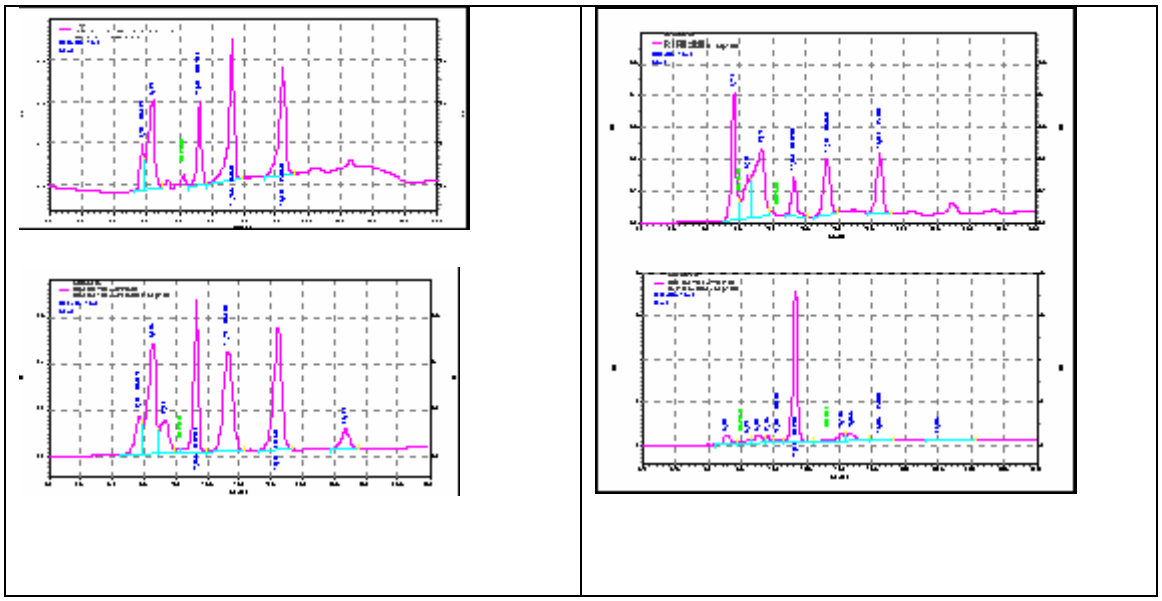


Figura 1 Cromatograma obtenido del extracto de oligosacáridos en medio neutro.

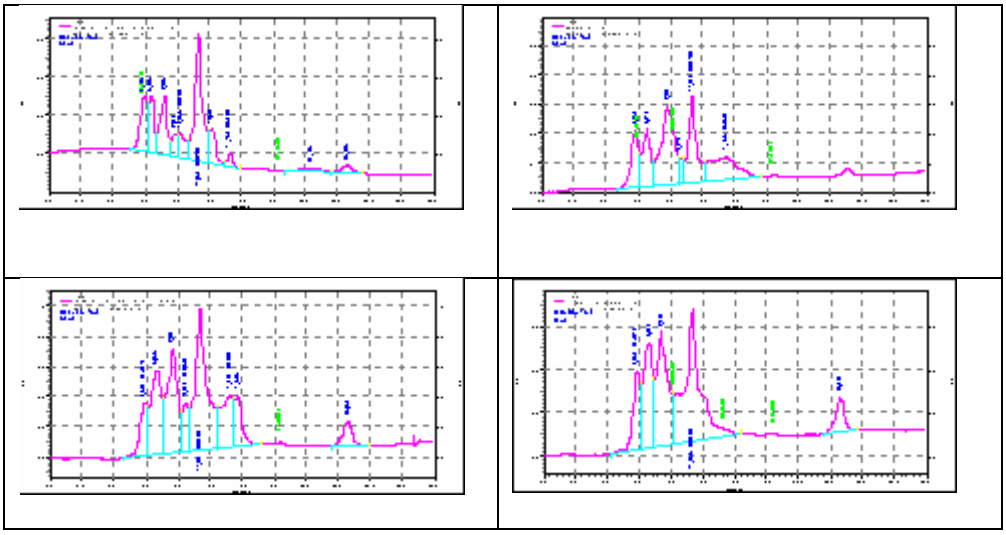


Figura 2 Cromatograma obtenido del extracto de oligosacáridos en medio básico

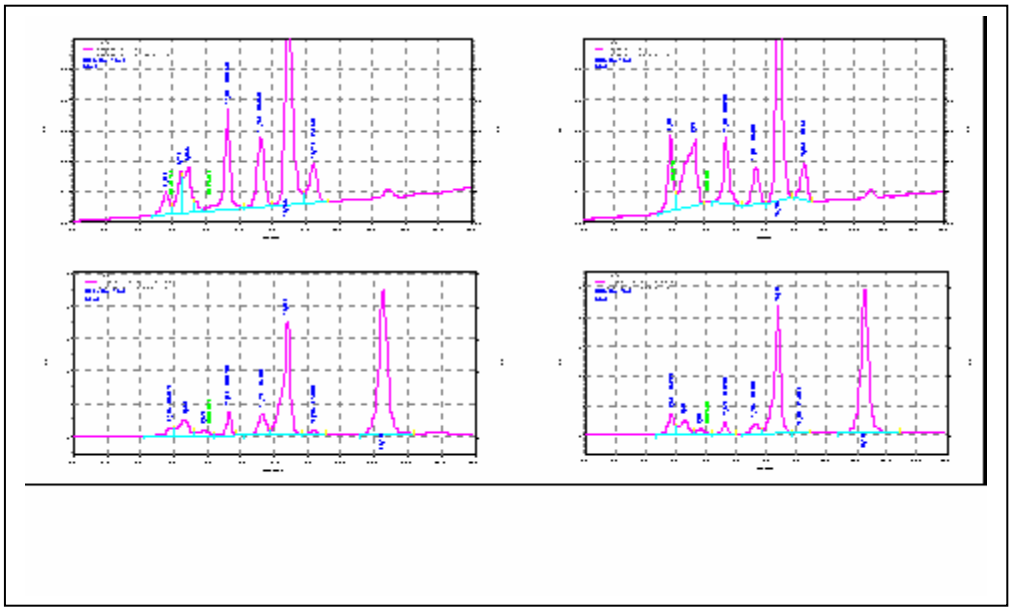


Figura 3 Cromatograma obtenido del extracto de oligosacáridos en medio ácido.

Tabla I. Concentración de oligosacáridos expresados como porcentaje de rafinosa en las variedades de caña susceptible (Ja60-5) y resistente (M31/45) a las 24 horas postinoculación con *U.scitaminea*

Tiempo de Retención (min)	Concentración de Oligos en medio ácido (%m/m)				Concentración de Oligos en medio neutro (%m/m)				Concentración de Oligos en medio básico (%m/m)			
	Ja60-5		M31/45		Ja60-5		M31/45		Ja60-5		M31/45	
	sana	*Inoc*	*sana*	*Inoc.*	*sana*	*Inoc.*	*sana*	*Inoc.*	*sana*	*Inoc.*	*sana*	*Inoc.*
7	0.47	0.48	1.23	2.87	0.15	0.45	1.92	1.85	0.72	0.93	1.38	2.29
8	0.73	1.54	-	2.68	0.48	1.40	0.84	0.98	0.66	1.98	2.0	2.44
9	1.07	0.49	1.54	2.7	-	0.50	2.34	0.79	0.27	2.5	3.45	1.68

La inducción de estos oligosacáridos coincide con el proceso de penetración del hongo y se pudieron apreciar diferencias en el tiempo de acumulación de estos en las variedades estudiadas, detectándose cambios mayores en la resistente al compararse con la susceptible, los que parecen estar asociados con los mecanismos defensivos y con la reducción del crecimiento del hongo (Zolorzano, 2002).
En la variedad susceptible la acumulación de estos oligosacáridos puede resultar como respuesta a un estrés general causado por la exitosa colonización del hongo, los niveles de acumulación de los oligosacáridos no se alcanzan tan rápido ni en la misma magnitud que en la variedad resistente.

Conclusiones

- Ocurre inducción de oligosacáridos en las variedades Ja60-5 y M31/45 al producirse la interacción carbón-caña de azúcar.
- En ambas variedades los niveles de carbohidratos aumentan a las 24 horas postinoculación.
- El mayor nivel de inducción fue en la variedad resistente a las 24 horas de inoculadas las muestras.
- Resulta más conveniente la extracción en medio neutro para la variedad resistente; mientras que para la variedad susceptible se observa mayor inducción de oligosacáridos en las muestras extraídas en el solvente básico.

Referencias Bibliográficas

Acevedo, R., La O, M., López, R., Rodríguez, E y León, O. (2004). Detección de glucanasas y quitinasas por técnicas inmunoquímicas en la interacción caña de azúcar-Ustilago scitaminea. Cuba&Caña, 1: 47-52.

Alexander, K.C. and Ramakisham, K. (1980). Infection of the bud, establishment in the host and production of whips in sugarcane (*Ustilago scitaminea*). *Proc. Int. soc. Sug. Technol.* 17: 1453-1455.

Dey P.M. (1985). D- Galactose containing oligosaccharides. In Biochemistry of storage carbohydrates in green plants; Dey, P.M.,R.A.Eds.; Academic: London.

French, D. (1954). The Raffinose family of oligosaccharides. Adv. Carbohydrate Chem. 6: 149-184.

MinK.T., VanMiddlesworth J.F. and Walter J.W. (1988). Content of raffinose oligosaccharides and sucrose in various plant seeds. J. Agric. Food Chem., 36: 32-36.

Orsomando G, Lorenzi M, Raffaelli N., Dalla R. M., Mezzetti B, and Ruggieri S. **(**2001). Phytotoxic Protein PcF, Purification, Characterization, and cDNA Sequencing of a Novel Hydroxyproline-containing Factor Secreted by the Strawberry Pathogen *Phytophthora cactorum* J. Biol. Chem. 276 (24): 21578-21584.

Picard K., Ponchet M, Blein J.P., Rey P., Tirilly Y, and Benhamou N. **(**2000). Oligandrin. A Proteinaceous Molecule Produced by the Mycoparasite *Pythium oligandrum* Induces Resistance to *Phytophthora parasitica* Infection in Tomato Plants. Plant Physiol, 124: 379-396

Piepenbring, M.; Stoll, M. and Oberwinkler, F. (2002). The generic position of *Ustilago maydis, Ustilago scitaminea* and *Ustilago esculenta* (Ustilaginales). *Mycological Progress* 1 (1): 71-80.

Solorzano E. (2002) Estudio de las enzimas y proteínas de defensa en la interacción tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) vs tizón temprano (*Alternaria solani* Ellis y Martín (Jones y Grout)). Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. CENSA. Habana. 124pp,.

Yamaguchi T, Ita Y, Shibuya N. (2000) Oligosaccharide elicitors and their receptors for plant response. Trends in Glycoscience & Glycotechnology; 12. (64): 113-120.

PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE NITROFIX: POR UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE

Ángela O. Díaz-Llanes[1], Miguel A. Otero-Rambla, Gustavo Saura-Laria y Georgina L. Michelena-Álvarez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana CP 11000, Cuba
E-mail: cuba10@enet.cu

Resumen

El género *Azospirillum* ha sido objeto de un renovado interés en los últimos años, debido a su amplia distribución natural, sus propiedades fertilizantes, su impacto ambiental positivo y los altos precios de los fertilizantes químicos. En el presente trabajo se realiza un bosquejo del estado-del-arte, del biofertilizante *Azospirillum* y se muestra el esquema de producción de un preparado comercial, NITROFIX. Se establece la estructura tecnológica de la producción y se muestran los servicios que ofrece el ICIDCA para la implementación de esta producción. Por sus propiedades, el preparado NITROFIX (*Azospirillum*) se presenta como una opción interesante como biofertilizante utilizado principalmente en gramíneas.

Palabras clave: *Fijación biológica de nitrógeno, Azospirillum, NITROFIX, biofertilizantes.*

Abstract

The genus *Azospirillum* has been object of a renewed interest, due to his ample natural distribution, his properties of late years fertilizers, his environmental positive impact and the high costs of the chemical fertilizers. The State-of-the-Art is briefly outlined, especially for *Azospirillum* and the production scheme for a commercial preparation, NITROFIX, is shown. The technological structure of such a production is established and the services offered by ICIDCA for its implementation presented.. For his properties, the preparation NITROFIX (*Azospirillum*) shows up like an interesting option like biofertilizer utilized principally in Gramineae.

Key words: *Biological nitrogen fixation, Azospirillum, NITROFIX, biofertilizers.*

Introducción

La rizosfera es la porción del suelo que forma el complejo *habitats* de las raíces de las plantas y cuya composición es alterada por estas. Un componente importante de la rizosfera es la población activa de microorganismos que prolifera debido al suministro de nutrientes de los exudados de las raíces. A su vez, estos microorganismos que colonizan la rizosfera afectan significativamente la biología de raíces y plantas en relación a la nutrición, desarrollo y salud vegetal (Mantelin y Touraine, 2004).
Los microorganismos que colonizan la rizosfera pueden ser clasificados de acuerdo a su efecto en las plantas y la manera en que interaccionan con las raíces. Algunos pueden ser patogénicos pero muchos de ellos desatan efectos beneficiosos. Dentro de los últimos se pueden distinguir dos grandes categorías. Primero, los

pertenecientes a los géneros *Rhizobium* y *Frankia* capaces de establecer relaciones simbióticas con las raíces de las plantas hospederas (Harley y Smith, 1983; Broughton y Perret, 1999; Martin y Plassard, 2001; Trinchant *et al*., 2001).
Otro grupo es el de las bacterias conocidas como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (**BPCV**) (Bashan y Holguín, 1998) que ejercen también un efecto beneficioso sin desarrollar esas asociaciones simbióticas. Los mecanismos por el que actúan, no están aún claramente establecidos.
Muchas de estas bacterias son capaces de convertir el nitrógeno molecular en amoniaco en virtud del complejo de la nitrogenasa (Postgate, 1982). Otra de las características que ha sido informada sobre las BPCV, es la producción de fitohormonas, que influyen directamente en el desarrollo radicular.
Tomando en cuenta la complejidad de esta interacción es difícil valorar cual de las dos actividades microbianas en las BPCV es la más importante. Sin embargo, el incremento en la superficie radicular que conduce a una más eficiente incorporación de nutrientes es la explicación más común a la acción beneficiosa de estos microorganismos sobre las plantas. Se ha informado que los cultivos inoculados con *Azospirillum* incorporan los macro-nutrientes N, P, K, y los micro-elementos mucho mejor del suelo que el testigo no inoculado (Okon y Vanderleyden, 1997).
A pesar de que las bacterias del género *Azospirillum* han sido ampliamente estudiadas en los últimos años (Fernández et al 1999; Dalla Santa et al 2004; Somers et al 2005; Tsagou y Aggelis 2006), hasta el momento no existe un desarrollo comercial extendido de este microorganismo como biofertilizante.

Azospirillum.
Las bacterias del género *Azospirillum* son microorganismos que viven libres en el suelo, o en estrecha asociación con las raíces de las plantas en la rizosfera lo que sugiere que pueden influir de cierto modo en la nutrición vegetal por el aporte de compuestos nitrogenados como resultado de la nitrofijación. Cinco especies de *Azospirillum* han sido estudiadas hasta el momento: *A. brasilense*, *A. lipoferum*, *A. amazonenze*, *A. halopraeferens* y *A. irakense* (Tarrand *et al*, 1984).
Se ha informado que los mecanismos mediante los cuales *Azospirillum* ejerce su acción beneficiosa en el crecimiento de las plantas son:
a) fijación asociativa del nitrógeno
b) promoción del crecimiento y funcionamiento de las raíces, por cambios morfológicos de las mismas inducidos por fitohormonas (auxinas, giberellinas, etc.)
Se atribuye por varios autores una menor significación agronómica al primer mecanismo.
No existen informes que manifiesten la inducción de este microorganismo en la formación de nódulos durante su asociación con las raíces de las plantas a la manera de otros géneros como *Rhizobium*.
La inoculación de *Azospirillum* en las plantas produce un aumento significativo del sistema radical, induce resistencia frente a agentes patógenos, provee de nutrientes, inhibe la proliferación de plantas parásitas y producen hormonas que estimulan el crecimiento vegetal. *Azospirillum* prolifera bajo condiciones aerobias y anaerobias tanto en presencia como ausencia de nitrógeno combinado en el medio y puede usar N_2, NH_3, NO_3 y aminoácidos como fuentes de nitrógeno (Mantelin y Touraine, 2004).
Debido a su amplia distribución natural, sus propiedades fertilizantes, su impacto ambiental positivo y los altos precios de los fertilizantes químicos, el género *Azospirillum* ha sido objeto de un renovado interés en los últimos años (Dobbelaere *et al*, 2002; Bashan *et al*, 2004).

Figura 1. **Efecto de la inoculación con *Azospirillum* sp. Sobre el sistema radicular del maíz.**

El cultivo puro se logra en diferentes medios de laboratorio, siendo el más comúnmente empleado, el que utiliza la adición del colorante rojo Congo. En este medio, *A. lipoferum* y *A. brasilense* toman un color rojo escarlata que permite su diferenciación de otros géneros bacterianos. Como rutina se emplean diferentes pruebas bioquímicas y fisiológicas para la identificación de las especies de este género. La Figura 2 muestra el esquema de aislamiento típico de bacterias del género *Azospirillum.*

Aislamiento de Azospirillum

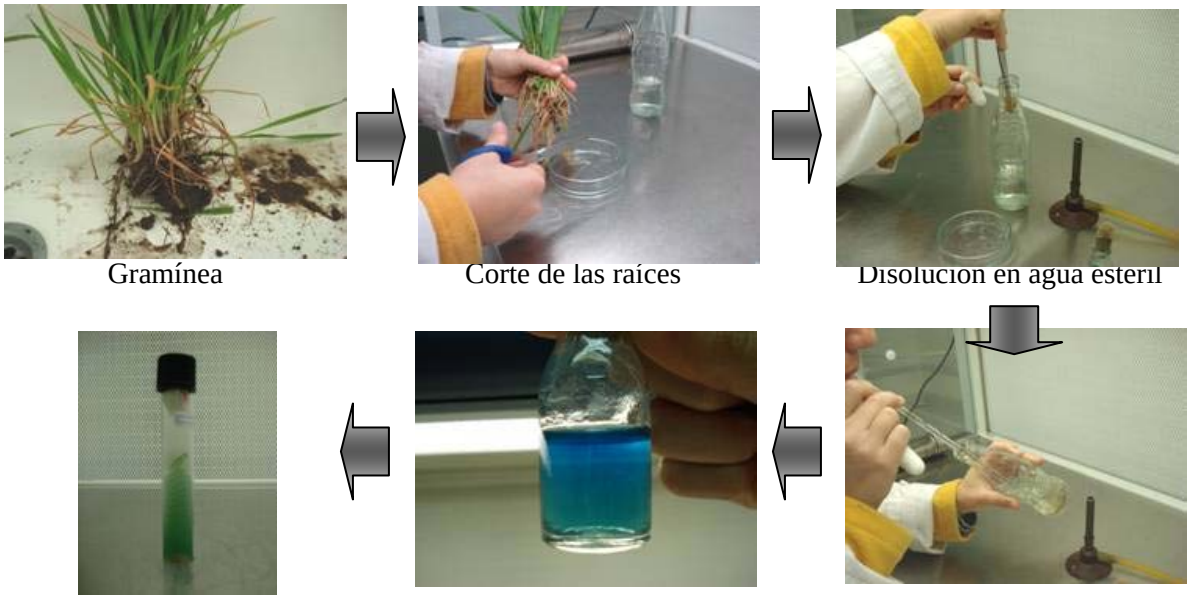


Figura 2. Esquema de aislamiento de bacterias del género *Azospirillum* de las raíces de Gramíneas.

Propagación y formulación del biofertilizante Azospirillum

La mayoría de las bacterias producidas en la industria agroalimentaria se obtienen por fermentación sumergida en biorreactores de diversas escalas con la aireación-agitación adecuada a los requerimientos del microorganismo cultivado y con los accesorios y la automatización necesaria que garanticen las condiciones de fermentación (pH, temperatura, etc.) que este demande. El modo de fermentación más utilizado es el discontinuo pues permite un mayor control de las contaminaciones.

La fermentación incrementada (*fed batch*) puede emplearse igualmente. El cultivo continuo, si bien aumenta significativamente la productividad del sistema y reduce el tamaño de planta, debe operarse con extremo cuidado para mantener la asepsia del sistema. La Figura 3 muestra los pasos esquemáticos de esta propagación y su ulterior formulación para la distribución en la agricultura.

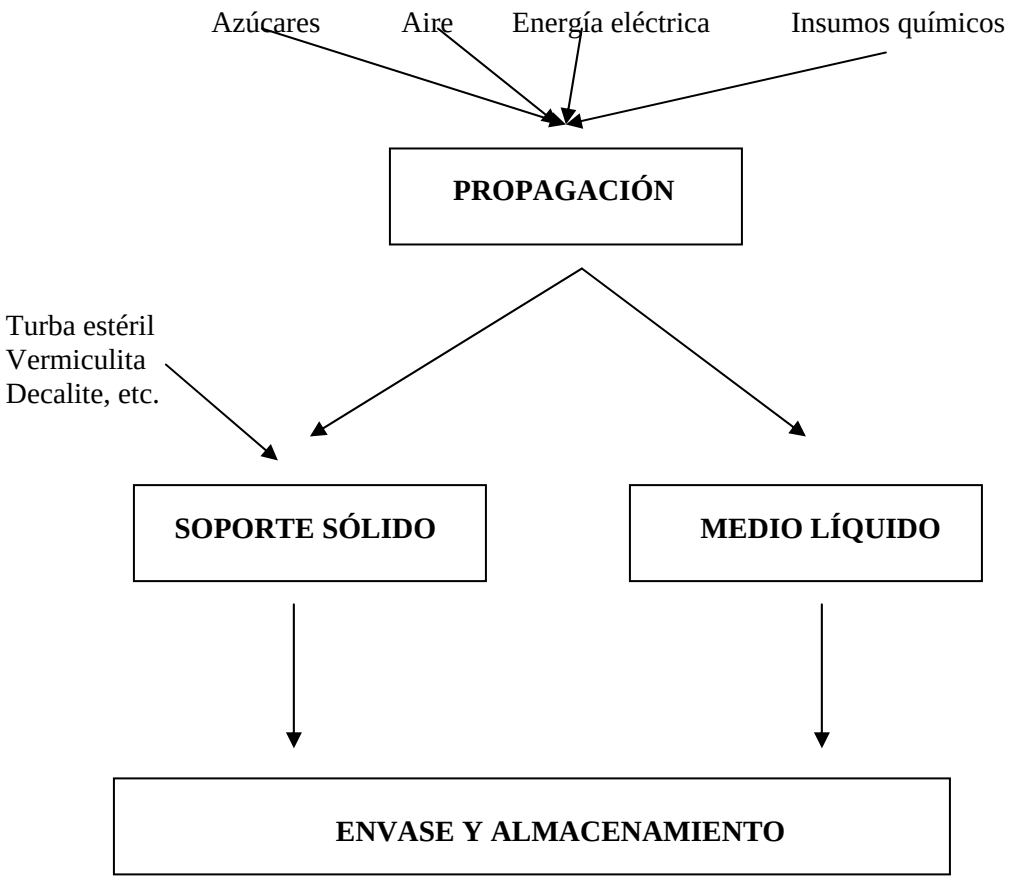


Figura 3. Preparación de un formulado de biofertilizante NITROFIX.

Resultados obtenidos con la aplicación deL biopreparado NITROFIX (Azospirillum).

La inoculación de diversas plantas con *Azospirillum* ha demostrado que los principales sitios de colonización son las áreas de elongación celular y las bases de los pelos radicales. La inoculación de los cultivos comerciales de gramíneas con el preparado NITROFIX puede alcanzar una sustitución de los fertilizantes químicos de hasta 60% sin que se aprecie reducción significativa en los rendimientos agrícolas.

Usos de NITROFIX en caña de azúcar

La caña de azúcar es la especie vegetal cultivada con mayor potencial de fijación asociativa de Nitrógeno atmosférico. En estudios a largo plazo con 10 variedades de caña de azúcar entre el 60% y 80% del nitrógeno vegetal se derivó a partir de las asociaciones del preparado con la planta. En otros estudios se ha informado resultados de igual índole entre 49 y 70%.

Los estimados del potencial de fijación de N_2 en sistemas de cultivo de caña de azúcar están en el rango de más de 200 kg/ha. La Figura 4 muestra el sistema radicular en caña a los 40 días posteriores a la inoculación con el preparado biofertilizante.

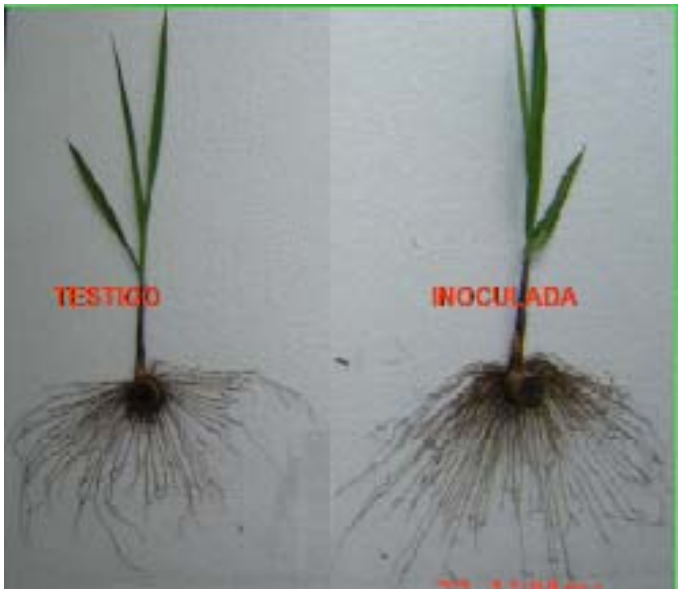


Figura 4. Crecimiento del sistema radicular en caña a los 40 días de su inoculación con biofertilizante NITROFIX

Experiencias cubanas con el uso de NITROFIX.

En experimentos de campo para evaluar la respuesta de la caña de azúcar a la aplicación de un biofertilizante elaborado con la cepa INICA-8 de *Azospirillum sp*, debido a su alta potencialidad dinitrofijadora; realizados en la Red Geográfica Experimental del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), del sistema del Ministerio del Azúcar de Cuba, en diferentes condiciones edafo-climatológicas y de manejo fito-técnico, se obtuvieron resultados que sugieren que los retoños responden con diferentes magnitudes y altos niveles de sustitución de fertilizantes minerales desde y por encima de 50% del nitrógeno total necesario para el ciclo de la plantación, cuando se realizan inoculaciones de *Azospirillum* en la rizosfera en concentraciones de 10^9 cel/ml de bioproductos puros, frescos y bien conservados.

Los incrementos medios por producciones adicionales están en orden aproximado a 20% cuando se inocularon dosis en el rango 80 a 100 L/ha del biopreparado, observándose un alto índice de frecuencia positiva de las respuestas obtenidas (76%) de los experimentos cosechados (Roldós *et al* 1994).

Formas de presentación de NITROFIX:

El ICIDCA ha desarrollado una tecnología que permite la obtención de 2 formas terminadas:

- *Polvo húmedo para impregnación de semillas*

Este producto se emplea para cultivos que se siembran con semillas botánicas tales como arroz, maíz, sorgo, etc. La semilla se recubre con una capa de inoculante que debe contener entre 10^3y 10^7 ufc /semilla en dependencia del tamaño de la semilla.

- *Polvo humectable para la aspersión al suelo*

Se puede emplear para cualquier tipo de cultivo, aunque preferentemente para aquellos en los que no se puede emplear la impregnación de semillas por ejemplo, caña de azúcar y plantas de semillas muy pequeñas, que tienden a aglomerarse. La dosis depende del tipo de cultivo y puede fluctuar entre 10^7 y 10^{15} ufc/ ha para aplicación en surcos y entre 10^4 y 10^9 ufc /L de suelo para semilleros.

Tecnología de producción del biopreparado NITROFIX

El ICIDCA brinda servicios en esta producción que comprende:

- Aislamiento y selección de cepas autóctonas
- Diseño del proceso de propagación y formulación de producto
- Evaluación de soportes disponibles localmente
- Diseño de planta piloto y su operación para la obtención de lotes demostrativos
- Apoyo en la elaboración de documentos para la solicitud de financiamiento por bancos de fomento agrícola
- Tarea técnica de instalación industrial
- Apoyo en la selección equipamiento
- Arrancada y puesta en marcha de la instalación
- Entrenamiento de personal.
- Una vez implementado el proyecto oferta servicios de *scale down* para la solución de problemas tecnológicos.

Conclusiones

Por sus propiedades, el preparado NITROFIX (*Azospirillum*) se presenta como una opción interesante como biofertilizante utilizado principalmente en gramíneas. Disminuye el uso de fertilizantes químicos nitrogenados, reduciendo la contaminación de aguas subterráneas al disminuir la lixiviación de nitratos y reduciendo el impacto ambiental.

Desde el punto de vista de consumo energético la producción del preparado NITROFIX es mucho menos intensiva que los agroquímicos convencionales.

Referencias Bibliográficas

- Bashan, Y. y Holguin, G. (1998). Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 1225–1228
- Bashan, Y., Holguin, G. y Bashan, L.E. (2004). *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental advances (1997-2003). *Can J. Microbiol*. 50 (8), 521-577.
- Broughton, W.J. y Perret, X. (1999). Genealogy of legume–*Rhizobium* symbioses *Current Opinion in Plant Biology*, 2**,** 305–311.
- Dalla-Santa, O.R., Fernández, R., Michelena, G.L., Ronzelli, P. y Soccol, C.R. (2004). *Azospirillum* sp. Inoculation in wheat, barley and oats seeds greenhouse experiments *Brazilian Archives Biol Biotechnol* 47 (6), 843-850.
- Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Okon, Y. y Vanderleyden, J. (2002). Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize *Biology and Fertility of Soils* 36**,** 284–297.

- Fernández, R., Dalla-Santa, O., Soccol, C.R. y Michelena, G.L. (1999). Obtención de un inoculante comercial a partir de *Azospirillum sp.* en condiciones brasileñas *Sobre los deriv* 23, 55-60.
- Harley, J. L. y Smith, SE**.** (1983). *Mycorrhizal symbiosis*. London: Academic Press.
- Mantelin, S. y Touraine, B. (2004). Plant growth-promoting bacteria and nitrate availability: impacts on root development and nitrate uptake *J Experim Botany*, 55 (394), 27-34
- Martin, F. y Plassard C. (2001). Nitrogen assimilation by ectomycorrhizal symbiosis. In: Morot-Gaudry, J.F, ed. *Nitrogen assimilation by plants. Physiological, biochemical and molecular aspects.* Enfield (NH, USA), Plymouth (UK): Science Publishers, 169–183.
- Okon, Y. y Vanderleyden, J. (1997). Root-associated *Azospirillum* species can stimulate plants. *ASM News* 63, 366–370.
- Postgate, J.R**.** (1982). Biological nitrogen fixation: fundamentals*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B* 296, 375–385.
- Roldós, J., Casas, M., Delgado, A. y Pérez, J. (1994). La biotecnología aplicada a la agricultura. *XVII Reunión Latinoamericana de Rhizobiología*, Libro de Resúmenes. La Habana, Cuba.
- Saura, G. 2003. Fijador de nitrógeno *Azospirillum* sp. Publicación FIAGRO, San Salvador, diciembre de 2003. En: http://www.fiagro.org.sv
- Somers, E., Ptacek, D., Gysegom, P., Srinivasan, M. y Vanderleyden, J. (2005). *Azospirilum brasiliensis* produces an auxin-like phenylacetic acid by using the key enzyme for indole-3-acetic acid biosynthesis *Appl Environm Microbiol*, 71 (4), 1803-1810
- Trinchant, J.C., Drevon, J.J. y Rigaud, J. (2001). Symbiotic nitrogen fixation. In: Morot-Gaudry J-F, ed. *Nitrogen assimilation by plants. Physiological, biochemical and molecular aspects.* Enfield (NH, USA), Plymouth (UK): Science Publishers, 121–134.
- Tsagou, V. y Aggelis, G. (2006). Growth dynamics of *Azospirillum lipoferum* at steady and transitory state in the presence of NH *J Appl Microbiol* 100 (2), 286-295.

BREVE REVISION DE ALGUNAS CAUSAS DE LOS BAJOS RENDIMIENTOS EN LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA CUBANA. PERIODO 1950-1990.

Guillermo Gálvez

Facultad de Biología, Universidad de la Habana
ggalvez@rect.uh.cu

RESUMEN

El presente trabajo presenta una breve revisión de algunas de las causas de los bajos rendimientos en la agroindustria azucarera cubana en los 40 años que van de 1950 a 1990. Se analiza el efecto que algunas tecnologías como la fertilización y la mecanización tuvieron sobre los rendimientos en ese periodo. Se evidencia que los enormes aumentos en la fertilización y en el uso de la mecanización no trajeron los incrementos esperados del rendimiento por área del cultivo. Se realizan comparaciones con Australia en el mismo periodo histórico, evidenciándose notables diferencias en las ganancias promedios anuales, a pesar de que Australia partió de valores mucho más altos de rendimiento. Además se analiza brevemente el efecto del trabajo de investigación. Finalmente se realizan conclusiones y recomendaciones para el futuro inmediato, partiendo del hecho del alto potencial que tienen los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en Cuba y los genotipos cubanos obtenidos y seleccionados en el periodo.

Palabras clave: caña de azúcar, fertilización, rendimientos.

ABSTRACT

This paper presents a brief review of some of the problems that were responsible for low sugarcane yields in Cuba in the period 1950-1990. The effects that some technologies, such as fertilization and mechanization, had on the yields, are analysed. It makes evident that the increases in total fertilization and in mechanization did not meet the expectations of yield increases. Comparisons with the Australian sugar industry in the same historical period are made, showing that the increases of mean gains of the annual yields were much larger in the Australian sugar industry than in that of Cuba, in spite of the fact that, at the moment this comparison was begun, the yield values in Australia were much higher than those in Cuba. The effect of this research on the sugarcane yield is analysed. Finally, some conclusions and recommendations are made, taking into consideration the high yield potential of the Cuban soils and the sugarcane genotypes selected during the period analysed.

Key Words: Sugarcane, fertilization, yields.

Introducción

La agroindustria azucarera cubana comenzó en el siglo XVI en la década de 1520-1530; sin embargo, su crecimiento fue lento hasta finales del siglo XVIII y tuvo un auge decisivo entre 1820 y 1868, llegando a exportarse más de 720.000 toneladas en 1868. Las fábricas azucareras crecieron de 424 en 1778 hasta 1473 en 1862 (Moreno Fraginals, 1973; Pérez, 1988). Durante ese periodo las tecnologías para el cultivo y manejo de la caña de azúcar sufrieron una evolución mucho mas lenta que el procesamiento industrial de la planta, debido a varias razones de índole socio-económicas; como ejemplo de esto, se pueden citar la introducción de las maquinas de vapor en 1817, y un poco mas tarde las centrifugas. Esto fue así hasta finales del siglo XIX, a pesar de la aparición en 1862 del libro de Don Álvaro Reynoso "Ensayo sobre el Cultivo de la Caña de Azúcar".

La falta de una agricultura intensiva, con escaso uso de fertilizantes, casi sin riego, con un nivel escaso de mecanización, dependencia de 2 o 3 variedades y otros factores del manejo agrícola, fue el motivo principal por lo cual los rendimientos promedios se movían entre 35-40 t/caña/ha durante los primeros 60 años del siglo XX. La agricultura de la caña de azúcar era prácticamente de secano, dependiendo fundamentalmente de factores climáticos como la lluvia y el aumento o no de nuevas áreas cultivadas, lo que estaba muy relacionado con los precios del mercado mundial del azúcar y de las exportaciones a Estados Unidos que oscilaban entre el 50 al 90 % del total de la producción anual (Anuario Azucarero de Cuba, 1954).

Sin embargo, ya antes de 1900, Cuba produjo el primer millón de toneladas de azúcar en una cosecha, cuando la población total de la isla no llegaba a 1,5 millones de habitantes (Pérez, 1988) y siguió creciendo durante los primeros 90 años del siglo XX como se observa en la Tabla I. Se exceptúa la década 1930-1940 en que el país sufrió una gran crisis económica y política.

Tabla I. Medias de la caña cosechada y azúcar producida por periodos (millones de toneladas)

Periodos	1901-1910	1911-1920	1921-1930	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990
Medias de la caña cosechada (año)	12,1	26,1	38,7	24,4	36,6	43,7	45,5	54,6	62,9
Media del Azúcar Producida (año)	1,23	2,62	4,05	2,65	4,21	5,07	5,52	6,2	7,68

La investigación durante la primera mitad del siglo XX dependió solamente del trabajo realizado en la Estación Experimental de Santiago de las Vegas, fundada en 1902, con escasos recursos financieros y de personal, pues se ocupaba de la casi totalidad de cultivos comerciales. A finales de la década de 1940 se fundo la Estación Experimental de la Caña de Azúcar en Jovellanos, Matanzas, dedicada a seleccionar variedades y a realizar investigación aplicada en otras temáticas del manejo del cultivo.

El uso de tecnologías. Algunas comparaciones.

Una de las tecnologías a las que se le atribuyen mayor importancia para obtener mayores rendimientos por área en la caña de azúcar es la fertilización. Se estima por diversos autores que la fertilización puede contribuir a aumentos de los rendimientos entre un 20-30 % (Calcino, 1994; Cuellar y col., 2002), cuando están cubiertos el resto de los factores que contribuyen al rendimiento.

El manejo de la caña de azúcar en Cuba antes de 1960 estaba basado en la utilización de pocos insumos químicos, dependencia casi total de la lluvia y de trabajo eminentemente manual. Lo anterior podría explicar el por que de los rendimientos de no mucho mas de 40 t de caña/ha como promedio anual, estando las variaciones justificadas por nuevas áreas plantadas y de cómo se comportaran las lluvias.
En ese periodo el uso de fertilizantes activos por t de caña producida era alrededor de 0,2 t, lo que es una cifra muy baja.
A partir de finales de la década de 1960-1970 se comenzó a dar un cambio sustancial en el uso de los fertilizantes químicos llegando a una media anual de 2,80 Kg. de nutrientes activos (en forma de $N + P_2O_5 + K_2O$) por t de caña en el año 1975. La cifras continuaron aumentando hasta 3,7 en el periodo 1976-1980 y elevándose aun mas en el decenio 1980-1990 que alcanzaron 4,2 Kg. de fertilizantes activos por t de caña producida (Cuellar y col., 2002).

Tabla II. Fertilización utilizada en la caña de azúcar, periodo 1950-1989 (calculado a partir de Cuellar y col., 2002).

Periodo Anos	Kg. de Fertilizante por t de Caña.	Rendimiento Medio (t caña/ ha).	Porciento del incremento del fertilizante y del rendimiento.
1950-1960	0,2	40,1	-
1969-1975	2,8	43,7	1400 (1) 8,23 (2)
1975-1980	3,7	51,8	132 (1) 15,6 (2)
1980-1989	4,2	55,0	113 (1) 5,8 (2)

(1) Porciento del aumento de fertilizantes
(2) Porciento del aumento del rendimiento

Sin embargo como muestra la tabla II los incrementos de los rendimientos en esos periodos están lejos de producir valores de incrementos acordes a los sustanciales aumentos en la fertilización, produciéndose aumentos discretos, siendo el mas significativo el 15,6 % alcanzado en el periodo 1975-1980, mientras que los incrementos en la fertilización fueron desde 113% hasta 1400 %.
Si comparamos la eficiencia de la fertilización de Cuba con Australia, un país con alta eficiencia integral del manejo del cultivo, (tabla III), las diferencias son notables, ya que con un 16 % mas de fertilizantes, Australia alcanzaba un 86 % mas de rendimiento; aun teniendo en cuenta que se partieron de valores de rendimiento diferentes y que ese periodo es el de mas altos rendimientos agrícolas de Cuba en el siglo XX.

Tabla III. Comparación del uso de los fertilizantes y aumentos de los rendimientos entre Cuba y Australia (periodo 1980-1989).

FERTILIZANTES UTILIZADOS (Kg./ Ha)	N	P	K	Total N + P + K	RENDIMIENTO MEDIO T azúcar/ Ha.
CUBA (1980-1990)	130	30	155	315	5, 97
AUSTRALIA	136	26	205	367 (+ 16 %)	11, 08 (+ 86 %)

Las razones para esos pobres incrementos de rendimientos son múltiples, como comentaremos mas adelante, pero apuntan a ineficiencias importantes en la cadena del manejo del cultivo, incluyendo la fertilización.
Cuando se comparan los rendimientos y las ganancias promedios anuales entre Cuba y Australia en un periodo amplio de 40 años (Tabla IV), los aumentos anuales de Cuba son discretos 1,54 % anual para el rendimiento agrícola y 0,84 % anual para las t de azúcar/ ha, mientras que las de Australia son 2,5 % anual para ambos, a pesar de que Australia partió de valores mucho mas altos que Cuba (60 t caña/ha vs. 35,6 t caña /ha y 8,0 t azúcar/ha vs. 4,61 t azúcar/ha).

Tabla IV. Comparación de rendimientos ganancias promedios entre Cuba y Australia, periodo 1950-1990.

RENDIMIENTOS	CUBA 1950	CUBA 1990	AUSTRALIA 1950	AUSTRALIA 1990
T caña/ha	35,6	57,6	60	88
Diferencias (t caña/ha		22		28
Ganancia anual %		**1,54**		**2,5**
T azúcar/ ha	4,61	6,16	8,0	12,0
Diferencia (t azúcar/ ha)		**1,55**		**4,0**
Ganancia Anual %		**0,84**		**2,5**

Las explicaciones para estas diferencias tan notables son dignas de un serio trabajo de investigación que incluya no solo los importantes factores de la introducción y uso correcto de las nuevas tecnologías, sino también de otros de índole socio-económicos, aunque este autor ha tenido en cuenta no usar los datos a partir de 1990, debido a los serios problemas económicos que enfrento Cuba.
Otro aspecto de la tecnología que se debe tener en cuenta es el uso de la mecanización, la cual en el periodo que se analiza sufrió cambios trascendentales, siendo muy baja en el decenio 1950-1960, limitado a tractores y equipos de labranza en cantidades pequeñas, pues casi todo el proceso del manejo del cultivo era manual. Sin embargo desde finales de los anos 60 se incremento notablemente la mecanización en la agricultura de Cuba, lo que se muestra en la tabla V, en la que se observa que Cuba poseía el doble o mas tractores por ha agrícola que países como Argentina o Costa Rica.

Tabla V. Numero de tractores por unidad cultivable (ha) en A. Latina y países seleccionados (Álvarez y Peña, 2001).

AÑOS	1970	1980	1985
A. LATINA	230	155	135
ARGENTINA	197	211	177
CHILE	118	123	126
COSTA RICA	97	85	84
CUBA	**51**	**47**	**48**

Algunas de las tecnologías a las que se atribuye mayor potencial de incremento de los rendimientos son a las relacionadas con la genética, biotecnologías e ingeniería genética, que se resumen en la creación y desarrollo de nuevas variedades con mayores potenciales de rendimiento. Un ejemplo clásico de esto es el aumento de los rendimientos en el cultivo del maíz en Estados Unidos que en un periodo de 60 años (1940-2000) multiplico cinco veces sus rendimientos y la mayor parte de estos incrementos espectaculares es atribuida a los nuevos genotipos introducidos (Hallauer, and Pandey, 2006).

En el caso de la agroindustria azucarera, hay diversos autores que consideran que más del 50 % del incremento de los rendimientos en azúcar por área se debe a la introducción de nuevas variedades (Hogarth, Cox, and Bull, 1997; Edme y col, 2005). En el estado de la Florida en Estados Unidos, se reportaron ganancias que van de mas del 1 % a mas del 4 % anual en un periodo de tiempo que va desde 1968 hasta el año 2000 atribuible a las nuevas variedades (Edme y col, 2005).
En Cuba también hay diversos autores que coinciden en la importancia de la creación de nuevos genotipos para el incremento de la producción de azúcar por área (Gálvez, 1987; Jorge 2001). Los resultados obtenidos en los últimos 40 años son notables debido a la introducción de nuevo germoplasma que de menos de 1000 genotipos llega a casi 4000; liberarse de la dependencia de variedades foráneas que fueron en una época muy importantes y ahora no ocupan mas del 5 % del área nacional y del establecimiento de programas especiales de resistencia a enfermedades y condiciones adversas, entre otros resultados notables del programa nacional que existe para estos fines (Jorge y col., 2007). Sin embargo, debido al pobre incremento del rendimiento logrado en el periodo estudiado, es difícil estimar el aporte específico de los nuevos genotipos, aunque su potencial agrícola y de contenido azucarero es alto.

La integración de las investigaciones de la caña de azúcar

La investigación de la caña de azúcar en Cuba, sin dudas presento un gran avance a partir de 1964 con la creación del Instituto de Investigaciones de la Cana de Azúcar, adscrito inicialmente a la Academia de Ciencias de Cuba y posteriormente al MINAZ. Esta institución, al igual que otras del Ministerio de Agricultura y diferentes universidades, le dedicaron importantes recursos a los aspectos principales de la agronomía del cultivo y a la obtención de nuevas variedades.
Debe resaltarse el muy exitoso ejercicio de colaboración que se desarrollo en el decenio 1980-1990 llamado Programa Integral de Investigaciones de la Caña de Azúcar, en el que participaban todas las instituciones relacionadas con la investigación, el desarrollo y la extensión de la caña de azúcar en Cuba. El programa, bajo la dirección del MINAZ, visitaba sistemáticamente todos los centros importantes de Cuba, discutía las prioridades y asignaba los recursos financieros y humanos.
Sin embargo por diferentes razones, que motivarían otros análisis, este programa no existe y la situación de colaboración posterior a 1991 se fue deteriorando paulatinamente.
Para referenciar lo anterior, se puede mostrar lo siguiente: a mediados del año 2008, de los 77 proyectos de investigación que financia el MINAZ, no existía prácticamente participación de otros centros que no fueran los adscriptos a dicho ministerio. Por otra parte, de los 18 proyectos nacionales del Programa Azucarero del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) solo 3 (16,6 %) tienen participación activa de universidades cubanas (Valdés, 2008). Como otro ejemplo podemos referirnos a la Universidad de la Habana (UH), que fue líder en investigaciones de la agroindustria azucarera relacionadas con la economía, la sociología, la biología y la química, entre otras ciencias, y poseía una cifra menor del 3 % de más de 300 proyectos de investigación en el ano 2007 (VRI, 2007).
Esta situación requiere de un serio análisis para entender las causas reales de estos problemas y enrumbar adecuadamente el trabajo de investigación-desarrollo-extensión de la caña de azúcar en Cuba.

Conclusiones

Este autor considera que el potencial de los suelos dedicados actualmente al cultivo de la caña de azúcar en Cuba, así como los genotipos obtenidos, posee el potencial suficiente para obtener rendimientos promedios muy superiores a los actuales. Además, existen tanto el personal calificado, como el desarrollo de los conocimientos de las tecnologías que se expresan en diferentes servicios desarrollados por el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar del MINAZ, que requerirían un detallado análisis, aunque este no es el objetivo de este trabajo.

También este autor considera que la mayor parte de estos problemas subsisten en la actualidad, aunque agravados por la falta de recursos a partir de los años 90. Lo que paso en el decenio 1991-2000 y posteriormente, requerirá de un profundo análisis que estimo esta por hacer, pero que sin dudas tiene antecedentes en decenios anteriores. Por lo tanto, se considera valido realizar las siguientes recomendaciones:

- Priorizar las investigaciones económicas y sociales para conocer y poder explicar las razones por las cuales existen deficiencias tan notables en el manejo del cultivo que se expresan en rendimientos relativamente tan bajos, aun con altos insumos y tecnologías adecuadas en el periodo analizado.
- Dedicarle más recursos financieros al trabajo de Investigación-Desarrollo-Extensión y lograr una mayor integración de otros organismos e instituciones con los del Ministerio del Azúcar, especialmente de las universidades cubanas, del Ministerio de la Agricultura, y del de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

Referencias Bibliográficas

1. Álvarez, J. and Peña, L. (2001). Cuba's Sugar Agroindustry. Florida University Press. Florida, 217 p.
2. Anuario Azucarero de Cuba (1954). Compilado y Editado por Cuba Económica y Financiera. Habana, Cuba, 208 p.
3. Calcino, D. V. (1994). Australian sugarcane nutrition manual. SRDC-BSES, Australia, 60 p.
4. Cuellar, I. A. y otros. (2002). Manual de Fertilización de la Caña de Azúcar en Cuba. Editorial PUBLINICA, La Habana, 127 p.
5. Edme, S. J. y col. (2005). Genetic contributions to yield gains in the Florida sugarcane industry across 33 years. Crop Science, 45: 92-97.
6. Galvez, G. (1987). Capitulo 2: Genética y Selección. En La Cana de Azúcar en Cuba. Editor J. R. Martín; Editorial Científico Técnica, La Habana, pp.: 36-200.
7. Hallauer, A. R. and Pandey, S. (2006).Defining an Achieving Plant-Breeding Goals. In A. R. Hallauer Symposium, Iowa State University and CIMMYT. Chapter 4, pp: 73-89.
8. 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 Research Signpost, India. Editor M.S. Kang, LSU, USA, pp: 29-56.
9. Jorge, H. (2001). Programa de Fitomejoramiento. Impacto en la producción azucarera cubana. Presentacion en Power Point, Documento Interno del INICA, MINAZ, La Habana.
10. Jorge, H. y col. (2007). Informe Central de Variedades. Reunión Nacional de Variedades. Documento Interno, INICA, Sancti Spiritus, Enero, 2007, 50 p.
11. Moreno Fraginals (1978). El ingenio: complejo económico social cubano del azúcar, 2 Vols. La Habana.
12. Pérez, L. A. (1988). Cuba. Between Reform and Revolution. Oxford University Press, New York, 504 p.
13. Reynoso, A. (1862). Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar Sexta Edición. Publicaciones MINAZ.
14. Valdés, A. (2008). Comunicación personal.
15. VRI (2007). Vicerrectoria de Investigaciones. Universidad de la Habana, Balance Anual de Investigaciones, Documento Interno.

SERVICIO DE RECOMENDACIONES DE FERTILIZANTES Y ENMIENDAS (SERFE), 11 AÑOS DE IMPACTO EN LA SOSTENIBILIDAD ECOLÓGICA DE AGROECOSISTEMAS CAÑEROS DE LA PROVINCIA HOLGUÍN

Autores: Resky Tello, Liet Peña. Massiel Flores, Ernesto Pino, Luís Vargas, Ernesto Gonzáles, Pedro Sánchez, Juan Freeman, Maria Isabel Romero, Ramón Velásquez, William Cedeño.

Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA Holguín.). Guaro S/N Mayarí, Holguín, Cuba. Tel: 059-6262. E-mail: epica@hl.minaz.cu

Resumen

Con el propósito de evaluar la efectividad de los fertilizantes recomendados por el SERFE *(Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas)* y su influencia en la conservación de las principales características de los agroecosistema cañeros en la provincia Holguín, para su supervivencia a largo plazo, con una dosis doble a ella y un testigo sin fertilizar, se montaron 42 Lotes Control en las empresas azucareras de la provincia Holguín, demostrando la efectividad económica – productiva y su impacto ambiental, a través de las recomendaciones de fertilizantes realizadas a los productores cañeros durante el periodo 1997-2008. Los resultados mostraron que las dosis recomendadas por el SERFE resultaron las más adecuadas, para mejorar las características físicas y químicas de los suelos, al reducir de forma considerable la acidez y toxicidad; así como los índices de consumo y los riesgos de contaminación ambiental. El potasio es el elemento limitativo en la obtención de buenos rendimientos, con requerimientos promedios de hasta 1.8 kg por toneladas de caña. Se obtuvieron incrementos en la producción de caña según lo recomendado, ascendente a 10.7 $TM.ha^{-1}$, que produjo ganancias equivalentes a $105.52 por hectárea y una relación Costo-Beneficio (C/B) de $0.45 con respecto al incremento doble de las dosis que tuvo que emplear $1.18 para producir un peso adicional.

Palabras clave: SERFE, Impacto Ambiental, Sostenibilidad ecológica, Efectividad Económica.

Summary

With the purpose of evaluating the effectiveness of the fertilizers recommended by the SERFE (Service of Recommendations of Fertilizers and Amendments) and their influence in the conservation of the main characteristics of the sugar cane field production in the county Holguín, for their long term survival, with a double dose to her and a witness without fertilizing, 42 Lots Control were mounted in the sugar companies, of the county Holguín, demonstrating the economic effectiveness - productive and their environmental impact through the recommendations of fertilizers carried out to the period 1997-2008. The results showed that the doses recommended by the SERFE were the most appropriate to improve the physical and chemical characteristics of the floors, when reducing in a considerable way the acidity and toxicity; as well as the consumption indexes, and the risks of environmental contamination. The potassium is the limitative element in the obtaining of good yields, with requirements averages of up to 1.8 kg for tons of cane. Increments were obtained in the cane production according to that recommended, upward to 10.7 TM.ha-1 that produced equivalent earnings at 105.52 $.ha-1 and a relationship Cost-benefit (C/B) of $0.45 with regard to the double increment of the doses that had to use $1.18 to produce an additional weight.

Key words: SERFE, Environmental Impact, ecological Sostenibilidad, Economic Effectiveness.

Introducción

Los suelos representan el recurso natural que debe aportar la mayor parte de los alimentos, pero se ven cada vez más expuestos a los efectos de la degradación, por otra parte la creciente demanda del uso de maíz, soya y otros importantes renglones en la producción de biocombustibles, compiten seriamente con la demanda de alimentos, por tanto se espera una sobre explotación de los suelos y un incremento en el uso de los fertilizantes con vistas a obtener mayor producción, mientras los precios del petróleo siguen en aumento Pérez y otros. (2007).

Una medida de la capacidad productiva de los agroecosistemas a largo plazo es la condición de los suelos. Los procesos climáticos naturales y las prácticas de manejo pueden afectar la calidad de los mismos. El agotamiento de nutrientes con frecuencia se vincula con la intensificación en tierras marginales, pero puede ocurrir en cualquier tipo de suelo si los nutrientes extraídos por el cultivo no se reponen adecuadamente. Este aspecto y la pérdida de materia orgánica constituyen uno de los principales procesos de degradación del suelo. Cobo, (2008.).

El desarrollo agrícola futuro requiere de un nuevo enfoque, que permita suplir las necesidades de alimentos, y otras materias primas a la creciente población, utilizando sistemas que sean sostenibles, tanto desde el punto de vista productivo, ecológico como económico.

El Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE), es el encargado de recomendarle al productor (cómo, cuándo y cuánto) fertilizante debe aplicar a cada campo de forma racional, para obtener las mayores ganancias económicas – productivas, a la vez que conserva la fertilidad del suelo y evita que la fertilización irracional contribuya a la contaminación del medio ambiente. El mismo se implementó en la provincia Holguín en 1997 y es aplicado en todas las áreas cañeras, recomendándose como promedio anual, desde su implantación hasta la fecha, más de 75954 ha cultivadas de caña; por lo que el presente trabajo tiene como objetivo, demostrar la efectividad económica – productiva del SERFE y su influencia en la sostenibilidad ecológica de agroecosistemas cañeros de la provincia Holguín durante el período (1997-2008).

Materiales y métodos

Para el montaje de los lotes controles y determinación de los índices de consumo de fertilizantes, se seleccionaron áreas de la producción de caña en las que se encontraron representados los principales agrupamientos agroproductivos de suelos en la provincia, como Vertisuelos, Gleyzados Sialitizados y Sialitizados Cálcicos, localizados en las Empresas Azucareras Loynaz Hechavarría(LH), López Peña(LP), Nicaragua(N), Cristino Naranjo(CN), Antonio Maceo(AM), Urbano Noris(UN) y Fernando de Dios(FD), que incluyó diversas cepas en ambas zonas climáticas (norte y sur), acorde a la metodología del Manual de Procedimientos. Villegas y otros (2004.).

Se establecieron 42 lotes controles durante el periodo (1997-2008) con 3 tratamientos de 6 surcos cada uno a todo lo largo del campo:

- Tratamiento 1 (Testigo)- sin fertilizar
- Tratamiento 2 (SERFE)- se aplica la recomendación
- Tratamiento 3 (Doble SERFE)- se aplica el doble de lo recomendado

Se emplearon análisis no paramétricos con modelos polinómicos para el caso de los rendimientos e índices de consumo de fertilizantes.

El diseño empleado fue bifactorial completamente al azar con 4 réplicas. El análisis de los resultados se efectuó mediante ANDEVA de clasificación simple, comparaciones de medias y prueba de rangos múltiples de Duncan al 5 % de probabilidad de error, en los casos donde se presentaron diferencias significativas.

Las cosechas del cultivo y análisis económicos se realizaron, según las normas establecidas por el Manual de Procedimientos para cada uno de los tratamientos Villegas y otros (2007.).

Resultados y discusión

En Cuba, tradicionalmente se ha venido utilizando grandes cantidades de fertilizantes con la intención de incrementar o mantener los rendimientos, preservar la fertilidad de los suelos y evitar su agotamiento. Así tenemos que en los últimos años se han usado productos por valor de hasta 75 millones de USD para los fines anteriormente citados y no siempre se han obtenido los resultados esperados, Bouzo y otros (1998). No obstante en el empleo de los fertilizantes deben tenerse en cuenta dos aspectos fundamentales: eficiencia y sostenibilidad, esto es utilizar el tipo y cantidad adecuada de producto que garantice la mayor producción al menor costo posible y que no produzca afectaciones nocivas al medio ambiente. Cuéllar y otros (2003).
Cuellar y otros (2002) y Velarde y otros (2004), señalan que en la década de los 80 y 90,antes de la implementación del SERFE, llegaron a utilizarse 4.12 kilogramos de nitrógeno, fósforo y potasio por tonelada de caña; aspecto este que deterioraba las propiedades químicas de los suelos como salinidad, sodicidad, pH, toxicidad y capacidad de intercambio catiónico y aniónico.
Los índices de consumo de fertilizantes en la provincia con la implementación del SERFE se comportan de la siguiente forma en el periodo evaluado:

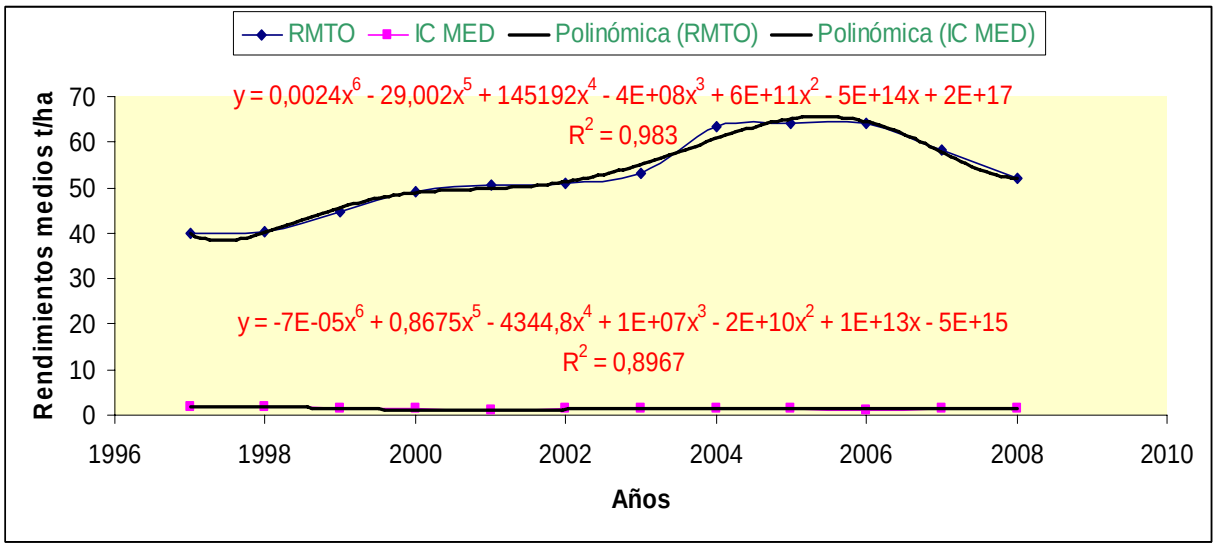


Figura 1. Dinámica de los rendimientos y los índices de consumos del periodo (1997-2008).

En la Fig. 1, se observa que a partir de la implementación del SERFE, el índice de consumo medio se ha estabilizado entre 1 y 1.5 kg. TM de caña^{-1}, mientras los rendimientos en las áreas a fertilizar han tenido valores entre 40 y 65 TM de caña, lo cual representa un significativo avance respecto a lo observado antes de la implementación del servicio. La disminución del índice de consumo de fertilizantes para obtener una tonelada de caña, no solo significa ahorro de portadores, sino un considerable aporte al cuidado del medio ambiente, ya que el peligro de contaminación y deterioro de los suelos disminuye.

Como se puede apreciar en la Fig. 2, la empresa que mejor resultado presenta en el consumo de nutrientes por toneladas de caña producida es Cristino Naranjo, teniendo gran peso en este resultado, las buenas estimaciones por cepa; y un trabajo adecuado en el cálculo del rendimiento esperado de las mismas; en sentido general se observa que el potasio es el elemento que necesita la planta en mayor cuantía, para producir una tonelada de caña de azúcar en la provincia, la que cuenta actualmente con un área de 5812,13 ha con categoría media y baja de K_2O, que limita la obtención de buenos rendimientos productivos, con requerimientos promedios de hasta 1.8 Kg. TM de caña^{-1}, con riesgos debido al papel secundario que se le ha dado al manejo de este macroelemento en la provincia, ya que, por este motivo, 30313.76 ha que hoy se

encuentran en la categoría de alto, podrían pasar a categorías inferiores, afectando severamente los rendimientos, la calidad de los jugos de las cosechas y el medio ambiente, al aumentar el consumo de este portador para corregir los déficit nutricionales, teniendo mayor incidencia en las empresas Nicaragua, López peña y Loynaz Hechavarría, con requerimientos por encima de los dos kilogramos por toneladas de caña producida. Sin embargo, estos valores a pesar de contar el territorio con el 75.73 % del área con limitaciones productivas, están muy por debajo del consumo aplicado en la provincia en años anteriores, cuyas cifras rebasaban los 2.5 kilogramos por tonelada de caña. Para disminuir estos índices es preciso llevar a cabo un conjunto de medidas agrotécnicas y de monitoreo que permitan disminuir los riesgos ambientales y se reviertan en mejoras de las propiedades físico-químicas de estos suelos, para la que se proponen:

1. Fertilizar las áreas de la provincia sobre la base del servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE).
2. Realizar aplicaciones de fósforo y potasio en el fondo del surco antes de la plantación, según áreas recomendadas por el SERFE.
3. Aplicación de fertilizantes órgano-mineral enriquecidos con potasio.
4. Fertilización orgánica con compost a razón de 10t/ha.
5. Aplicación de cachaza de forma localizadas en plantación a razón de 50t/ha.
6. Aplicación de ceniza e incorporada al suelo en la preparación de tierra a razón de 48t/ha.
7. Arrope en las áreas con rendimientos inferiores a 30t/ha
8. Cobertura de paja para las áreas de altos rendimientos.
9. Rotación de cultivo con leguminosas
10. Preparación del suelo con laboreo mínimo para mejorar las propiedades físicas de los suelos y disminuir las perdidas por lixiviación y escurrimiento de la capa vegetal
11. Aplicación de bioestimulantes que mejoren los procesos fotosintéticos y nutritivos de la plantación como Enerplant y Fitomas-E

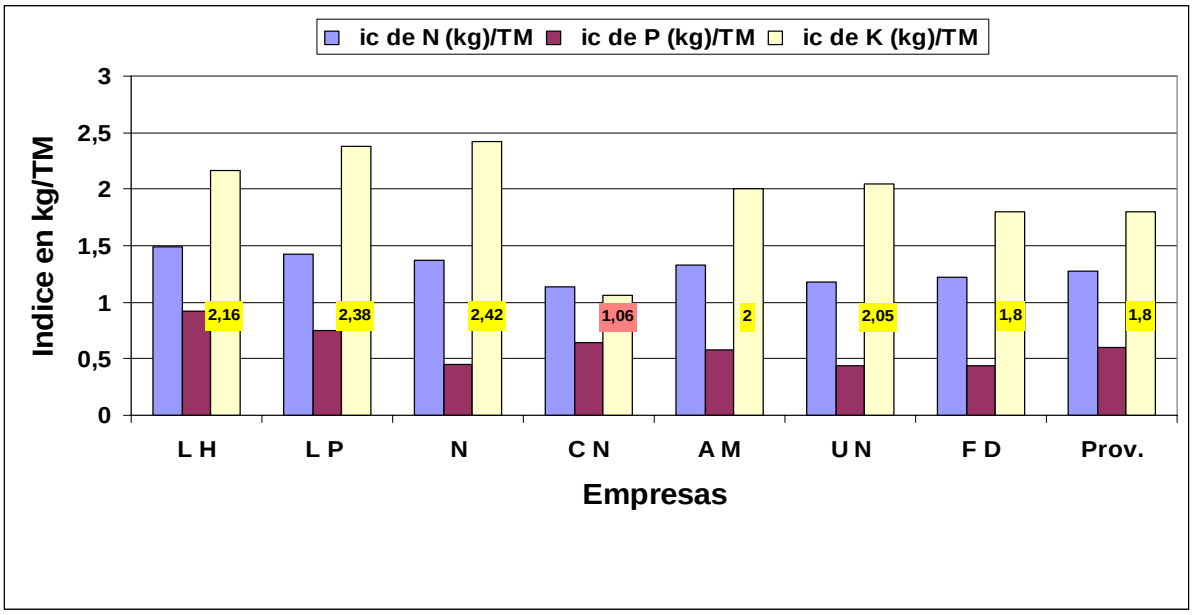


Figura2. Índices de consumos medios del periodo (1997-2008), por categorías de nutrientes.

En las tabla I, se ilustra el comportamiento de la dosis real aplicada, en comparación con las recomendadas en el periodo (1997-2008), destacándose en el cumplimiento con aplicaciones eficientes, las empresas azucareras de Nicaragua, Cristino Naranjo, Antonio Maceo y Fernando de Dios. Mientras aspectos tales

como, envejecimiento de la tecnologías de aplicación de fertilizantes (F-350), mal estado de los fertilizantes por el deterioro de las naves de almacenaje, pago por área aplicada y no por cumplimiento de las dosis recomendadas, así como indisciplinas tecnológicas afectaron el cumplimiento exitoso de las dosis en las empresas Loynaz Hechavarría , López Peña y Urbano Noris.

Tabla I. Comportamiento de la dosis recomendada (SERFE), con respecto a la real aplicada en el periodo (1997-2008).

Empresas	Dosis alcanzada (Kg,/ha)					
	Nitrógeno		Fósforo		Potasio	
	SERFE	Real	SERFE	Real	SERFE	Real
LH	76,77	65,34	47,52	42,50	95,54	86,32
LP	76,25	67,91	38,43	36,79	116,21	103,23
N	77,12	70,71	25,23	24,61	123,63	123,31
CN	80,92	80,62	46,45	45,60	109,42	107,31
AM	73,81	73,95	33,07	31,99	109,84	103,89
UN	75,05	71,13	31,31	30,67	107,79	96,25
FD	91,01	91,32	33,29	32,23	166,53	166,37
P.Holguín	**78,15**	**75,10**	**36,67**	**32,95**	**119,44**	**117,08**

Durante el periodo evaluado las precipitaciones caídas clasifican en los términos de bajas (con valores comprendidos entre 600-1175mm), según categoría obtenidas a partir de la ecuación que se emplea en el modelo de evaluación por Más y Ledya Benítez (2001). La distribución resultó irregular, con baja frecuencia en el gran periodo de crecimiento del cultivo, lo que limitó los resultados productivos, que están por debajo con respecto a los que se obtendrían con precipitaciones superiores 1400mm y una distribución homogénea durante todo su ciclo. (Fig. 3).

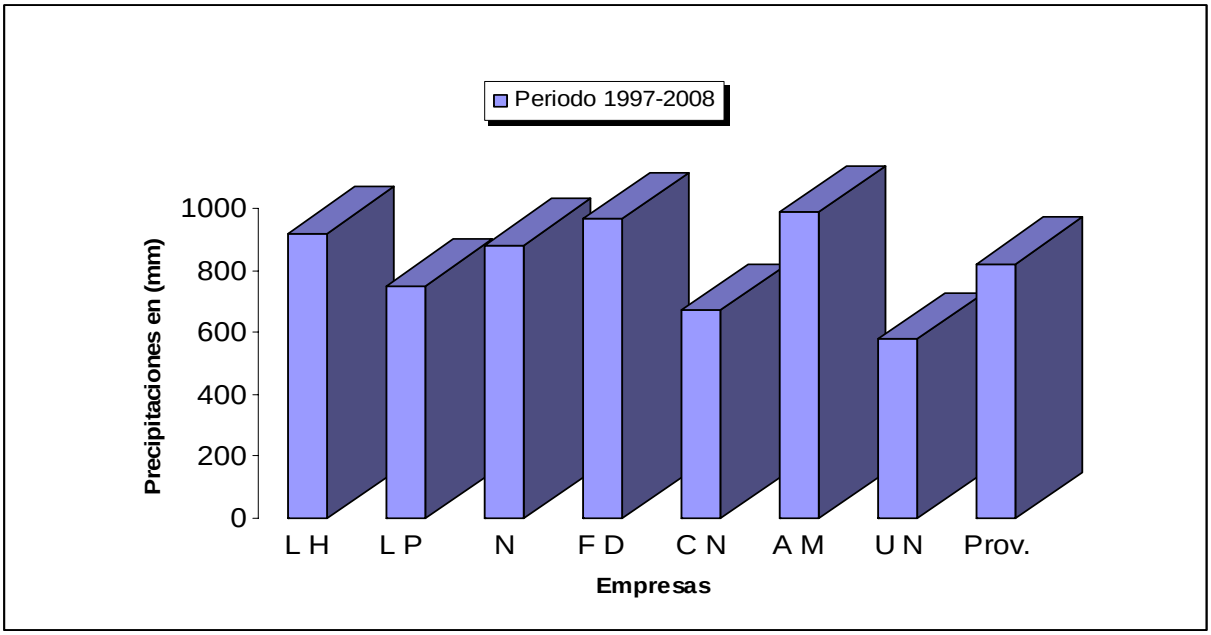


Figura 3. Precipitaciones promedios del periodo (1997-2008).

Tanto el tratamiento recomendado por el SERFE, como la dosis doble, superaron al testigo sin tratar, no existiendo diferencias cuantitativas de consideración en cuanto a los tratados con fertilizantes en dosis sencillas y dobles, demostrando que, aplicar al suelo volúmenes crecientes de un elemento fertilizante, a aumentos constantes, corresponden aumentos cada vez menores del rendimiento a medida que la cosecha se acerca a su máximo. Arzola y otros (1981.), por lo que aplicaciones superiores a las recomendadas por el SERFE generan gastos de fertilizantes que no se revierten en incremento del rendimiento y si ocasionan daños al medio ambiente y al suelo, deteriorando la fertilidad del mismo y sus propiedades físico – químicas. Fig. 4.

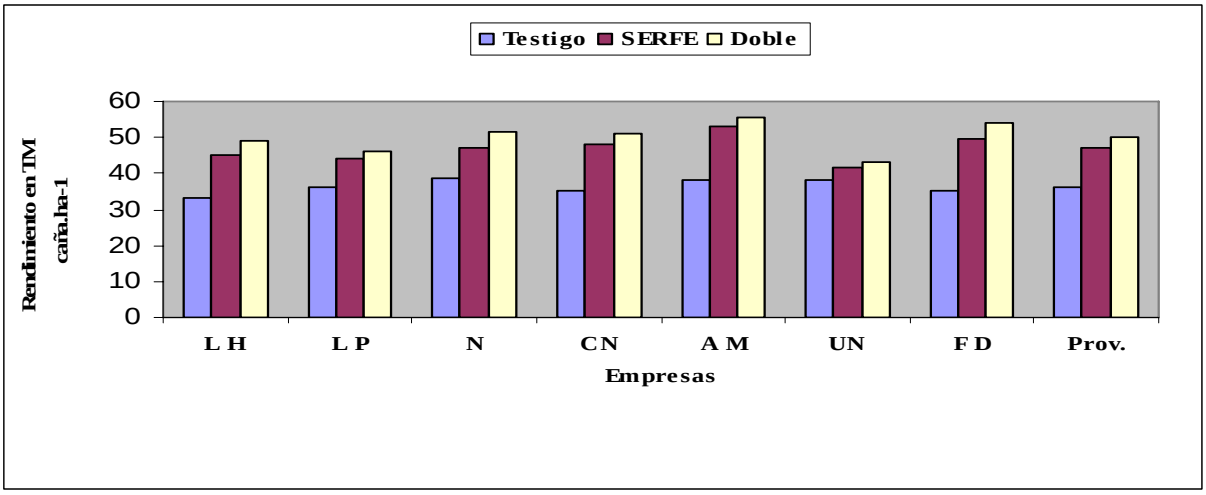


Figura 4.Comportamiento del resultado de las cosechas en el Periodo (1997-2008).

Al evaluar los rendimientos promedios de las cosechas (Fig.5), se pudo observar que en la empresa Antonio Maceo fueron significativamente superiores a los de las empresas Urbano Noris, López Peña y Loynaz Hechavarría, motivado fundamentalmente a un mejor comportamiento de las precipitaciones durante el periodo en esta localidad. La empresa Cristino Naranjo mantuvo un comportamiento medio, sin diferencias significativas con el resto de las empresas, a pesar de estar muy deprimida sus precipitaciones, gracias a un correcto manejo de los índices de consumos de fertilizantes.

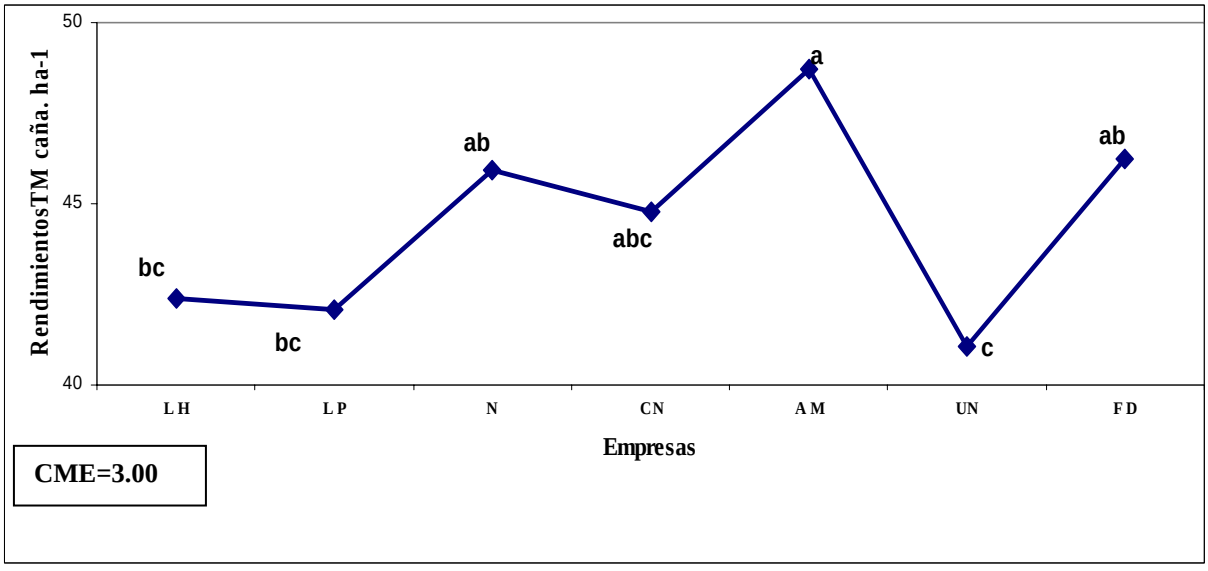


Figura 5. Resultado promedio de las cosechas de los lotes control del periodo (1997-2008).

Las aplicaciones realizadas por el SERFE, generó una ganancia por hectárea de $105.52, mientras que el empleo del doble de las dosis, causaron pérdidas de $ 12.83, empleando solo $ 0.45 en el tratamiento del SERFE, para producir un peso adicional, mientras que el doble SERFE requiere $1.18. (Anexo).

Conclusiones

1. El potasio es el elemento limitativo en la obtención de buenos rendimientos productivos en la provincia Holguín, con requerimientos promedios de 1.8 kg por toneladas de caña, teniendo mayor incidencia en las empresas Nicaragua, López Peña y Loynaz Hechavarría con requerimientos por encima de los dos kilogramos por hectárea.
2. Se propone un paquete de manejo agronómico que incide positivamente en la disminución del empleo de fertilizantes químicos, así como en el mejoramiento de las propiedades físico-químicas de los mismos, disminuyendo los riesgos de acidé, toxicidad y la contaminación ambiental.
3. Se redujeron los índices de consumo de fertilizantes con la aplicación del SERFE en la provincia a valores por debajo de 2.0 kg.TM de caña^{-1} producida, mejorando las propiedades químicas de los suelos y disminuyendo los riesgos de contaminación ambiental.
4. El deterioro de las tecnologías de aplicación (F-350), así como deficiente gestión técnico-organizativa, influyeron negativamente en el cumplimiento exitoso de las dosis recomendadas por el SERFE, en las empresas azucareras Loynaz Hechavarría, López peña y Urbano Noris.
5. Las Aplicaciones de las dosis recomendadas por el SERFE, generan incrementos adicionales respecto al testigo sin tratar de 10.7 t/ha, con ganancias equivalentes a 105.52$/ha, mientras las superiores a las recomendadas no generan incrementos importantes de las ganancias, duplicando los costos de aplicación, con una relación costo beneficio de 1.18 $/ha.

Recomendaciones

Evitar aplicaciones de fertilizantes superiores a las recomendadas por el SERFE, debido al incremento de los costos de producción y a su efecto nocivo sobre el suelo y el medio ambiente.

Bibliografía

Arzola, N.; Fundora, O. & J. Machado. 1981. Suelo, planta y abonado. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana. 89p.

Bouzo, A, Libia & Manuel L.B. 1998. La fertilización como una inversión económica. Curso I. La Habana. Ediciones INICA. 32p.

Cobo, Yaquelin. 2008. Comportamiento de las propiedades químicas de un Vertisuelo cultivado con caña de azúcar. Holguín. EPICA Holguín. (Material mecanografiado), 4 h.

Cuéllar, I.A. Villegas, R. De León, M. & Pérez, H. 2002. Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba. Editorial PUBLINICA. 62- 56p.

Cuellar, I.A., De León, M.E. Gómez, A. Dolores Piñón, Villegas, R. & Santana, I. 2003. Caña de Azúcar. Paradigma de Sostenibilidad. Publinica. MINREX. 169 p.

Más, R & Ledya Benítez. 2001. Elementos Básicos de Evaluación de Tierras. Editorial PUBLINICA. 19p.

Pérez, H. Arzola, N. Ledya Benítez.2008. Curso para técnicos, Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE) Editorial PUBLINICA. 49p.

Velarde,E. De León, M.E. Cuéllar I.A & Villegas, R. 2004. Producción y Aplicación de Compost. La Habana. MINREX. 10-1p.
Villegas, R. De León, M.E. Campos, J. Fernández, A. Menéndez, A. Cabrera, A & Pérez, M. 2004. Manual de Procedimiento del SERFE 2004. Editorial PUBLINICA. 44p.
Villegas, R. De León, M.E. Campos, J. Fernández, A. Menéndez, A. Cabrera, A & Pérez, M. 2007. Manual de Procedimiento del SERFE 2007. Editorial PUBLINICA. 44p.

Anexo: Valoración Económica.

Tratamiento	Dosis Real (Kg./ha)	Rmto (t/ha.)	Rmto Adicional (t/ha.)	Rmto Adicional ($/ha)	Costo Adicional				Ganancia o Pérdida Adicional ($/ha)	Costo benef. ($)
					Fertiliza ($/ha)	Aplica ($/ha)	Cosech. ($/ha)	Total ($/ha)		
Sin Fertilizar		36.30								
Dosis Recomendada	50N 25P	47.00	10.7	234.45	47.95	13.15	67.83	128.93	105.52	0.45
Doble Dosis	100 N 50 P	50.10	3.10	67.92	47.95	13.15	19.65	80.75	-12.83	1.18

CONTROL DE HONGOS FITOPATÓGENOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR CON METABOLITOS BIOACTIVOS DE PSEUDOMONAS FLUORESCENTES

Villa P[1], Alfonso I[2], Rivero M[2], Torres E[1], Gonzalez G[1].

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la Caña de azúcar (ICIDCA).
Vía Blanca # 804 y C. Central SMP. Ciudad Habana. E mail: pilar.villa@icidca.edu.cu
2. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA).

Resumen

En Cuba se reporta un número importante de microorganismos patógenos que afectan la caña de azúcar provocando pérdidas económicas, lo que hace necesario su control por diferentes métodos, entre ellos la desinfección. En este trabajo se presenta la evaluación de los metabolitos bioactivos presentes en el producto biológico Gluticid en el control de diferentes hongos fitopatógenos que afectan esta gramínea. Con el empleo de los metabolitos en la desinfección de las semillas agámicas y botánicas en condiciones controladas se observó que éstos disminuyen la presencia de diferentes hongos fitopatógenos entre el 50 y el 98% fundamentalmente los géneros *Bipolaris spicifera, Curvularia senegalensis, Exserohilum rotatrum, y Fusarium, entre otros,* por lo que su empleo en la desinfección de las semillas botánicas y agámicas resulta una buena alternativa. El empleo de este bioproducto protege la semilla de los patógenos del suelo , disminuyendo el uso de los productos químicos empleados con estos fines, como el bromuro de metilo, al eliminar los hongos contaminantes que afectan las semillas y como consecuencia a los Programas de Mejoramiento Genético (PMG) de la caña de azúcar, contribuye a la protección del ecosistema, además resulta una novedad en este campo, puesto que a nivel mundial, el biocontrol en caña de azúcar aun está incipiente, lo que resultará de gran impacto en las esferas fitosanitaria y medio ambiental con significativa reducción en los gastos en productos químicos.

Palabras clave: control biológico, caña de azúcar, hongos fitopatógenos

Abstract

In Cuba an important number of pathogens microorganisms are reported that affect the cane of sugar, causing economic losses, its control for different methods that makes necessary, among them the disinfection. In this work is presented the evaluation of the bioactive metabolites in the biological product Gluticid in the control of different phytopathogens fungus that affect this gramineous. With the employment of the metabolites in the disinfection of the seeds agamic and botanical under controlled conditions it was observed that these diminish the presence of different phytopathogens fungus fundamentally between the 50 and 98% the *Bipolaris spicifera, Curvularia senegalensis, Exserohilum rotatrum, and Fusarium,* among other, for what its employment in the disinfection of the botanical seeds and agámic a good alternative. The employment of this bioproduct protects the seed of the pathogens of the soil, diminishing the use of the chemical products employees with these ends, as the methyl bromide, when eliminating the fungus contaminants that affect the seeds and consequence to the Programs of Genetic Improvement (PMG) of the cane of sugar, it contributes to the protection of the ecosystem, it is also a novelty in this field, since at world

level, the biocontrol in cane of sugar is even incipient, what will be of great impact in the spheres phytosanitary, and half environmental with significant reduction in the expenses in chemical products.

Key words: biological control, cane of sugar, phytopathogens fungus

Introducción

Actualmente a nivel mundial se acrecientan cada vez más las regulaciones y las restricciones en el uso de un gran número de plaguicidas agroquímicos por el efecto negativo que producen al medio ambiente y al hombre, por lo que se hace necesario buscar nuevas alternativas como es el empleo de microorganismos benéficos en el control de patógenos en cultivos de importancia económica. (Bustamante, y otros 2004, Pérez N, 2004).

Entre las investigaciones realizadas en el campo de la Biotecnología, para disminuir el uso de agroquímicos se encuentra el desarrollo de productos biológicos conteniendo microorganismos o sus metabolitos para el control fitosanitario de plagas y enfermedades, por lo que en Cuba se hacen diferentes trabajos encaminados a obtener productos para este fin, entre los que se encuentran los realizados en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) para el desarrollo del producto Gluticid, constituido por metabolitos bioactivos de *Pseudomonas* fluorescentes el cual es efectivo en el control de diferentes hongos fitopatógenos que provocan enfermedades en diferentes cultivos. (Villa y otros, 2000)

Con vistas a introducir el biocontrol como una alternativa promisoria para disminuir los hongos fitopatógenos que atacan la caña de azúcar en el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) se realiza la evaluación de diferentes productos entre los que se encuentra el producto Gluticid constituido por metabolitos bioactivos de *Pseudomonas aeruginosa* cepa PSS frente a diferentes especies de hongos de alta frecuencia de aparición en la micobiota patógena de la semilla botánica de la caña de azúcar, una de las más afectadas por estos microorganismos, los cuales producen perdidas que oscilan entre 10 y un 15% y su control mediante productos químicos resulta de alto valor económico. (Alfonso y otros, 2004, Alfonso y Villa, 2002, Mena y otros, 1995, Fernández y otros, 1989).

En el presente trabajo se presentan .los resultados de la evaluación de este producto biológico conteniendo metabolitos antimicrobianos y sideróforos de *Pseudomonas aeruginosas* PSS sobre diferentes géneros de hongos fitopatógenos presentes en la semilla botánica de la caña de azúcar, con vistas a disminuir el uso de plaguicidas químicos y aumentar la protección al ambiente.

Materiales y Métodos.

Obtención de los metabolitos bioactivos:

Se realizó mediante fermentación Batch en un fermentador Marubishi de 500 Litros con la cepa de Pseudomonas aeruginosas PSS de la Colección de microorganismos ICIDCA, la cual fue crecida en un medio de cultivo durante 28 horas, después de concluida la fermentación se separa la biomasa mediante centrifugación por una centrífuga Sharpless AS-26 (18,000 gravedades). Seguidamente se procedió a la evaporación del efluente mediante un equipo hidráulico de película de calandria interna y finalmente el concentrado fue secado en un secador de spray de planta piloto empleando como soporte inerte sulfato de amonio al 20% (Villa y otros 2002). El medio de cultivo y los parámetros de producción constituyen patente cubana, certificada con el No 22805 según la Resolución No 1079/2002. (Villa y otros, 2002)

Efecto del producto biológico
Evaluación in Vitro

La capacidad biocontroladora del producto biológico (Gluticid) se estudió sobre los géneros: *Curvularia y Bipolaris spicifera* de la colección de cultivo del INICA .Para ello, se sembraron discos de 5 mm de diámetro, de cada uno de los hongos, en 4 placas Petri de 90 X 15 mm, conteniendo medio PDA, las cuales fueron empleadas como testigo. Siguiendo el mismo procedimiento, se sembró igual número en el medio de cultivo conteniendo diferentes concentraciones del producto (50, 125 y 250 mgL^{-1}**)**.. Las placas se incubaron a 28 ± 2ºC de temperatura. El crecimiento micelial se midió cada tres días, hasta que el testigo cubrió totalmente las placas.

Evaluación en condiciones controladas
Una de las semillas más afectadas de la caña de azúcar por hongos fitopatógenos es la botánica, por lo que se realizaron los estudios con esta para lo cual se emplearon 7 cruces procedentes del Centro de Hibridación de Sancti Spiritus C 86-50 x Pc, C 87-51 x B 45181, C 428-88 x Pc, C 1033-88 x Ja 64-19, CP48-103 x My54129, CP65-357 x B 45181 y My5764 x, de cada uno de ellos se utilizaron 2 g de semilla botánica..

Durante 3 minutos se realizó la inmersión de la mitad de las semillas en la suspensión del producto biológico Gluticid conteniendo los metabolitos bioactivos a una concentración de 200 mgL^{-1} y las restantes fueron tratadas con agua destilada estéril y se emplearon como testigo para determinar la micoflora asociada.
En cámara húmeda, se realizaron siembras de cada cruce colocando 24 semillas de forma equidistante en las placas placa petri de 150 x 125 mm con el fondo cubierto por 4 capas de papel de filtro humedecido con agua destilada y estéril. Se sellaron las placas con parafilm y se incubaron a temperatura de 25±2ºC en régimen de 12 horas luz y 12 horas de oscuridad según la **Norma y Procedimiento del Programa de Fitomejoramiento del INICA** (2002). Las observaciones microscópicas se realizaron a partir del séptimo día, anotando la aparición de los hongos. El porcentaje de germinación de los cruces osciló alrededor del 30%.

Resultados y Discusión

El producto biológico Gluticid presenta las siguientes características: polvo grisáceo fino, soluble en agua que contiene metabolitos bioactivos sideróforos Pioverdin (Díaz de Villegas, 1999), monoacetilflorglucinol (Frías y otros 2006), enzimas proteoliticas , pH 5,4 un peso seco entre 93-95 % , y según las pruebas toxicológicas realizadas (CEMPALAB, 2000,2000) no es irritante a la piel ni a los ojos, no se debe de ingerir.

En los ensayos in Vitro para evaluar el producto biológico Gluticid a las concentraciones de 50, 125 y 250 ppm (mgL^{-1}) se observó una inhibición total del crecimiento micelial de la cepa del género *Bipolaris spicifera* en comparación al testigo hasta los 30 días como se aprecia en la figura 1, lo que indica que los metabolitos bioactivos en las diferentes concentraciones ensayadas presentan acción antifúngica frente a esta especie, lo cual resulta promisorio para el control de este hongo muy frecuente sobre semillas de muchas plantas de importancia económica, como la caña de azúcar (Alfonso y otros 2004, López y otros , 1998)

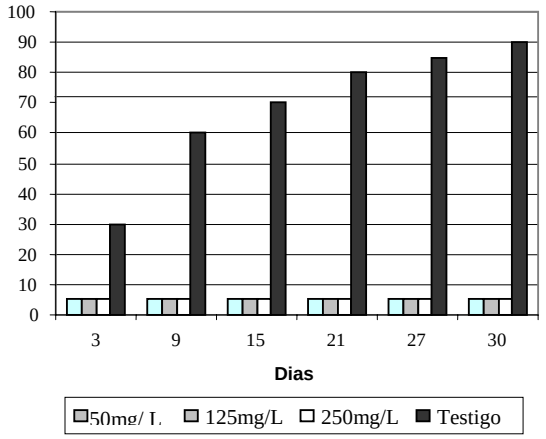


Figura 1: Efectividad de los metabolitos bioactivos del Gluticid en la inhibición del crecimiento micelial de B. *spicifera*.

El producto biológico, a la concentración de 250 $mgL^{'1}$ tuvo una efectividad del 100 % frente a *Curvularia* . *trifolii* durante los 30 días que duró el ensayo, sin embargo a las concentraciones de 50 $mgL^{'1}$ y 125 $mgL^{'1}$ fue drástica hasta los 9 días, a partir de los cuales se produjo una disminución micelial entre el 85 y 90, esta inhibición del crecimiento micelial de este hongo resulta de gran importancia para el control del mismo, ya que dicho hongo afecta las plántulas de este cultivo, además que presenta una amplia distribución mundial, al estar asociado a patologías de las semillas de Oriza sativa, Pennisetum glaucum, Sorghum vulgare y como agente causal de manchas foliares en Vetiveria zizanoides (Mena y Fernández, 1993).

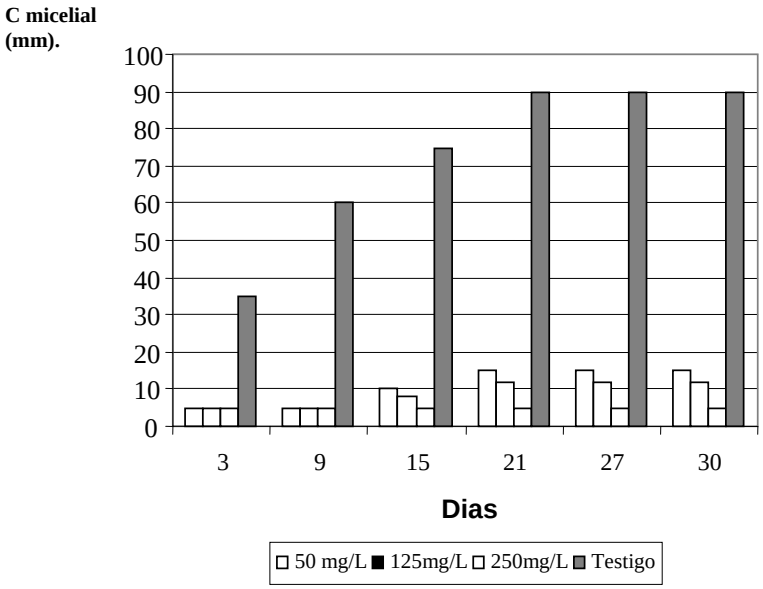


Figura 2 Efectividad de los metabolitos de *Pseudomonas aeruginosa* cepa PSS en el crecimiento micelial de Curvularia trifolii

La efectividad del producto de *Gluticid* en la disminución del tamaño del micelio de los hongos estudiados, coinciden con los obtenidos por Utra.. (1993) , Stefanova y otros (1995), Villa y otros (1999) al emplearlo contra patógenos fúngicos como *Alternaria solani, Sclerotium rolfsii, Phytopthora infestan,* donde se observó la inhibición del crecimiento micelial entre el 80 y el 100%.

Los resultados de los ensayos in Vitro permitieron establecer la dosis de aplicación del producto en condiciones controladas y de campo.

Evaluación en condiciones controladas

Para evaluar la efectividad del producto Gluticid en la desinfección de la semilla botánica de la caña de azúcar se realizó en diferentes cruces del Centro de Hibridación de Sancti Spiritus (C 86-50 x Pc, C 87-51 x B 45181, C 428-88 x Pc, C 1033-88 x Ja 64-19, CP48-103 x My54129, CP65-357 x B 45181 y My5764 x, d,) se realizó primero la detección de la micobiota presente en cada cruce antes de aplicar el producto, biológico, como resultado se observó la presencia de diferentes géneros de hongos, entre los que se encuentran *Bipolaris, Exserohilum, Curvulari*a, *Fusarium* y *Trichoderma* como los de mayor frecuencia de aparición en los cruces estudiados.(Tabla I).

Tabla I Géneros de hongos mayor frecuencia de aparición en los diferentes cruces de semilla botánica de la caña de azúcar.

Semilla botánica ***Cruce***	**Géneros más frecuentes**
C 86-50 x Pc	***Fusarium incarnatum*** ***Bipolaris spicifera***
C 87-51 x B 45181	**Fusarium spp** ***Bipolaris spicifera*** ***Trichoderma harzianum***
C 428-88 x Pc	***Curvularia spp*** ***Trichoderma harzianum***
C 1033-88 x Ja 64-19	***Trichoderma sp***
CP48-103 x My54d129	***Curvularia spp*** ***Bipolaris spicifera***
CP65-357 x B 45181	***Curvularia gudauskasii*** ***Bipolaris spicifera*** ***Fusarium sp***
My5764 x My5776	*Aspergillus versicolor* *Exserohilum rostratum*

Se realizó la desinfección de las semillas y se detectó la micobiota presente, en las semillas desinfectadas y en el testigo, como se observa en la Tabla II la efectividad del producto es similar a la obtenida en los ensayos in vitro al disminuir fundamentalmente los géneros *Bipolares spicifera, Curvularia senegalensis Exserohilum rostratum*, entre el 22 y 90 %, resulados similares fueron obtenidos por Alfonso en el 2004 donde demostró la capacidad biocontroladora in Vitro y en condiciones controladas del Gluticid, frente a diferentes especies de hongos de alta frecuencia de aparición en la micobiota patógena de la semilla botánica de la caña de azúcar lo que indica que los metabolitos bioactivos presentes en el Gluticid inhiben el crecimiento de dichos hongos, que permite la utilización del mismo para controlarlos, como se aprecia en la Figura 3

Tabla II. Efectividad del Gluticid frente a diferentes especies de los géneros *Curvularia, Exserohilum* y *Bipolaris* aislados de semilla botánica.

Semilla botánica **Combinaciones**	**Hongos patógenos Aislados**	**Gluticid % inhibición**
C 86-50 x Pc	*1. Bipolaris spicifera*	75
C 87-51 x B 45181	*2. B. spicifera*	44
C 428-88 x Pc	*3. C. senegalensis*	75
CP48-103 My54129	*4. C. senegalensis*	57
	5. B. spicifera	40
CP65-357 x B45181	*6. C. gudauskasdi*	87
	7. B. spicifera	58
My5764 x My5776	*8. E. rostratum*	22

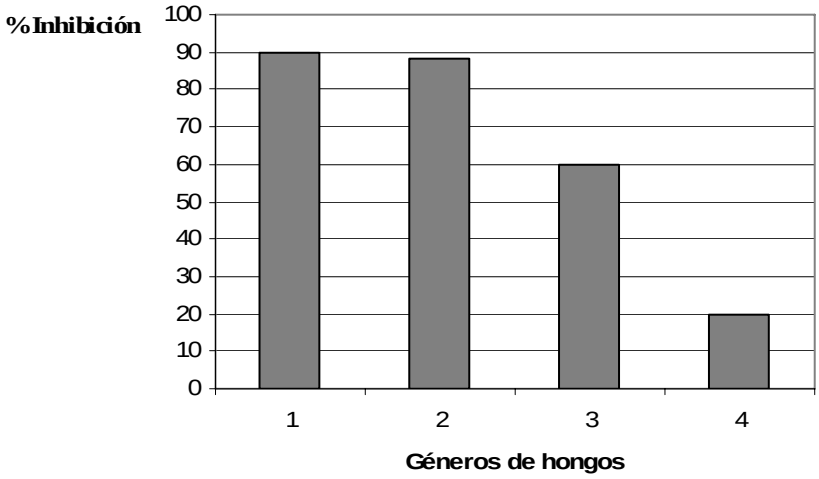


Figura 3. % de Inhibición de los hongos patógenos *aislado de los diferentes cruces de semilla botánica de la caña de azúcar en condiciones controladas* frente al bioproducto Gluticid
Leyenda: (hongos)
1. Bipolaris spicifera, 2. C. senegalensis, 3. C. . gudauskasii, 4. E. rostratum

De acuerdo a los resultados los metabolitos bioactivos de Pseudomonas aeruginosa cepa PSS contenidos en el biofungicida Gluticid , presentan grandes potencialidades para el control biológico **de los hongos presentes en la semilla botánica de la caña de azúcar en los bancos de hibridización, lo cual permite contar con un producto cubano inocuo al medio ambiente con grandes beneficios en la protección de las semillas.** lo que corrobora lo planteado desde la década de los 80 por diferentes autores que aseguran que entre los microorganismos con propiedades promisorias en el biocontrol de enfermedades en diferentes cultivos como trigo, maíz, hortalizas, y plantas ornamentales se encuentran varias especies de *Pseudomonas spp*., que producen metabolitos capaces de controlar hongos fitopatógenos (Stefanova, 2006, Villa y otros, 2005, Slininger y otros , 2003, De Souza, y otros 2003, Stefanova y otros, 2001, Nielsen y otros 1998, Weller y Thomashov, 1993, Keel y otros, 1990, 1992 y 1996;)

La disminución tan efectiva de los hongos contaminantes en la semilla botánica en condiciones controladas con el producto Gluticid, resulta novedosa al aplicarse por primera vez en Cuba el control biológico con metabolitos del tipo Pioverdin, ácido salicílico y antimicrobianos de *Pseudomonas aeruginosas PSS* en caña de azúcar **lo q*ue b***rinda una alternativa importante en el control de las enfermedades producidas por hongos.

Conclusiones

Los metabolitos bioactivos presentes en el Gluticid son efectivos en el control de los hongos fitopatógenos *Bipolaris spicifera, Curvularia senegalensis Exserohilum rostratum*, entre el 22 y 90 %, géneros más frecuentes aislados en semilla botánica de la caña de azúcar.

El bioproducto Gluticid puede ser empleado en el control de hongos fitopatógenos de la caña de azúcar.

Recomendaciones

Evaluar el producto biológico Gluticid conteniendo metabolitos bioactivos de *Pseudomonas aeruginosas PSS* en el control de los hongos fitopatógenos de la caña de azúcar.

Referencias Bibliográficas

- Alfonso I, Rivero M.J, Villa P (2004) . Informe final del Proyecto Nacional CITMA. 90 p.
- **A**lfonso I, Villa P (2002) Memorias de Diversificación 2002 Tomo III pag 551-555
- Bustamante E.P. Rivas G Gamboa A. (2004) *http://web.catie.ac.cr/informacion/RMIP*/rmip56/art1-b.htm
- CEMPALAB, (2000) Código:IOGLO300 Centro de Toxicología Experimental CETEX, Centtro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio, Habana Cuba
- CEMPALAB, (2000) Código: ADGL0400 . Centro de Toxicología Experimental CETEX, Centtro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio, Habana Cuba
- De Souza, J.T.; Weller, D.M. y Raaijmakers, J.(2003). Phytopathology. Vol. 93 No. 1.
- Díaz de Villegas M.E. (1999) Producción y purificación de sideroforos a partir de Pseudomonas sp PSS Tesis para optar por el grado de Maestro en Microbiología Universidad de La Habana
- Fernández, L.; V. Suárez; R. Castañeda; S. Rodríguez y N. de la Rosa (1989).. IV Jornada Científica del INICA. Tomo I. p. 72.
- Frias, A.; Mesa, J.A.; Tacoronte, J.E.; Villa, P.; Torres, E. (2006) Memorias XXVII Congreso Latinoamericano de Química y VI Congreso Internacional de Química e Ingeniería Química ISBN 959-282-27-Xp.373
- Keel, C., Weller, D. M., Natsch A., Défago, G., Cook, R. J., and Thomashow, L. S., (1996). Appl. Environ Microbiol. 62 p .552-563.
- Keel, C., Wirtner, P., Oberhansli, T., Volsard, C., Burger, D., Haas, D., Défago O. (1990) Can. J. Microbiol., (2)24-30 pp.
- Keel, C.; Schinider, U.; Maurhofer, M.; Voisard, C. and Défago, G. (1992).. Molec. Plant-Microbe Interact. 5:4-13.
- López, M. O.; I. Sandoval y J. Mena (1998). Manual para la identificación de los hongos fitopatógenos de la caña de azúcar en Cuba. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, La Habana, Cuba. 75 pp.
- Mena, J. y L. Fernández (1993). N. Rev. Iber. Micol. 10: 2-4.

- Nielsen N. M., Sorensen, Fels J. Pendersen H.C. (1998) Applied and environmental microbiology, Vol 64, No 10, p. 3563-3569.
- Normas y Procedimiento del Programa de Fitomejoramiento del INICA (2002)
- Pérez C. N (1994). Manejo Ecológico de plagas. CEDAR, Universidad Agraria de La Habana, San José, La Habana, Cuba.ISBN:959-46-0833. 1ra Edición p.127-154,.
- Slininger P, Behle R W., Jackson M. A., Schisler D, A. (2003) Discovery and development of biological agents to control crop pests Neotropical Entomology ISSN 1519566X v.32 n.2
- Stefanova M, Villa P, Almendró J, (2001) Segundo Concurso Latinoamericano en Innovación de tecnologías ecológicas para el agro RAPAL, Perú, Agosto del 2001
- Stefanova, M. (2006).D. Memorias Taller Latinoamericano de Biocontrol de Fitopatógenos con *Trichoderma* y otros antagonistas, INISAV, Ciudad Habana, 17-18 p.
- Stefanova, M.; B. Muiño; M. Espino y H. Pérez (1995). Biotecnología Habana 95. Avances en la Biotecnología Moderna, 3: 41.
- Utra, E. (1993): Efecto antagónico "in vitro" de cepas de *Pseudomonas* spp. sobre hongos y bacterias fitopatógenos. Trabajo de Diploma. Universidad de La Habana, 45pp.
- Villa P, (1999) Producción de metabolitos a partir de Pseudomonas fluorescentes para su uso en el control biológico de hongos fitopatógenos. Tesis para optar por el titulo de Maestro en Microbiología. Universidad de La Habana
- Villa P, Díaz de Villegas M.E Stefanova M (2000) Anales Cientificos XX RELAR, Arequipa Peru p293-301. Tercer Lugar en el Concurso XX RELAR.
- Villa P, Díaz de Villegas M.E, Stefanova M, Michelena G, Frias A, Rodríguez, J, Gutiérrez I, (2002) Patente cubana, certificada con el No 22805 según la Resolución No 1079/2002.
- Villa P. Díaz de Villegas M.E, Stefanova M. (1999) Informe presentado al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) Cuba. Programa de Biotecnología agrícola.
- Villa, P, Frías A, Gonzalez G(2005) Rev. ICIDCA Volumen 39 No3 p 41-45
- Weller, D. M.; Thomashov. L. S. (1993). Pest Management; Biologically Based Technologics Proccedings of Beltsville Symposium XVIII. Belsville, Md, May 2-6, 1993. R. D. Lumsden and Vaughn eds. American Chem. Soc., Washington, D. C. pp 173-180.

CARACTERIZACIÓN EDAFOCLIMATICA DE LA ZONA SUR DEL CAI AMANCIO RODRÍGUEZ

Ramón González Rivero [1], Yuniesky Torres Cruz [1], Nilva Osorio [1], Lorenzo Rodríguez [1], Enivis Reyes [1], Ernesto Fonseca [1], Damián Fernández [1], Victor Martínez[1], Sergio Castro[1], Andrey Charnet [1], Mauricio Cruz[1].

[1] Estación provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Las Tunas.
E-mail director@epica.lt.minaz.cu y pimalt@epica.lt.minaz.cu

Resumen

Se realizó un estudio sobre las características edafoclimáticas de la zona sur del CAI Amancio Rodríguez, los elementos climáticos que se tienen en cuenta son: Evaporación, precipitaciones, temperaturas mínimas medias, máximas medias y temperaturas medias, humedad relativa, velocidad y dirección de los vientos, así como la evapotranspiración de referencia calculada por métodos de la FAO (software Cropwat 4 Windows 4.3) y la evapotranspiración potencial de la caña de azúcar en dos épocas de plantación (primavera del año y frío), estableciendo el balance hídrico para el cultivo, además se tienen en cuenta los diferentes tipos de suelos y sus características. Como resultados principales se obtiene que el período lluvioso abarca desde mayo hasta octubre (82% de las lluvias caídas), el mes mas caluroso es agosto con 33.22 C^o de temperatura máxima y el mas frío enero con 15.6 C^o, la humedad relativa más baja aparece en el mes de abril con 76.6 % y la más alta en octubre con 86,3%, la evaporación promedio asciende a 5.76 mm/días para un total de 2024.8 mm/año y una evapotranspiración de referencia (ETo) de 1471.18 mm/año lo que origina un déficit hídrico en la zona de 441.32 mm /año ;el consumo de agua de la caña de azúcar es de 1455.45 mm en primavera del año y 1454.46 en frío con un déficit hídrico de 425.58 Y 424.60 mm/ año respectivamente. En la zona objeto de estudio se encuentran 8 tipos de suelos.

Palabras clave: Características edafoclimáticas, Evapotranspiración de referencia, Caña de azúcar.

Summary

Was carried out a study on the edafoclimátics characteristic of the south area of the CAI Amancio Rodríguez, the climatic elements that are kept in mind are: Evaporation, precipitations, temperatures minimum stockings, maxims stockings and temperatures stockings, relative humidity, speed and address of the winds, as well as the reference evapotranspiration calculated by methods of the FAO (software cropwat 4 Windows 4.3) and the potential evapotranspiration of the sugar cane in two plantation times (spring of the year and cold), establishing the balance hídric for the cultivation, they are also kept in mind the different types of floors and their characteristics. As main results it is obtained that the period rainy sandal from May until October (82% of the fallen rains), the month but hot it is August with 33.22 Co of maximum temperature and the but cold January .with 15.6 Co, the relative humidity but it lowers he/she appears in the month of April with 76.6% and the but high in October with 86,3%, the evaporation average ascends to 5.76 mm/días for a total of 2024.8 mm/año and a reference evapotranspiración (ETo) of 1471.18 mm/año what originates a lack of humidity in the area of 441.32 mm / year; the consumption of water of the cane of sugar

is of 1455.45 mm in spring of the year and 1454.46 in cold with a deficit hídrico of 425.58 AND 424.60 mm / year respectively. In the area study object they are 8 types of floors.

Key words: Key words: Edafoclimátics characteristic, Reference evapotranspiratión, Sugar cane.

Introducción

Cuba es un país eminentemente agrícola y por mucho tiempo lo seguirá siendo, el problema de la producción de alimentos para una población cada vez mayor y más creciente solo se podrá resolver mediante una agricultura basada en principios científicos, esto puede traducirse en términos más actuales en agricultura basada en principios de sostenibilidad (Ponce *et al.*, 1991).

El buen desarrollo de las plantas está asociado a un adecuado equilibrio entre los requerimientos que éstas poseen y las condiciones que su entorno edafoclimático puede ofrecerles. En tanto el rango de las propiedades del suelo y clima de un lugar determinado se aparte de las condiciones límites, un mayor número de especies se adapta o podrá ser adaptado para crecer y desarrollarse.

La caña de azúcar tiene a nivel mundial una gran importancia económica y social, para Cuba representa el primer renglón exportable y base de la economía, es por ello que se le presta una atención esmerada al desarrollo de este cultivo.

En los últimos años la industria azucarera se ha ido revitalizando, y es de sobra conocido que para obtener buenos rendimientos agrícolas e industriales es indispensable la utilización correcta del riego.

Para lograr un uso eficiente de los sistemas de riego es imprescindible conocer las características edafoclimáticas de cada región, donde se cultiva la caña de azúcar con el objetivo de ubicar las variedades en las condiciones que mayor producción brinden, así como aplicar una agrotecnia a este cultivo según lo requieran las condiciones edafoclimáticas de cada región, los cambios operados por la agricultura cañera actual matizados por las UBPC ha experimentado un interés en los productores por lograr un conocimiento mas preciso de las cualidades de la tierras y de sus unidades como vía para un mejor aprovechamiento de los recursos, este interés se ha visto reflejado en una mayor demanda de estudios integrales sobre el cultivo (Tejeda *et al , 1999).*

El objetivo de este trabajo es caracterizar desde el punto de vista edafoclimático la zona sur del CAI Amancio Rodríguez.

Materiales y métodos

El presente trabajo fue realizado en la zona sur del CAI Amancio Rodríguez, al sur de la provincia las Tunas desarrollando los siguientes pasos:

Delimitación del área de estudio

Se delimitó el área utilizando el catastro especializado 1: 10 000 aportado por el grupo de ordenamiento territorial, seleccionando el macizo sur por tener gran cantidad de materia prima, y por que es la empresa donde están ubicados los nuevos sistemas de riego en la provincia. La zona objeto de estudio esta conformada por 4 UBPC cañeras y un banco de semilla registrada que representan 11484.8 ha aproximadamente.

Recopilación de datos y caracterización climática

Los datos de las precipitaciones caídas se tomaron de los pluviómetros asociados a cada unidad de producción.

La velocidad y dirección de los vientos, humedad relativa, evaporación, insolación (horas luz), temperatura mínima media, temperatura máxima media, y temperatura media fueron tomados de la estación meteorológica provincial.

Para la determinación del balance hídrico del área se utilizan las precipitaciones medidas en los pluviómetros de las unidades de producción y el banco de semilla registrada , serie histórica de 10 años calculando el 75 % de probabilidad de ocurrencia a través del método descrito por (Dorembos y Fruitt, 1975 y Dueñas y otros, 1985). Citado por (Lamelas, 2008).

Se realiza el balance hídrico de la caña de azúcar utilizando el 75 % de probabilidad de precipitaciones y la evapotranspiración potencial del cultivo calculada a través del método bioclimático introduciendo los conceptos de la (FAO, 1985); utilizados en Cuba por (Hernández y col, 1997) y seleccionando 2 fechas de siembra, Enero (Primavera del año) y Noviembre (Frío) (Estrada, 2008).

Recolección de datos y caracterización de los suelos

Los datos de suelos son tomados de la evaluación de suelos realizada en el año 2000 por el INICA (Osorio, et al, 2000).

Resultados y Discusión

Características climáticas de la zona en estudio

Temperatura

Es uno de los factores de gran importancia para el desarrollo de los cultivos. El crecimiento y desarrollo de la planta transcurre normalmente solo dentro de determinados limites de temperatura para cada planta y para cada período de su vida (González, 1998).

La temperatura es un factor climático importante en el ahijamiento, con temperaturas crecientes, este aumenta gradualmente, hasta que llega a un máximo alrededor de los 30 c^{o}. Este factor es de particular importancia en las zonas subtropicales y templadas donde pueden constituir un factor limitante, (Fernández, et al, 1983).

Luz

La luz es una variable climática de marcada importancia para la vida de las plantas, ya que interviene en casi todos los procesos fisiológicos de los mismos. En el caso de la caña de azúcar la planta que crece bajo, con poca iluminación tiene tallos más finos y hojas con tonalidades amarillentas, sufriendo también una disminución del porcentaje de materia seca lo que hace a la planta más suculenta, (Van Dilewijng, 1952).

Además de la intensidad de la luz la duración del día desempeña un papel importante, las plantas que crecen a pleno sol producen más materia seca y tienen menor porcentaje de humedad que otras con luz disminuida, (Fernández y col, 1983).

Viento

Según (Bernal Y Ramírez, 1991), el viento tiene gran importancia en la agricultura, ya que influye sobre la formación de condiciones meteorológicas de la capa de aire adyacente al suelo, las cuales dependen del carácter de las superficies tales como: El microrelieve, la vegetación y el tipo de suelo.

El viento tiene un gran efecto en los procesos de evaporación desde la superficie del suelo, en la transpiración de la planta al mezclar la capa adyacente al suelo, asegurando el transporte de aire saturado por vapor de agua hacia otra zona y la afluencia de aire no saturado hacían el lugar que aquel ocupaba, (Olovarieta, 1933).

Tabla I. Características climáticas Estación de Meteorología provincial las tunas, 10 años de precipitaciones y de los demás elementos climáticos.

MESES	Tmax. Med. (mm)	T.min. Med (mm)	Tmed (mm)	Eva. (mm)	Hr. Med %	Horas luz. (horas)	V.med. Viento. (km/h)	Lluvia 75% (mm)	Lluvia Aprov. (mm)
E	25.27	15.6	20.44	120.2	80.8	6.78	9.1	25,94	34,13
F	26.64	15.9	21.27	141.9	78.6	7.87	9.5	39,56	16,73
M	27.82	16.8	22.25	184.5	77.3	7.67	9.3	43,88	20,75
A	28.6	17.5	23.06	212.8	76.6	8.41	9.5	57,79	31,65
M	29.05	19.0	24.03	212.2	80.9	8.18	8.3	196,3	35,10
J	32.34	22.2	27.27	203.4	83.3	7.42	6.9	188	46,23
J	33.17	22.6	27.9	229.1	82.6	8.34	7.8	146,5	157,01
A	33.22	22.5	27.88	202.7	83.4	7.97	6.1	179,7	150,37
S	29.03	20.1	24.57	158.3	84.8	7.51	4.7	161,7	117,19
O	27.9	19.5	23.7	138.0	86.3	6.81	5.7	184,4	143,74
N	26.46	18.1	22.3	114.8	85.2	6.76	7.6	42,66	129,40
D	25.65	17.3	21.42	106.8	84.3	6.15	8.4	20,91	147,56
TOTAL	345.2	227.0	286.1	2024.8	984.1	89.9	92.7	1287,33	1029,86
Prom.	28.8	18.9	23.8	168.7	82.0	7.5	7.7	107,28	85,82

La tabla anterior (Tabla I) refleja el comportamiento de los elementos climáticos más importantes durante los meses del año, se aprecia que la temperatura media promedio del año asciende a 23.8 c^o siendo Agosto el mes de mayores valores con 27.88 c^o y el más fresco Enero con 20.44 c^o, las máximas presentan una media de 28.8 c^o registrándose valores de 33.22 c^o en Agosto, las temperaturas mínimas tienen promedio de 18.9 c^o y es en Febrero y Marzo donde se producen las mínimas con 15.6 y 15.9 c^o respectivamente.

La insolación promedio es de 7.5 horas días, el mes de mayor horas solares promedio por día es Abril con 8.41 h/día.

La velocidad del viento no es muy fuerte durante todo el año con una media de 7.7Km/h, el mes de mayores valores es Abril (9.5 km/h) y el de menor septiembre (4.7 Km/h).

La humedad relativa tiene una media anual de 82.0 % y se mantiene por encima del 80 % en todo el año excepto en los meses de febrero, marzo y abril, (tabla 1). La evaporación media diaria del año es 5.76 mm con promedio anual de 2 024.8 mm, el mes de mayor evaporación resulta ser Julio con 7.39 mm/días; las precipitaciones promedio anual (para el 75 % de probabilidades de ocurrencia) son de 1287.33 mm caracterizado por un período lluvioso que abarca desde Mayo hasta Octubre donde precipitan el 82.08 % y uno seco desde Noviembre hasta Abril (17.92%). También se pude apreciar la lluvia aprovechable donde se tomo el 80% de la lluvia correspondiente al año medio seco (75 % de probabilidades), la misma alcanza una media de 85.82 mm.

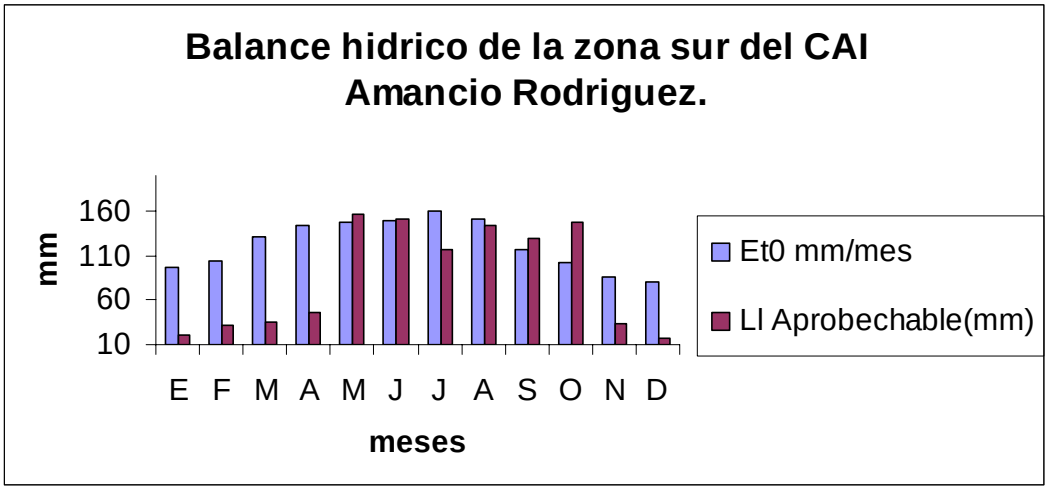


Figura 1. Balance hídrico

En la figura 1 se observa la relación existente entre la evapotranspiración de referencia (Et0 mm/mes) y la lluvia aprovechable (Ll aprovechable mm/mes), donde la Et0 es mayor en todo el período excepto en los meses de mayo, junio, septiembre y octubre, coincidiendo los meses de mayor consumo con los de menos precipitaciones. Lo antes expuesto nos da en gran medida la importancia de la utilización del riego, ya que mediante el se puede satisfacer las necesidades hídricas de la caña de azúcar siempre que las lluvias no satisfagan el consumo del cultivo.

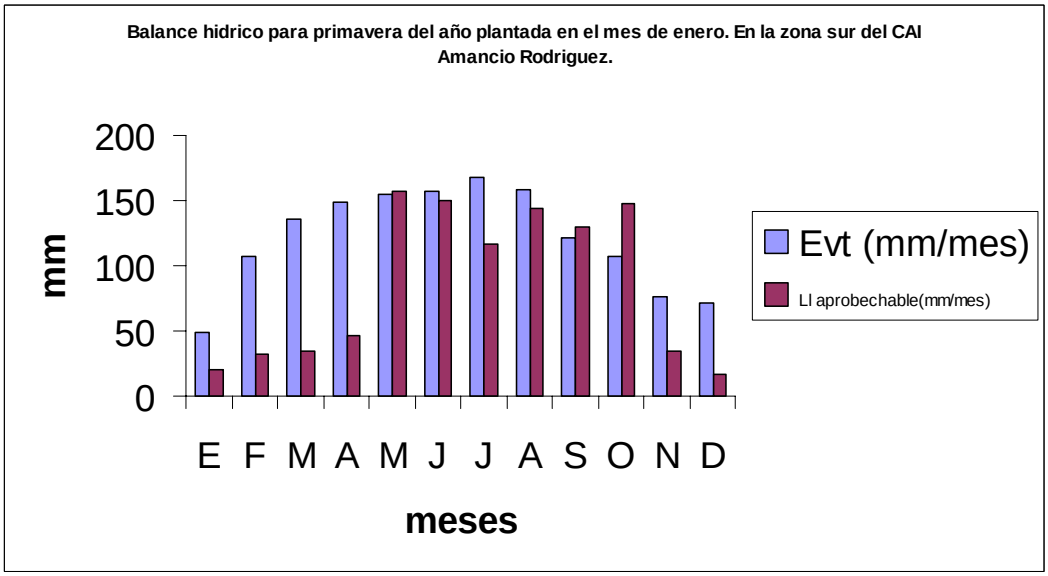


Figura. 2 Balance hídrico de la caña de azúcar plantada en Enero (Primavera del año)

El gráfico anterior (gráfico 2) nos muestra el balance hídrico de la caña de azúcar plantada en el mes de enero (primavera del año), la misma presenta un consumo de 1455.45 mm/al año, aspecto que coincide con (King, 1967) cuando expreso que para obtener rendimientos de 100 t/ha es necesario una lamina de agua equivalente a 1500 mm anuales.

Las lluvias aportan 1029.87 mm/año (considerando un aprovechamiento del 80%) satisfaciendo solamente las necesidades hídricas del cultivo en los meses de mayo, septiembre y octubre; coincidiendo con el periodo

lluvioso. Por lo que existe un déficit hídrico de 425.58 mm/año, entonces para poder satisfacer el consumo de agua del cultivo en el resto del ciclo es necesario el empleo del riego, el cual debe hacerse de una forma eficiente para así obtener altos rendimientos y abaratar los costos de explotación. Similares resultados fueron obtenidos por (Tejeda y Peña 1997) en la zona norte del CAI Jesús Menéndez.

En la figura 3 se puede observar el balance hídrico de la caña de azúcar plantada en el mes de noviembre, donde a pesar de que en los primeros meses de desarrollo del cultivo el consumo de agua por parte de la plante es pequeño las precipitaciones no suplen las necesidades hídricas del mismo por lo que es de vital importancia el uso del riego. La caña de azúcar plantada en el mes de noviembre tiene un consumo de agua de 1454.46 mm en el año y las precipitaciones (considerando un aprovechamiento del 80%) solo suplen el 70.8 % de la demanda del cultivo

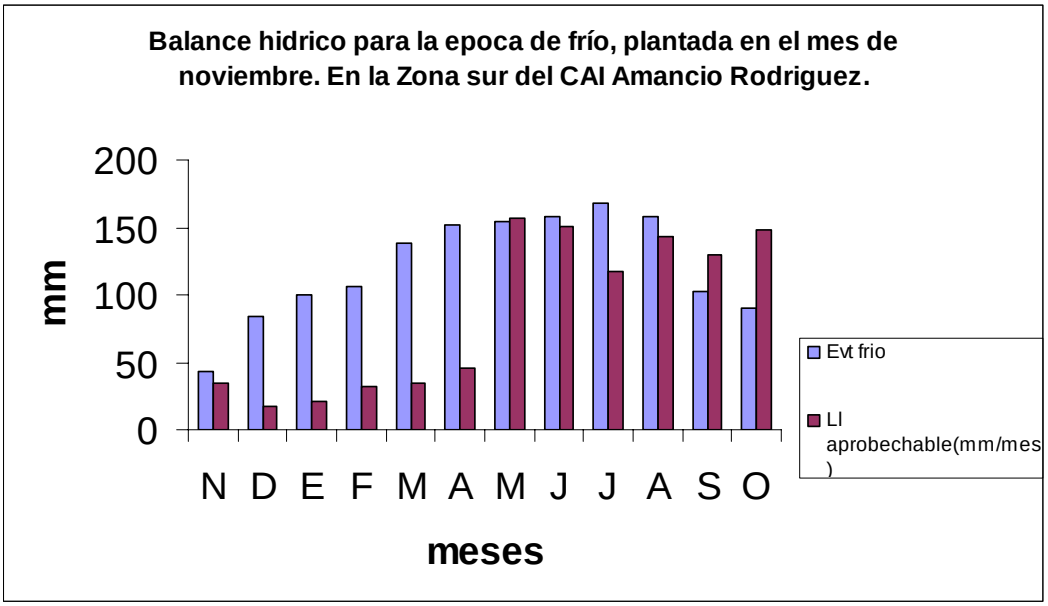


Figura 3. Balance hídrico de la caña de azúcar plantada en noviembre (frío).

Caracterización Edáfica

Según (Villegas y otros, 1994), citado por (González, 1998) Las características físicos, químicas y biológicas del suelo ejercen una marcada influencia en el desarrollo y la productividad de la planta de caña. Son importantes la textura, estructura, la porosidad y la densidad del suelo que influyen en forma directa en la permeabilidad, la aireación y la capacidad de de retensión de la humedad del suelo (Cabrera, 1994).

En La zona sur del CAI Amancio Rodríguez se encuentran 8 tipos de suelos (ver tabla 2), Los cuales se encuentran geográficamente agrupados y distribuidos por zonas bien definidas, las cuales le proporciona características con cierta similitud de carácter físico químico (Tejeda, 1997). En la zona objeto de estudio predominan los suelos ferralíticos amarillentos típicos (39.9%), seguidos por los ferralíticos amarillentos gleysosos (21.4%) ver tabla 2. La salinización de los suelos presentes en el área de estudio se comporta de la siguiente forma (ver tabla 4): Débilmente salinos 6.78 %, medianamente salinos 4.28% y no salino 87, 33 %, no hay un gran problema de salinidad pero este es un factor limitante al que hay que prestarle una gran atención debido a los grandes problemas que puede traer consigo la salinización de los suelos.

Tabla 2 tipos de suelos presentes en la zona objeto de estudio (tomado de la evaluación de tierra realizado por los especialistas del INICA en el año 2000).

Tabla II. Tipos de suelos presentes en la zona sur del CAI Amancio Rodríguez.

Tipo de suelo	Área	%	Clasificación agroproductiva del minaz.
FERRALITICO AMARILLENTO TIPICO.	4585,10	39,9	Ferralitizados cálcicos
FERRALITICO AMARILLENTO GLEYSOSO	2455,60	21,4	Ferralitizados cálcicos
OSCURO PLASTICO GLEYZADO GRIS AMAR	1740,70	15,2	Gleyzado Sialitizados plásticos
FERSIALITICO PARDO ROJIZO TIPICO	1672,00	14,6	Fersialitizados cálcicos
FERRALITICO ROJO TIPICO.	537,70	4,68	Ferralitizados cálcicos
PARDO CON CARBONATO TIPICO	351,00	3,06	Sialitizados cálcicos
FERRALITICO ROJO COMPACTADO.	119,30	1,04	Ferralitizados cálcicos
FERRALITICO ROJO CONCRECIONARIO	23,40	0,2	Ferralitizados cálcicos

Tabla III Salinidad de los suelos en la zona sur del CAI Amancio Rodríguez.

Tipo de suelo	deb-salino	med-salino	muy –salino	no-salino
FERRALITICO AMARILLENTO GLEYSOSO	63,4	183,60	53,10	2155,50
FERRALITICO AMARILLENTO TIPICO	12,2	0,00	304,70	4268,20
FERRALITICO ROJO COMPACTADO	0	0,00	0,00	119,30
FERRALITICO ROJO CONCRECIONARIO	0	0,00	0,00	23,40
FERRALITICO ROJO TIPICO.	0	0,00	0,00	537,70
FERSIALITICO PARDO ROJIZO TIPICO	0	0,00	0,00	1672,00
OSCURO PLASTICO GLEYZADO GRIS AMAR	703,9	0,00	134,40	902,40
PARDO CON CARBONATO TIPICO	0	0,00	0,00	351,00
total	779,5	183,6	492,2	10030

Ferralítico Amarillento Típico

Ocupan una superficie de 4585.10 ha lo que representa el 39.9 % del área objeto de estudio, suelos donde el proceso de evolución ferralítica va acompañado de una extrema hidratación con medio hidromórfico; estas formas hidratadas del hierro se manifiestan por la presencia de la goherita, que confiere al *solum* una coloración amarillenta y determina la variación en las propiedades morfológicas y físico-químicas.

Ferralítico Amarillento Gleysoso

Ocupan una superficie de 2455.60 ha lo que representa un 21.4 % del área objeto de estudio, suelos donde el proceso de evolución ferralítica va acompañado de una extrema hidratación con medio hidromórfico; estas formas hidratadas del hierro se manifiestan por la presencia de la goherita, que confiere al *solum* una coloración amarillenta y determina la variación en las propiedades morfológicas y físico-químicas, experimenta un estancamiento temporal del agua superficial a causa de una capa impermeable y presenta manchas de color gris azuloso en los primeros horizontes.

Ferralítico rojo típico
Ocupan una superficie de 537.00 ha lo que representa un 3.06 % del área objeto de estudio, es un suelo de color rojo en todo el perfil, arcilloso, profundo y friable, pH de 6-6.5º, CCB de 10-20 meq/100g y grado de saturación variable; materia orgánica de 2-5%, con menos de 5% de concreciones en todo el perfil.

Ferralítico rojo concrecionario
Ocupan una superficie de 23.40 ha lo que representa un 0.2 % del área objeto de estudio.

Ferralítico rojo compactado
Ocupan una superficie de 119.30 ha lo que representa un 1.04 % del área objeto de estudio, es un suelo de color rojo en todo el perfil, arcilloso, profundo y friable, pH de 6-6.5º, CCB de 10-20 meq/100g y grado de saturación variable; materia orgánica de 2-5%, presenta una acumulación relativa en arcilla y sesquióxidos en la parte media del perfil, lo cual le confiere cierto endurecimiento. Presenta en estado seco una estructura bien diferenciada, masiva y dura con fases lisas y brillosas.

Fersialíticos pardos rojizos típico
Ocupan una superficie de 1672.00 ha lo que representa un 14.6 % del área objeto de estudio, están sustentados sobre caliza suave con proceso de formación sialítico acompañado de una ferritización y minerales arcillosos del tipo 1:1(caolinita), poseen buen drenaje tanto interno como externo, están medianamente desaturados, humificados poco erosionados, poco gravillosos con profundidad efectiva de 40.0 cm .
Son suelos de perfil A(B)C y ABC. Coloración rojiza en el perfil o en algún horizonte determinado.
Materia orgánica de 3-5% con disminución gradual; capacidad catiónica cambiable 20-40 meq/100g con predominio de los cationes divalentes, el calcio o el calcio y el magnesio. El pH 6-8.

Oscuros plásticos gleysosos (Gleyzado Gris Amar)
Estos suelos ocupan una superficie de 1740.70 ha, lo que representa el 15.2 % del área, están sustentados sobre materiales transportados carbonatados como proceso de formación principal la sialitización con minerales arcillosos del tipo 2:1 (montmorillonita) que le proporciona características físicas indeseables, drenaje deficiente con alto poder de dilatación y contracción, agrietándose profundamente en épocas de sequías, son poco permeables y muy plásticos, saturados, profundos medianamente humificados, poco erosionados, casi llanos, en su parte media alrededor de los 50 cm de profundidad existe una capa de arcilla con pequeñas gravas compactadas y con menos grado de humedad que las capas superiores lo que dificulta el paso del agua .

Pardo con carbonatos típico
Ocupan una superficie de 351.00 ha lo que representa un 3.06 % del área objeto de estudio, están sustentados sobre materiales transportados de origen calcáreo con una evolución sialítica en un medio rico en calcio, están ubicados en topografía llana con minerales arcillosos del tipo 1:1 (caolinita) y 1:2 montmorillonita, son suelos medianamente profundos y poco erosionados.
Cuando los carbonatos son lavados, estos suelos se encuentran en una etapa de evolución regida por la dinámica de los sesquióxidos, principalmente el Fe_2O_3; pueden seguir una evolución hacia el tipo fersialítico, pero con la condición de que el medio permita o no el lavado de SiO_2, y las bases fuera del perfil pueden evolucionar a vertisuelo pero condicionadas por el drenaje impedido.
La carbonatación y su lavado influyen en la formación y distribución del humus; la materia orgánica alcanza valores de 4-8% (en suelos erosionados puede ser menor que 4%) y su distribución es re4lativamente uniforme, pues llega a alcanzar tenores de 2-2.5% a profundidades de 35-40 cm.
Datos físicos: Posee coeficiente de infiltración de 0.4 mm/min evaluado de moderado, peso específico entre 2.50 y 2.52 g/cm^3 que aumenta con la profundidad, peso volumétrico de 1.26 - 1.30 g/cm^3, porosidad total de

49 %, capacidad de campo en porcentaje de suelo seco de 46-48% y en porcentaje de volumen de 64.9-57.1 disminuyendo con la profundidad.

Conclusiones y Recomendaciones

1- Las precipitaciones promedio anuales de la zona son de 1287,33 mm, siendo el periodo lluvioso desde el mes de mayo hasta octubre (82% de las lluvias caídas).
2- El cultivo de la caña de azúcar plantado en enero (primavera del año) presenta un consumo de agua de 1454.46 mm al año, y las lluvias solo satisfacen el 70.8% del mismo.
3- Las precipitaciones no satisfacen las necesidades hídricas de la caña de azúcar, por lo que se hace imprescindible el uso de sistemas de riego, a los cuales dándole un uso eficiente y correcto incrementaran satisfactoriamente los rendimientos agrícola s e industriales del cultivo.
4- Los restantes elementos del clima (temperaturas, evaporación, velocidad media del viento, insolación, humedad relativa), arenque influyen en el desarrollo de la planta no constituyen limitantes para el desarrollo de la caña de azúcar.
5- La zona objeto de estudio esta representada por ocho tipos de suelo con diferentes características físicas e hidrofísicas.

Recomendamos

1- Incrementar las áreas bajo riego como una vía de aumentar los rendimientos agrícolas de la zona.
2- Realizar un estudio profundo y detallado sobre los requerimientos hídricos del cultivo y reordenación de los recursos hidráulicos.
3- Realizar una correcta planificación de la operación de los sistemas de riego y drenaje.
4- Establecer un pluviómetro por cada sistema de riego.
5- Establecer un evaporímetro de tanque de clase A por cada sistema de riego.

Referencias Bibliográficas

1- Cabrera, R: Consideraciones sobre la tecnología del riego superficial en caña de azúcar. Fona IAR. Caña de azúcar. Vol. 12 (2) Venezuela 1994.
2- Doorembos, J. y W.d.Fruit: Crop and water requeriment. Roma FAO, 1975.
3- Estrada, Lorenzo. Comunicación personal. Las Tunas, julio 2008.
4- Fernández. R.A. Dávila y F. Del Toro: Botánica y fisiología de la caña de azúcar. Editorial pueblo y educación. La Habana, 1983.
5- González, Pedro. Caracterización edafoclimática de la zona norte del CAI Jesús Menéndez. Trabajo de diploma en opción al titulo de ingeniero agrónomo, Las Tunas. 1998.
6- Hernández, A. e*t al* Los coeficientes del cultivo para el riego de la caña de azúcar en el occidente de Cuba. Medio siglo de investigación cañera cubana, resúmenes. INICA, 1997.
7- King, N. J: Manual del cultivo de la Caña de azúcar. Instituto del libro. La Habana, 1967.
8- Lamelas, C. 2008. Servicio integral para la explotación del riego y drenaje (SIERIED). Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
9- Olovarieta, s: Calibración de evaporímetros para el control del riego de la caña de azúcar (inédito). Venezuela, 1933.

10- Osorio, Nilva. Evaluación de la aptitud física de las tierras del CAI “Amancio Rodríguez”. Estación provincial de investigaciones de la caña de azúcar Las Tunas. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Ministerio del Azúcar.2001.
11- Tejeda, V y Peña, E: Necesidades hídricas de la caña de azúcar. Revista electrónica. Las Tunas, 1997.
12- Tejeda, Víctor M. Caracterización edafoclimática de la zona norte del CAI Jesús Menéndez. Soporte electrónico. Las tunas, 1999.
13- Van Dillewijng: c, Botanic of sugar cane veenman &Zonen Wageningen 371 pags, 1952.

COMFAR III EXPERT: UNA VALIOSA HERRAMIENTA EN EL ANÁLISIS DE INVERSIONES. ESTUDIO DE CASO: PROYECTO DE INVERSIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE UN ESTIMULADOR DEL CRECIMIENTO (FITOMAS E)

Autores: Alfredo Torres Fernández, Maribel Herryman Munilla y Gladys Blanco Carracedo.

Institución: ICIDCA.
E-mail: alfredo.torres@icidca.edu.cu

RESUMEN

En el trabajo se hace el estudio de la factibilidad de un proyecto de inversión en una planta de producción de un estimulador de crecimiento denominado FITOMAS E utilizando el programa computacional COMFAR III Expert, el cual permite, además, realizar un análisis de sensibilidad y riesgo para conocer las variaciones en los indicadores financieros al cambiar el precio del producto o los costos de producción, así como determinar aquellos factores económicos más riesgosos del proyecto, lo que resulta un elemento muy valioso en la toma de decisiones en el proceso inversionista.

Palabras clave: proyectos de inversión, indicadores financieros, sensibilidad, riesgo.

ABSTRACT

In this paper, a feasibility study of the investment project on the new production facility of the growth enhancer known as FITOMAS E is done using the COMFAR III Expert program, that permits, as well, to do sensitivity and risk analysis to show the variations of financial indicators due to changes on the product price or production cost to determine the most risky economical factors of the project. This is very helpful information in the project investment process for decision making.

Key words: investment projects, financial indicators, sensitivity, risk.

INTRODUCCIÓN

El análisis de sensibilidad es el segundo paso de una evaluación económica, según el criterio de Agarwal (1975), ya que partiendo de unas condiciones iniciales expresadas como un conjunto de valores específicos de ciertos parámetros técnicos y económicos asociados al proyecto de inversión, se hace variar el valor de cada parámetro para ver el efecto correspondiente que provoca sobre los indicadores de factibilidad económica del proyecto.

Por otra parte, el análisis de sensibilidad y riesgo representa un medio para abordar el problema de la incertidumbre con respecto a los acontecimientos y valores futuros; para eso determina los nuevos indicadores de inversión haciendo variar las condiciones del proyecto original. En otras palabras, este análisis indica hasta qué punto un proyecto puede soportar variaciones en los precios o en los costos de producción. Desde el punto de vista práctico, la sensibilidad se determina, según Méndez (1992), incrementando los costos o reduciendo los beneficios, en un rango del 5 al 15% en dependencia de la estabilidad económica del país.

En el caso del análisis de riesgo, lo que interesa es conocer qué factores, de ingresos o egresos, presentan mayor riego para la obtención de los objetivos esperados. Una buena manera de medir el riesgo es considerar los incrementos en los costos y decrementos en los ingresos que reducen la ganancia a cero. Lógicamente, *aquellos factores que con los menores cambios lleven la ganancia a cero* serán los más riesgosos para el proyecto.

En la actualidad se han desarrollado algunos productos naturales para el tratamiento de los cultivos que son activadores de las funciones fisiológicas, por lo que su aplicación permite un mejor aprovechamiento de los nutrientes. A tono con esta tendencia, el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) ha desarrollado un nuevo producto de este tipo denominado FitoMás E, cuyo campo de aplicación ha sido, fundamentalmente, el cultivo de la caña de caña de azúcar, aunque también se ha probado en otros cultivos como: viandas, hortalizas, vegetales, frutales, leguminosas, granos, cultivos protegidos, tabaco, flores y oleaginosas con resultados excelentes**.** Actualmente, estas producciones no satisfacen la demanda del MINAZ, de ahí que se plantee la necesidad de incrementar los niveles de producción.

Por esta razón, en el trabajo no sólo se analiza el impacto que tienen las variaciones del precio del producto y las del costo de producción sobre los indicadores de factibilidad de un proyecto de inversión para la producción de 2,0 MM de litros al año de FitoMás E, sino también el riesgo asociado con cada una de ellas, de manera de complementar el proceso de toma de decisiones dentro del programa inversionista.

MATERIALES Y MÉTODOS

Según la información suministrada por Viñals (2005), las condiciones iniciales o básicas del proyecto de inversión para la producción de 2,0 MM de litros al año de FITOMAS E son las siguientes:

Tabla I. Inversión fija

Elementos	Valor total (MN)	Valor Total (CUC)
Equipamiento (CIF)	0,00	826 900,00
Instalación	0,00	41 112,00
Tuberías	0,00	41 112,00
Electricidad	0,00	1 112,00
Instrumentación	0,00	63 657,50
Servicios auxiliares	138 100,00	31 342,50
Obra civil	107 350,00	83 630,00
Ingeniería y proyecto	57 356,00	3 140,00
Montaje	107 350,00	59 334,00
Imprevistos	57 356,00	12 148,00
Total	**467 512,00**	**1 203 488,00**

Por tanto, la inversión fija total es de **1 671 000,00** pesos en moneda total con un 72% en divisas. El capital de trabajo inicial es de **249 218,00** pesos en moneda total.

La inversión total de la instalación se da en la Tabla II.

Tabla II. Inversión total

Elementos	Total (pesos en MT)
Inversión fija	1 671 000,00
Capital de trabajo inicial	249 218,00
Total	**1 920 218,00**

El programa de producción y los ingresos, según la curva de asimilación de capacidad de la planta y el precio de venta establecido de 1,10 pesos/litro, se muestran en la Tabla III.

Tabla III. Programa de producción y ventas anuales

Años	Asimilación de la capacidad (%)	Producción (litros/año)	Ingresos(pesos/año)
1	75	1 500 000	1 650 000
2	85	1 700 000	1 870 000
3 al 10	95	1 900 000	2 090 000

Las cantidades de materias primas, materiales y servicios necesarios para operar la planta a plena capacidad durante un año y sus precios se muestran en la Tabla IV.

Tabla IV. Cantidad y precios de Materias Primas, Materiales y Servicios

	Cantidad/ Año	Precio	
		Total	Divisa
Materias Primas		2454,4	1630,07
Etiquetas (u)	104 500	0,15	0,1
Envases (20 litros) (u)	95 000	3,93	3,36
Servicios			
Fuel oil (t)	133	269.24	269.24
Energía eléctrica (kwh)	218 500	0,13	0,13
Agua (m^3)	3 800	0,1	-

Los trabajadores están organizados en dos brigadas que trabajan días alternos un turno de 12 horas y un personal fijo que trabaja 8 horas de lunes a viernes. Los salarios anuales por categorías y los salarios totales se dan en la Tabla V. Los salarios no tienen componente en divisas ni se pagan impuestos por la fuerza de trabajo.

Tabla V. Mano de obra directa y salarios totales

Categorías	Cantidad	Salario anual (pesos)	Salario total (pesos)
Jefe de turno	2	4 500	9 000
Analista de laboratorio	3	4 500	13 500
Operador de montacargas	2	4 157	8 314
Operador de proceso	5	4 020	20 100
Ayudante de proceso	6	3 240	19 440
Almaceneros	3	4 380	13 140
Mecánico de mantenimiento	1	4 020	4 020
Operador de caldera	2	3 240	6 480
Chóferes	2	4 080	8 160
Total	**26**		**102 154**

En la estimación del costo de producción se establecieron las siguientes bases de cálculo:

- Precio de las materias primas[1]: Lista oficial MINAZ 2007.
- Precio del fuel oil y la electricidad: Lista oficial MINAZ 2007.
- Depreciación: Lineal, 10 % anual.
- Costos indirectos: 1,51 X Salarios directos.
- Mantenimiento: Según información técnica.

El costo de producción anual y por litro a plena capacidad se da en la Tabla VI.

Tabla VI. Costo total anual y unitario de FitoMás E

Elementos	Costo total (pesos)	Costo en divisas (CUC)
Materias Primas, Materiales y Servicios	1 050 177,64	818 259,27
Mantenimiento	14 797,60	12 870,00
Salarios	102 153,60	-
Gastos Indirectos	107 005,74	8 240,00
Depreciación	167 100,04	120 348,86
Costo total	**1 441 234,62**	**959 718,13**
Costo unitario	**0,76**	**0,51**

En la determinación de los indicadores financieros se utilizó el programa computacional COMFAR III Expert.

El COMFAR III Expert (Modelo Computarizado para Análisis de Viabilidad y Presentación de Informes) pretende ser una ayuda en el análisis de proyectos de inversión. El módulo principal del programa acepta datos financieros y económicos, prepara estados financieros y calcula índices de rendimiento. El programa se comunica con el usuario a través de una interfase gráfica de usuario (GUI) que facilita la entrada de datos. Los datos se ingresan en ventanas predefinidas, seleccionadas de una pantalla estructural.

Los cálculos financieros en COMFAR III Expert se llevan a cabo de acuerdo con los métodos descritos en el *Manual de Estudios de Viabilidad Industrial*[2]. Para la evaluación del impacto que sobre la viabilidad financiera del proyecto tienen los cambios que se operan en parámetros del mismo, se emplea el *Módulo*

[1] Excepto los frascos plásticos que se valoran según el precio establecido por LABIOFAM.
[2] Ver a Behrens (1994).

Sensibilidad del COMFAR III Expert que analiza el efecto de las variaciones de aquellas variables críticas preseleccionadas, sin pasar por el sistema de entrada de datos.
Los supuestos que se toman para realizar el análisis financiero del proyecto son los siguientes:

- Período de análisis: 11 años (uno de construcción y 10 de operación).
- *Condiciones de financiamiento*:
  - Inversión fija: Se considera una tasa de interés del 15% para el contravalor de la inversión en MLC y 6% para la moneda nacional, que se amortizarán con un año de gracia y cuatro anualidades.
  - Capital de trabajo inicial: Se considera una tasa de interés del 6% en MN para amortizar en un año con un año de gracia.
- Tasa de actualización: 15%.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Tabla VII se da un resumen, en moneda total, de los principales indicadores financieros de este proyecto operando bajo las condiciones descritas anteriormente.

TablaVII. Indicadores financieros del proyecto

Indicadores	Valor
Tasa interna de retorno (**TIR) (%**)	37,59
Valor actualizado neto (**VAN**) (pesos)	1 750 280
Período de recuperación (años)	3,84

Si se analizan los resultados de la tabla VII, se aprecia que el proyecto es viable bajo las condiciones iniciales o básicas tomadas (**escenario normal**) ya que la TIR es superior al 15% (tasa e descuento) y el VAN es mayor que cero.
El análisis de sensibilidad se realiza sobre la base de una variación del 10% en los parámetros considerados, asumiendo dos tipos de escenarios posibles.

Tabla VIII. Condiciones del análisis de sensibilidad del proyecto

Parámetros	Escenario pesimista	Escenario optimista
Precio del producto	**-10%**	**10%**
Costo de Producción	**10%**	**-10%**

En el caso del costo de producción, se varía solamente la partida asociada a Materias Primas, Materiales y Servicios.
Los resultados obtenidos aplicando el Módulo de Sensibilidad del COMFAR III Expert fueron:

Tabla IX. Indicadores financieros asociados a cada escenario.

Indicadores	Pesimista	Normal	Optimista
Tasa interna de retorno (**TIR %**)	20,81	37,59	53,62
Valor actualizado neto (**VAN**) (pesos)	430 000	1 750 280	3 070 559
Período de recuperación (años)	5,50	3,84	3,09

Si se analiza la columna relativa al escenario pesimista de la tabla IX se ve que el proyecto de inversión mantiene su factibilidad económica pues la TIR asociada (**20,81%**) continua siendo superior a 15% y el VAN (**430 000 pesos**) es mayor que cero.
Si se hace variar, tanto el costo de las materias primas como el precio del producto hasta el punto de no comprometer la viabilidad financiera del proyecto, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla X. Análisis de riesgo del proyecto de inversión

Parámetros	Variación Máxima (%)
Costo de las materias primas	41
Precio del producto	-20

En la tabla X se ve que el factor que experimenta la menor variación, sin comprometer la viabilidad del proyecto, es el precio del producto, lo cual lo convierte en el elemento más riesgoso para la factibilidad del proyecto analizado.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que el proyecto de inversión para la producción de 2,0 MM de litros al año de FitoMás E es capaz de mantener su factibilidad económica aún en presencia de un escenario pesimista, lo cual proporciona una gran reserva al proceso de toma de decisiones dentro del programa inversionista. Por otra parte, el análisis de riesgo demostró que de los factores considerados, el precio del producto es el más riesgoso para el proyecto, lo que indica que se debe, ante todo, considerar un precio de venta justo que garantice la viabilidad del proyecto. En ambos casos, se comprobó el enorme potencial que posee el programa COMFAR III Expert como herramienta de análisis de inversiones para la toma de decisiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1- Agarwal, J. C.; Klumpar, I. V. (1975), "Profitability, sensitivity and risk analysis for project economics". *Chemical Engineering*, 82.
2- Behrens, W.; Hawranek, P. M. (1994), Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial. ONUDI, Viena. Edición corregida y aumentada, pp 255-316.
3- Méndez, J. C. (1992), Informe final de consultoría de Plan de Acción Forestal para Guatemala (PAFG). Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
4- Viñals, M. y otros. (2005), Tarea Técnica de Producción de Fitomas E en Cuba-10, ICIDCA.

TECNOLOGÍAS CONSERVACIONISTAS Y SOSTENIBLES EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Autores: Santos Gómez Fernández, Iván Rossi Tamayo, Ciro Fernández y Juana Prieto

Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA)
Batey "Las Mercedes". Florida-Camagüey
Tel: 5-3871. e-mail: sgomez@epica.cm.minaz.cu

Resumen

Teniendo en cuenta que uno de los principales problemas ambientales identificados en Cuba es la degradación de los suelos, que afecta la mayor parte de la superficie agrícola del país se presentan los resultados obtenidos con el empleo de marcos estrechos de plantación y rotación de cultivos que además de proporcionar altos rendimientos agrícolas contribuyen a la protección y conservación del suelo. Los estudios fueron realizados en áreas cañeras de la provincia de Camagüey y a pesar de los buenos resultados obtenidos aún no se han generalizado, por lo que en el trabajo se fundamentan sus ventajas para así contribuir al cambio hacia prácticas agronómicas racionales que aprovechen las características excepcionales de esta planta a partir de aplicar en su cultivo concepciones de una agricultura sostenible.

Palabras clave: Degradación, Sostenible, Rotación.

Introducción

La búsqueda de tecnologías más apropiadas para el incremento del rendimiento agrícola e industrial en el cultivo de la caña de azúcar ha sido siempre preocupación de los productores e investigadores de nuestro país y el resto de los países cañeros.
Actualmente el MINAZ acomete un proceso de reorganización que impone una nueva visión a la agricultura cañera, buscando la sostenibilidad sobre la base de un amplio programa de diversificación, con valores agregados a la producción de caña que faciliten la reducción de sus costos y el incremento de la productividad, para alcanzar los niveles de producción de azúcar que requiere el país.
Es por ello que en la visión actual de empresas y unidades productoras de caña se plantea:

- ✓ Producir caña con calidad, de forma creciente, cubriendo eficientemente la demanda planificada, con rendimientos agrícolas de 50 t/ha o más y costos competitivos, protegiendo el medio ambiente, aprovechando las nuevas tecnologías y el conocimiento acumulado…

Por otra parte uno de los principales problemas ambientales identificados en Cuba es precisamente la degradación de los suelos, que afecta la mayor parte de la superficie agrícola del país. Casi la mitad se considera muy poco productiva, con la agravante de que se concreta en la zona oriental del país por lo que se necesita acometer acciones con el objetivo de reducir y eliminar las causas que provocan los procesos de degradación de este recurso natural fundamental. A este problema hay que prestarle especial atención pues la superficie agrícola de Cuba, es de 6 654,5 Mha lo que representa el 60,6 % del total de sus tierras firmes. La superficie cultivada constituye el 54,0 % de esta superficie agrícola. Los cultivos permanentes (2 396,7 Mha) son los más significativos y las mayores extensiones corresponden a la caña de azúcar con un 69,7 %. La nocividad adjudicada a éstos, está dada por la falta de rotación y por su acción agotante sobre el suelo, unido a un mal manejo agrotécnico e insuficientes medidas de protección de la fertilidad.
En nuestro país en 1993, en correspondencia a las acciones recogidas en el programa o agenda 21 aprobada en la Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo – Cumbre de la Tierra – Se conformó el Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo y ya en 1997 se aprobó la Estrategia

Ambiental Nacional y la Ley 81 de Medio Ambiente. Basándose en esta Ley se desarrolla un grupo de programas nacionales dirigidos a la solución o mitigación de los daños al medio ambiente y entre ellos están los de mejoramiento y conservación de los suelos.
Por otra parte el Ministerio de Ciencia Tecnología y medio ambiente en la fundamentación de su primer programa "Desarrollo de la Agroindustria Azucarera" plantea que se precisa revertir la situación económico - productiva actual de esta rama y trabajar por elevar los índices de eficiencia en forma estable. En este propósito, la Ciencia y la Tecnología desempeñan un papel importante, pues se trata de buscar o aplicar soluciones que permitan aumentar la cantidad y calidad de la producción azucarera en las actuales condiciones económicas; una dirección importante, dentro de este programa, es el desarrollo de tecnologías sostenibles para la producción de caña. Es por ello que como primer objetivo se plantea aplicar tecnologías integrales y sostenibles atendiendo a las condiciones edafoclimáticas de cada región y a las posibilidades de insumo y recursos que éstas tengan.
En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en plantaciones en surco de base ancha 0.40 m + 1.40 m (1.80 m de centro a centro) y con la rotación de cosechas realizadas en áreas cañeras de la provincia de Camagüey que ofrecen grandes ventajas para lograr el incremento del rendimiento agrícola y que a su vez contribuyen a la protección y conservación de los suelos.
Por otra parte, se hace necesario hoy más que nunca la adopción de prácticas agronómicas que permitan obtener altas producciones de forma estable y económicamente viable, es decir, que permita el uso más eficiente de los recursos y sin que afecte las potencialidades presente y futuras del suelo.

Desarrollo

Surco de base ancha

En el mundo cañero se emplea un amplia gama de distancias de plantación que van desde 0,90 hasta 1,80 m y la mayoría de los productores coinciden en señalar que dentro de ciertos límites se obtienen incrementos en el rendimiento agrícola con las distancias menores.
En nuestro país se mantiene como un axioma desde la década del 60 que 1.60 m es imprescindible para la mecanización.
Durante los últimos años uno de los principales problemas agrotécnicos en el cultivo de la caña de azúcar ha sido la despoblación existente en nuestros campos y los altos niveles de infestación de malezas que tienen marcada incidencia en el rendimiento por área a obtener. Desde 1987 nuestra institución comenzó a realizar un grupo de experimentos y extensiones de surcos de base ancha con doble hileras separadas a 0.40 m y 1.40 m entre surcos (1.80 m de centro a centro) buscando disminuir la distancia de plantación, aumentando el número de plantas por área.
Según lo planteado por la mayoría de los especialistas en la materia, un campo de caña bien desarrollado debe tener como cantidad óptima entre 95 000 y 100 000 tallos por hectárea y actualmente nuestros cañaverales con la distancia de 1,60 m entre surcos tienen como promedio de 75 000 a 80 000 tallos.
Con la plantación en surcos de base ancha se puede incrementar el número de tallos por unidad de área de la caña de azúcar sin variar la tecnología actual de cosecha. (Figura 1).

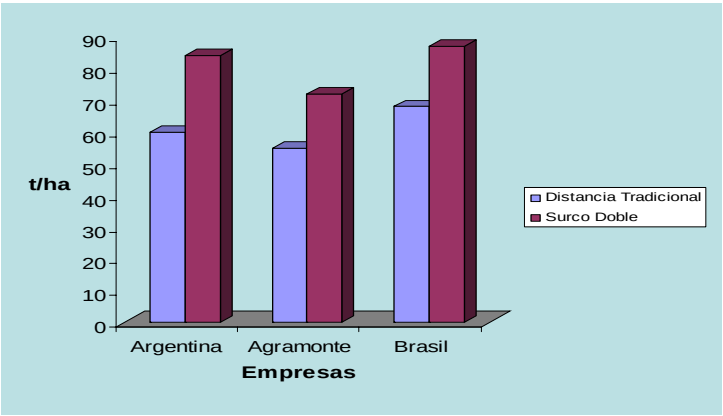


Figura 1. Efecto del surco doble en el rendimiento agrícola en diferentes localidades

Ventajas del surco de base ancha

- Se incrementa el número de tallos por hectárea obteniéndose mayor rendimiento agrícola.
- Se logra disminuir la distancia entre hileras sin variar la tecnología actual de cosecha.
- Se produce un cierre de campo más temprano por lo que se disminuyen las operaciones de limpia.
- Se disminuye el efecto negativo de la compactación del suelo al pasar las ruedas de las cosechadoras más alejadas del surco y efectuarse menor número de pases por unidad de área.
- Se facilita la fertilización enterrada al centro de la hilera.

Rotación de cultivos

La caña de azúcar ha sido en muchas zonas de Cuba un monocultivo por cerca de dos siglos. Cuando todavía este fenómeno negativo no era tan notorio, Álvaro Reynoso (1862) había señalado que << *la tierra explotada sin interrupción alguna, en el propio sitio por la misma planta concluye por empobrecerse*>>.

Al respecto Fidel Castro Ruz (1963) expresó <<*Bueno, ¿qué es lo que le hemos hecho a la tierra? Explotarla miserablemente sin incorporarle nada; decenas de años sacándole materia orgánica, sacándole nutrientes*>>.

La rotación de cultivos es una práctica agronómica común en otros cultivos en diferentes países pero en caña de azúcar, incluyendo a Cuba, comenzó a despertar interés solo en los últimos años. Los trabajos experimentales del INICA han dado como resultado que con la rotación con leguminosas se alcanza una producción más alta de caña entre un 20 y un 40 % superior a la de la caña plantada sin rotación, pues entre otras, las principales ventajas de la rotación con leguminosas son:

- Se logra un uso más racional e intensivo del suelo.
- Reduce la compactación y mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Reduce la incidencia de malezas en el cultivo principal.
- Protege al suelo de la acción directa de los agentes erosivos.
- Rompe el monocultivo, disminuyendo las poblaciones de patógenos que se acumulan por esta causa en el suelo.

Teniendo en cuenta los resultados experimentales de nuestra institución se montó una extensión con el uso de fríjol Canavalia (*Canavalia ensiformis*) L sembrada a finales del mes de mayo después de comenzadas las lluvias y a los 70 días, a finales de julio, se surcó directamente con el subsolador descepador C-101 con surcador y se sembró la caña de azúcar sin enterrar totalmente la Canavalia. Se pudo comprobar la factibilidad del empleo de ésta leguminosa como cultivo antecedente a la caña de azúcar en nuestra provincia obteniéndose los resultados que a continuación se exponen en la Tabla I.

Tabla I. Producción de caña y de azúcar por hectárea

Antecesor	ton caña/ha	Diferencia %	ton azúcar/ha	Diferencia %
Caña de azúcar	42.2		3.9	
Canavalia	58.8	39.3	5.4	38.5

Precisamente en la literatura se plantea que el momento ideal para incorporar la Canavalia al suelo es antes de los tres meses después de la siembra que es cuando comienza la floración. Estos resultados coinciden con lo también expresado por Fidel Castro Ruz (1963).

"Cortan ustedes una caña que van a demoler en marzo, entonces en abril, en primavera, le siembran un frijol de Canavalia, un frijol de terciopelo, cuando tiene 60, 70 días, antes de que florezca, que es cuando tiene más nitrógeno, lo entierran, después siembran la caña para que eso le sirva de abono"

Al respecto Cuéllar y colaboradores (2003) señalan que para rotar con la caña se siembra en abril o mayo y a los 120 ó 130 días julio a septiembre se da un pase con subsolador descepador C-101 ó C-304 con surcador y se planta directamente la caña de azúcar, sin necesidad de enterrar la Canavalia.

Por último para avalar la importancia de este resultado que recomendamos generalizar cuanto antes consideramos muy importante lo que Fidel también expresó al respecto:

“Fíjense que el nitrógeno que es lo que más hay que importar que es lo que más hace rendir, se logra cuando usted hace una siembra de abono verde y lo entierran
Pero además hay que tratar de recobrar la materia orgánica, ¿cómo?, echándole estiércol, echándole turba, pero no hay estiércol, no hay suficiente turba, ¿qué se hace? Entonces, se siembra una mata para después meterle el arado y enterrarla, entonces se le incorpora cientos de toneladas de materia orgánica a la tierra.
Quiere que le diga, si usted siembra una caballería de frijol Canavalia cuántos kilogramos de nitrógeno recibe? Le voy a decir: si ustedes siembran una caballería de frijol de Canavalia ustedes producen unas quinientas toneladas de masa verde, esas 500 toneladas convertidas en materia seca, es decir quitando toda el agua pesaría unas 125 toneladas, esas 125 toneladas tendrían un 15 % de proteínas, después hay que hacer la conversión: ustedes tendrían tres toneladas de nitrógeno puro que es el equivalente aproximadamente a 8 toneladas de nitrato de amonio al 40-0-0 de los cuales 2 la tomó de la tierra y seis las tomó del aire.
Esa es la ventaja que tiene la leguminosa ¿Ustedes no han visto que en una tierra de Marabú crece mucho la caña la primera vez? Porque el marabú por “desgraciado” que sea es una leguminosa ¿Qué les parece?”.
Teniendo en cuenta todo lo anteriormente expuesto es por lo que consideramos que esta práctica fitotécnica debemos generalizarla cuanto antes en nuestra agricultura cañera, pues permite obtener altas producciones de forma estable y proteger ese importante recurso natural que es el suelo.

Conclusiones y Recomendaciones

La caña de azúcar, cuyo potencial genético aún está lejos de ser bien aprovechado, puede ser cultivada con técnicas mucho más apropiadas y sustentables, tanto en términos económicos como ecológicos.
Como se puede apreciar es significativo el incremento del rendimiento agrícola y varias las ventajas que se obtienen con la aplicación de estas prácticas fitotécnicas en nuestras plantaciones cañeras, por lo que recomendamos se generalicen estos resultados al menos en un bloque de cada empresa de la provincia.

ReferenciasBibliográficas

- Annual Report 2005. Mauritius Sugar industry Research Institute. Pp26-28. 2005.
- Cuellar, I. A. Caña de Azúcar. Paradigma de sostenibilidad INICA p 113. 2003.
- García, A. Fidel Castro y la producción azucarera. Publicaciones azucareras. Ministerio del Azúcar, La Habana pp 385. 1998.
- Mateo J. M. Leguminosas de grano. Ediciones Revolucionarias. Instituto del libro pp 291-295. 1961.
- Reynoso, A. Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar. 1998. Sexta Edición. Publicaciones Azucareras, La Habana, pp 372.
- Whyte R. O., G Nilsson y H. C, Trumble. 1961. Las leguminosas en la agricultura. Ediciones Revolucionarias. La Habana p 288.

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA FLORACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL CENTRO NACIONAL DE HIBRIDACIÓN

Autores: Víctor Caraballoso[1], Alberto González[2], Norge Bernal[3], Héctor Jorge[3], Osmany Cruz[1], Ricardo Rábago[1] y Antonio Vera[1].

1. Centro Nacional de Hibridación Sancti Spíritus, INICA, Cuba. e-mail centrohib@epica.ss.minaz.cu
2. Estación Territorial Habana-Pinar, INICA, Cuba. e-mail diretica@hab.minaz.cu
3. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Cuba. E-mail norge@inica.edu.cu

Resumen

Para la confección de este trabajo se emplearon datos de floración de un grupo de variedades estudiadas en tres localidades de la provincia de Sancti Spíritus, las cuales están situadas a tres niveles de altitud (100, 400 y 800), los datos de temperatura fueron medidos en cada localidad o suministrados por meteorología, para ello se emplearon registros de 18 años (1990 a 2007), con toda esta información se relacionó la floración medida (Variedades florecidas, Intensidad de la floración, tiempo de salida de la flor desde su inducción) con los valores de Temperatura (Máxima, Mínima, Media y diferencia entre las dos primeras), además se tuvieron en cuenta los días en que se encontraban las plantaciones a diferentes rangos de estas variables. Como resultado se encontró una estrecha relación de la temperatura y la floración, la cual varió de acuerdo con la localidad y otros elementos de interés que se presentan de forma diferencial con las localidades, en las diferencias de temperatura se encontró que fue más estrecha para las localidades de montaña, otro factor que les ayuda en la mejor floración y por último se hace un estimado de la temperatura y la posible floración en la provincia de Sancti Spíritus.

Palabras clave: caña de azúcar, floración, temperatura.

Abstract

In this work the flowering data of the diferents varieties were used, in this studied three localities of the Sancti Spiritus province were used, which are located at three levels of altitude (100, 400 and 800 m over the sea), the data of temperature were measured in each localities by meteorology institute, the data used were the 18 year-old registrations (1990 at 2007), with this information was related the measured of flowering (varieties porcent, flowering intensity, time of the flower induction) the temperature values were (Maxim, Minimum, Mediates and differs of two first), different ranges of these variables were used. As a result the relationship of the temperature and the flowering were observe, which varied of agreement with the localities and other elements of interest, in the differences of temperature was found that it was more narrow for the mountain towns, and the end the temperature estimate and the possible flowering is made in the Sancti Spiritus province.

Key words: Sugarcane; flowering; temperature

Introducción

El proceso de floración tiene cierto requerimiento de temperatura y si esta no es satisfecha la floración no ocurre. La floración en campo comercial de Zimbawe fue reducida o eliminadas cuando la temperatura nocturna durante el periodo de inducción estuvo por debajo de 18° C por 4 o 8 ocasiones (Gosnell, 1973). Contrario a esto en trópico de floración fue inhibida por temperaturas altas por encima de 32° C durante el comienzo del inicio en Quinland, la proporción media de tallos florecido para un grupo de 9 clones cuando inicio en verano fue de 11.8% comparado con la media 60.5% cuando se indujo en los meses caliente. La semilla también se ve reducida por la temperatura cuando esta baja de 18° C o sube de 27° C, la fertilidad del polen se reduce.

La temperatura a partir de que comienzan los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas se llama cero biológico y la temperatura por encima de esta se llama temperatura efectiva, en Cuba este cero biológico en la mayoría de las plantas es superior a 10-15º C.

En los años calurosos y secos, las fases comienzan más temprano y la maduración ocurre antes, en los años frescos y lluviosos, los períodos entre las fases se alargan y la maduración comienza tarde.

La temperatura es un factor muy importante, principalmente en un período crítico donde ella es más decisiva (Coleman, 1963). La temperatura tiene mayor cantidad de cambios de un año hacia otro que el foto período y se cree que este es más importante en latitudes alejadas del Ecuador.

Es probable que la temperatura sea el factor más importante de los que se modifican, después que existe una adecuada madurez y se hayan dado los requerimientos de luz para la inducción del primordio.

La temperatura nocturna tiene un papel muy importante en la floración, algunos autores han logrado floración con solo controlar la temperatura en horas de la noche durante el período crítico.

Se plantea que 18.33° C es la temperatura crítica en el período de inducción y que 10 noches en el periodo inductivo con esta temperatura suprime la floración.

Se señala que entre 6-10° C es un buen rango de diferencia entre la temperatura máxima y mínima para que se produzca la floración, Clemente y Awada (1967) plantean que puede hacer buena floración con temperaturas mínimas de 15.56° C si la máxima no excede de 30.56° C. En otros lugares temperaturas sobre los 32.22° C puede producir buena floración si la mínima también es alta en el orden de los 21.11° C - 22.78° C.

El período de inducción para Cuba esta entre el 4 y 29 de septiembre: Por tanto para que exista una alta floración no puede haber más de 5 noches por debajo de 18.33° C.

Objetivos

- ✓ Calcular las temperaturas medias máximas y mínimas mensuales en las tres localidades durante 18 años.
- ✓ Determinar los porcentajes de floración por localidades y grupos de floración
- ✓ Calcular las diferencias entre temperatura máxima y mínima por localidad y mes.
- ✓ Representar la temperatura media de la provincia y poder determinar las zonas de mejor floración.

Materiales y Métodos

Para la ejecución de este trabajo se emplearon las tres localidades o ambientes de floración con que cuenta el Centro Nacional de Hibridación de la caña de azúcar ubicado en Sancti Spíritus.

Análisis de los ambientes del estudio

Como se señaló anteriormente se emplearon tres áreas contrastantes para la floración, cuya ubicación señalaremos a continuación:

Localidad de Mayarí

- Ubicación: Latitud = 21º- 58' LN
  Longitud = 80º - 08' LW
- Tipo de Suelo: Ferralítico amarillento típico.
- Altura sobre el nivel medio del mar: 810 m

Localidad de Guayos

- Ubicación: Latitud = 22º- 02' LN
  Longitud = 79º - 26' LW
- Tipo de Suelo: Fersialitizado no cálcico.
- Altura sobre el nivel medio del mar: 100 m

Localidad de Buenos Aires

- Ubicación: Latitud = 21º- 53' LN
  Longitud = 79º - 34' LW
- Tipo de Suelo: Esquelético natural.
- Altura sobre el nivel medio del mar: 400 m

Datos meteorológicos

Los datos climáticos de cada localidad fueron suministrados por el Instituto de Meteorología de la provincia de Sancti Spíritus, según contrato 1/2006.

Las variables suministradas fueron:

1. Temperatura Máxima
2. Temperatura Mínima
3. Diferencia entre Temperatura Máxima y Mínima

También se tuvieron en cuenta los rangos diarios para el mes de Septiembre siguientes:

Variable	**Rango**	**Total de días**
Temperatura Máxima	+ 32	360
Temperatura Mínima	- 21	360
Diferencia entre Temperatura Máxima y Mínima	+ 8	360

Para los datos de Guayos, se empleó la Estación Meteorológica de Sancti Spíritus, para Mayarí los datos de la Estación de Topes de Collantes y para Buenos Aires se utilizaros datos de esta localidad y los que faltaban se estimaron a través de las siguientes rectas de regresión.

Temp. Máx B. Aires = 2.418125 + 0.614604 * temp. máx. S. Spíritus + 0.240757 * temp. máx. Topes de Collantes; con $R^2 = 0.945$.

Temp. Míx B. Aires = 6.413475 + 0.415851 * temp. míx. S. Spíritus + 0.303218 * temp. míx. Topes de Collantes; con $R^2 = 0.953$

Análisis de la floración

Se utilizaron tres localidades, donde se encontraban 48 progenitores, a los cuales se les evaluó las siguientes variables:

1. Número de tallos. Se realizó a través del conteo de los tallos que se encontraban aptos para florecer en el mes de septiembre de cada año.
2. Número de tallos florecidos. Se contabilizaron los tallos donde su flor se hizo visible al finalizar el período de floración.

Con esta información se hicieron los siguientes cálculos:

- Porcentaje de floración (PF): Mediante la fórmula
  PF = (Tallos florecidos/Total de tallos) * 100

En cada localidad fueron estudiados 18 años de forma consecutiva desde 1990 al 2007
Las variedades se dividieron en cuatro grupos, fácil (florece en las tres localidades), regular (no siempre florece en Guayos), difícil (no todos los años florece en Mayarí) y rebelde (no florece en Guayos ni Mayarí y tiene afectación en Buenos Aires).
También se presentó en un mapa la temperatura media de la provincia y las posibles zonas de floración de los 4 grupos (0 a 3) para ello se utilizó el programa Surfer v. 8.0

Resultados y Discusión

Los valores críticos para que se produzca la floración están entre 21 y 32º C, como ha señalado Berding (2005). Por su parte Clement y Awada (1967) plantean que los rangos entre la temperatura máxima y mínima oscilan entre 6 y 10º C, para nuestro caso tomaremos un óptimo de 8.
Si analizamos los gráficos 1 al 3, donde aparecen los datos de las temperaturas máximas y mínimas por localidad, podemos ver diferencias apreciables que dependen de la altura.

Localidad de Guayos
Para el caso de Guayos, ubicada a 100 m snmm, estos valores se exceden de la máxima crítica (gráfico 1), y si analizamos la tabla 1 vemos que en el 36 % de los casos en septiembre se excede de 32 º C , incluso hay un año donde se sobrepasa los 34º C como media, siendo los valores mínimos máximos los adecuados en el 97 % de los casos, lo que indica que se produce floración en las variedades menos exigentes a los valores altos, que son las del grupo 1 (gráfico 4), también tiene en contra los rangos amplios entre máxima y mínima que sobrepasa los 10º C, en la mayoría de los años (tabla 2), por tanto no se produce floración en los grupos 3 y 4.

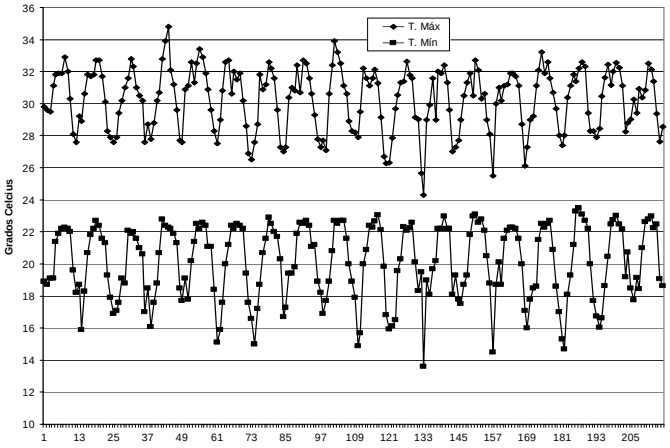


Gráfico 1. Temperatura Máxima y Mínima (º C), durante 18 años en Guayos

Localidad de Buenos Aires
Esta localidad se encuentra situada alrededor de los 400 m snmm y como se muestra en el gráfico 2 hay algo interesantes y es que las temperaturas están entre los rangos considerados óptimos para la inducción pues según la tabla 1 nunca excede los 32º C y siempre esta cercano a los 21-22º C (solo el 4 % de los casos no llega a los 21º C) lo que indica que esta en el rango correcto, además cumple otra condición y es que el rango entre la máxima y la mínima están alrededor de los 6º C (tabla 2) y solo el 3 % de los casos sobrepasa la diferencia de 8º C (tabla 1), señalado por Clements y Awada (1967), como óptimo para una buena floración, todo esto permite que exista floración en los diferentes grupos.

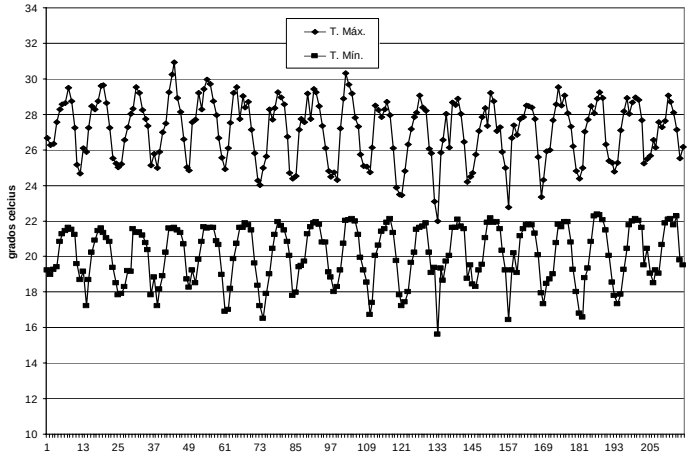


Gráfico 2. Temperatura Máxima y Mínima (º C), durante 18 años en Buenos Aires

Localidad de Mayarí

Esta área esta situada en la localidad más alta de las estudiadas pues alcanza los 800 m snmm y como se aprecia en el gráfico 3, la temperatura máxima es más bien baja pues hay años donde no llega ni a los 28º C, pero el valor que si afecta es el mínimo máximo óptimo que solo en el 17 % de los casos llega a los 21º C (tabla 1), no obstante se produce aceptable floración debido a que tiene un rango también estrecho de 7º C en la mayoría de los años (tabla 2), con un 14 % de días que sobrepasa los 8º C, lo que compensa y que la mínima máxima nunca llega a los 18º C, que si limitan la floración, por tanto como se ve en el gráfico 4, la afectación es en el grupo 4, que son las variedades de difícil floración.

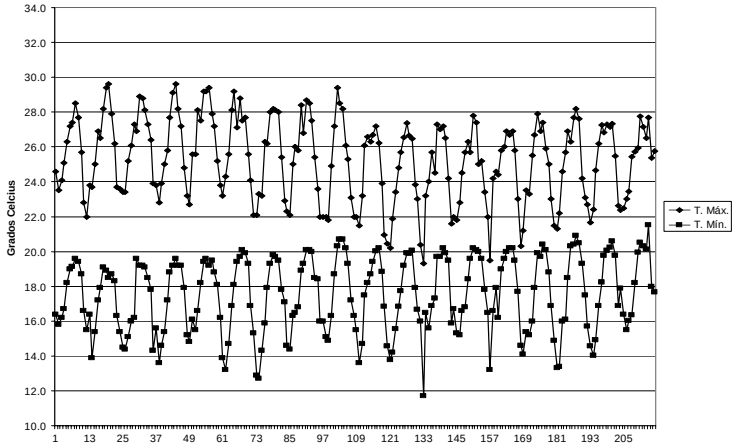


Gráfico 3. Temperatura Máxima y Mínima (º C), durante 18 años en Mayarí

Tabla I. Número de días totales en septiembre para las diferentes variables:

		Guayos		**Buenos Aires**		**Mayarí**	
Variable	**Rango**	Total	%	Total	%	Total	%
Temperatura Máxima	+ 32	130	36	0	0	0	0
Temperatura Mínima	- 21	10	3	15	4	299	83
Diferencia Máxima y Mínima	+ 8	280	78	9	3	51	14

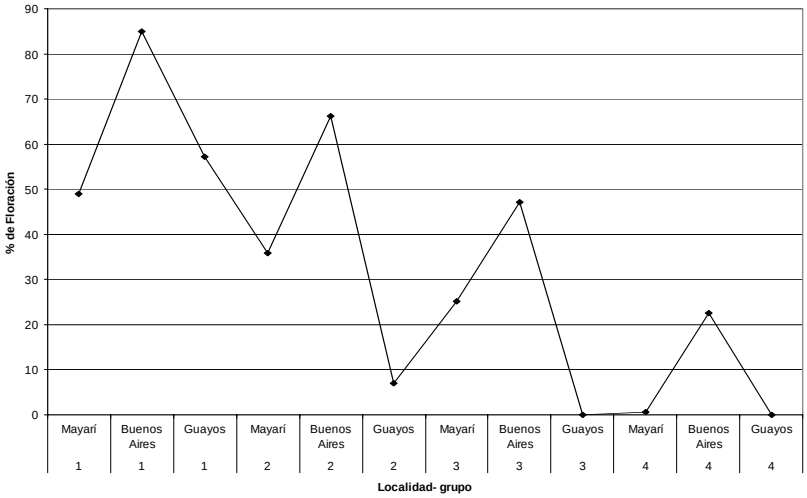


Gráfico 4. Valores promedios de 18 años de floración por localidad y grupo

Tabla II. Valores medios de diferencia de Temperatura Máx. y Mín. (º C), para las tres localidades durante los doce meses del año.

Mes	Guayos	Buenos Aires	Mayarí
1	10.61	6.77	7.47
2	11.81	7.77	8.48
3	11.85	7.98	8.69
4	11.93	8.40	9.36
5	10.49	7.57	8.62
6	9.23	6.77	7.69
7	9.98	7.35	8.19
8	9.89	7.26	8.02
9	**9.23**	**6.63**	**7.24**
10	8.57	5.96	6.53
11	8.76	5.75	6.23
12	9.36	5.99	6.61
Total general	10.14	7.02	7.76

Análisis de la provincia de Sancti Spíritus

El mapa de la provincia en el mes de septiembre muestra que existen dos zonas donde las temperaturas son similares a las de Buenos Aires, por lo que son las adecuadas para la floración, estas coinciden con las alturas de Sancti Spíritus y las de Trinidad, la primera con una zona más extensa y menos abrupta, en cuanto a cambios y la segunda donde rápidamente se alcanzan valores bajos de temperatura, también se destaca una extensa área de temperaturas donde solo podrán florecer las variedades del grupo 1 y muy limitadamente las del grupo 2, en años donde la temperatura bajen de 26º C y pudiera presentarse un área intermedia en las alturas de Yaguajay.

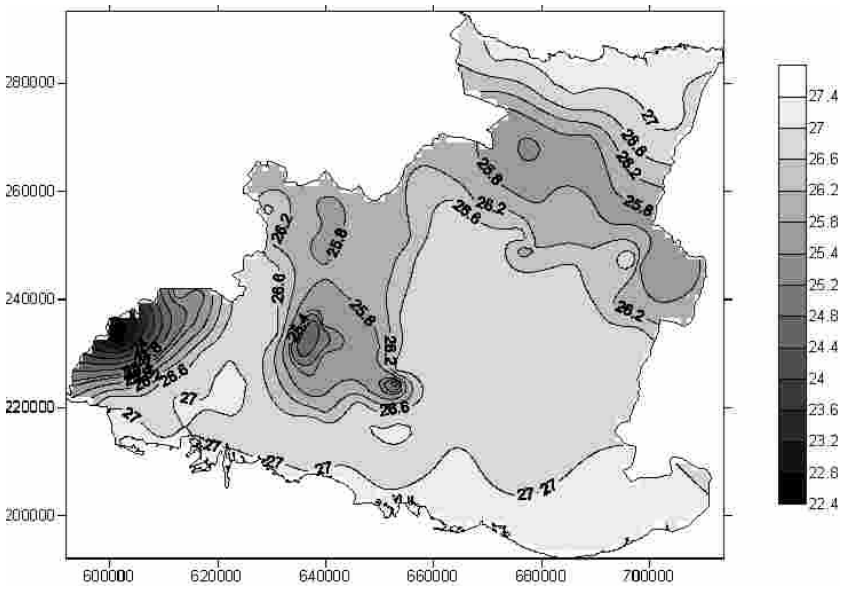


Gráfico 5. Valores medios de temperatura (º C) en la provincia, como promedio de 18 años en el mes de septiembre.

Lo señalado anteriormente se corrobora en el gráfico 6, donde se puede apreciar los buenos valores en la zona de Sancti Spíritus – Fomento y Trinidad (alturas de Topes de Collantes).

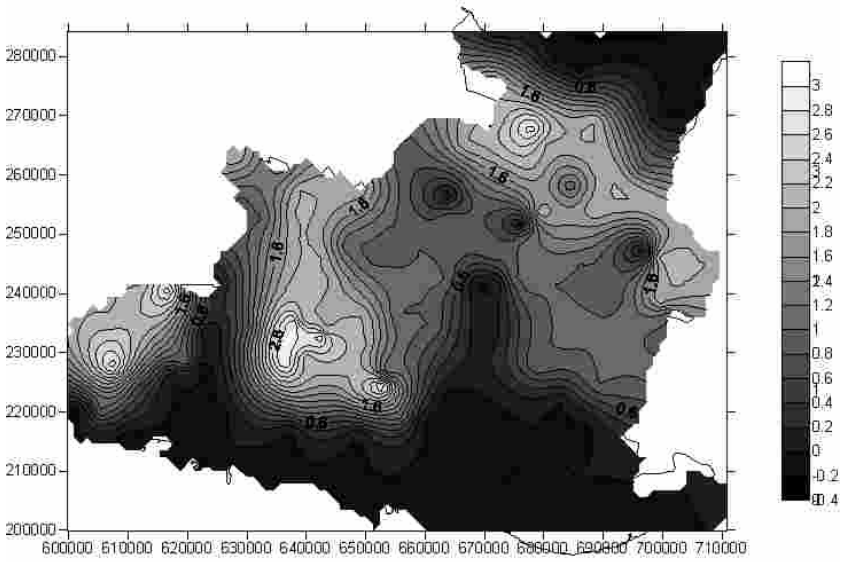


Gráfico 6 Valores de floración de peor (0) a mejor (3)

Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados alcanzados podemos concluir que:

- ✓ Las temperaturas son óptimas para la floración en las zonas de montaña ubicadas entre los 300 y 500 m snmm, que comprende el macizo montañoso de Guamuaya en las elevaciones de Trinidad y Sancti Spíritus, donde pueden florecer las variedades de todos los grupos.
- ✓ Se puede producir floración en las variedades menos exigentes (grupo 1) en la zona central y norte ubicada entre los 50 y 200 m snmm y en las del grupo 2, teniendo en cuenta el comportamiento de las temperaturas (principalmente las máximas) y las lluvias en la etapa inductiva.
- ✓ Las regiones mas elevadas ubicadas entre los 700 y 900 m snmm pueden producir floración en las variedades de los grupos 1, 2 y 3 pero con un crecimiento de la panícula más lento motivado por una temperatura más baja en los meses de octubre y noviembre.
- ✓ Las áreas llanas próximas a las costas y otras de un régimen pluviométrico bajo que hace que las temperaturas sean elevadas solo lograra alguna floración en el grupo 1 cuando estas condiciones sean menos extremas.

Recomendaciones

A partir de las conclusiones abordadas, para lograr una alta floración en el Centro Nacional de Hibridación recomendamos:

- ✓ Sembrar en Guayos o zonas similares las variedades del grupo 1 y 2, las primeras sin tratamiento adicional al tradicional, mientras que las del grupo 2 deben tratarse con riego (preferiblemente por aspersión) próximo a la etapa inductiva a partir que la temperatura comience a sobrepasar los 32º C.
- ✓ Sembrar en Mayarí o zonas similares las variedades de los grupos 1, 2 y 3, dentro de ellas las de floración temprana sin restricciones y el resto tratar de pasado el proceso inductivo moverlas a una zona donde las temperaturas nocturnas estén por encima de los 18º C.
- ✓ Sembrar en Buenos Aires o zonas similares las variedades de los grupos 2, 3 y 4, las primeras sin atenciones adicionales y las del grupo 3 y 4 con buenas condiciones de agrotécnia para que logren un buen desarrollo vegetativo y no sufran falta de humedad.

Referencias Bibliográficas

- ✓ Berding, N. (2005). Poor and variable flowering in tropical sugarcane improvement program: Diagnosis and resolution of major breeding impediment. ISSCT. (25). 493-503
- ✓ Coleman, R.E. (1963). Control the flowering and the use of pollen storage as techniques in a sugarcane breeding programme. Proc. ISSCT. 11. 533-540.
- ✓ Clements, H.F y M. Awada (1967). Experiments on the artificial induction of flowering in sugarcane. Proc. ISSCT. 12. 795-812.
- ✓ Gosnell, J. M. (1973). Some Factors affecting flowering in sugarcane. Proc. 47 conf. Agricultural Sug. Tech. Assoc.pp 144-147.

REACCIÓN FRENTE A LA ESCALDADURA FOLIAR (Xanthomonas albilineans (Ashby) Dowson) DE UN GRUPO DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR (SACHARUM OFFICINARUM L) ESTUDIADAS EN LA EPICA DE CAMAGÜEY. ANALISIS DE VARIEDADES PATRONES

M.Sc. Joaquin Montalvan[1]; Félix Valladares[1]; M.Sc. Isabel Torres[1], Yoslen Fernández[1]; Ivia Pouza[1]; Luis Aguila[1], M.Sc. Boris Platero[1], M.Sc. Antonio Vera[2], Dra. Eulalia Ojeda[3], Dr. Sergio castro[4], José Rodríguez[5] y Mónica Tamayo[6]

1. Estación provincial de investigaciones de la caña de azúcar de Camagüey.
2. Centro Nacional de hibridación Sancti Spiritus
3. Estación provincial de investigaciones de la caña de azúcar de Ciego de Avila.
4. Estación provincial de investigaciones de la caña de azúcar de Las Tunas.
5. Estación provincial de investigaciones de la caña de azúcar de Holguin.
6. Estación Territorial de investigaciones de la caña de azúcar Oriente Sur.
E-mail: jmontalvan@epica.cm.minaz.cu

RESUMEN

Las investigaciones se realizaron en áreas de Tayabito, perteneciente a la Estación Provincial de Investigaciones de la caña de azúcar de Camagüey sobre un suelo pardo con carbonatos en dos periodos de plantación, Marzo (Ciclo A) y Septiembre (Ciclo C) . Se probó la resistencia frente a la enfermedad de la escaldadura foliar de un grupo de nuevas variedades de caña de azúcar procedentes de las provincias de Sancti Spiritus, Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas, Holguín y la región Oriente Sur. Se utilizaron 40 trozos por variedad, contando las parcelas de 2 surcos de 20 plantones cada uno, se utilizaron además patrones de reacción conocida frente a la enfermedad. Transcurridas las 8 semanas de plantadas se decapitaron los tallos a la altura del último dewlap visible procediéndose a inocular un surco con una suspensión bacteriana de concentración 10^9, el otro se asperjó con una solución salina al 10 % de NaCl, Se evaluaron parámetros relacionados con la enfermedad y se determinó el porcentaje de severidad. Se utilizaron técnicas de regresión y análisis multivariado para definir comportamiento varietal. Se concluyó que El 46.69 % de los individuos estudiados manifestaron afectaciones inferiores al 10 % por lo que se consideran genotipos resistentes. El porcentaje de individuos afectados y el por ciento de severidad fue superior en el estudio plantado en el mes de septiembre. Los testigos no se comportaron dentro de los rangos esperados, a excepción de la C88-382 por lo que recomendamos utilizar la época de plantación para estos estudios en Ciclo C y Realizar estudio detallado para definir los testigos a utilizar.

Palabras clave: Escaldadura foliar, caña de azúcar, enfermedades, variedades

SUMMARY

The investigations were carried out in areas of Tayabito, belonging to the Sugarcane research Station of Camagüey on a brown carbonates in two periods of plantation, March (Cycle A) and September (Cycle o C). The resistance was proven in front of the leaf scald diseases of a group of new varieties of cane of sugar coming from Sancti Spiritus's, Ciego de Avila, Camagüey, Las Tunas, Holguín and the Oriente sur counties . 40 pieces were used by variety, counting the parcels of 2 furrows of 20 grafts each one, they were also used

patterns of well-known reaction in front of the diseases. Lapsed the 8 weeks of having planted the stems they were beheaded to the height of the last visible dewlap being proceeded to inoculate a furrow with a bacterial suspension of concentration 10^9 , the other one you asperjó with a saline solution to 10% of NaCl. Parameters related with the diseases were evaluated and the percentage of severity was determined. They were used technical of regression and analysis multivariado to define behavior varietal. The 46.69% of the studied individuals manifested inferior affectations to 10% for what are considered resistant genotipos. The percentage of affected individuals and the percent of severity were superior in the study planted in the month of September. The witness didn't behave inside the prospective ranges, to exception of C88-382 for what we recommend to use the plantation time for these studies in Ciclo C and to Carry out detailed study to define the witness to use.

Key words: Leaf scald, sugarcan, diseases, varieties.

INTRODUCCION

Una de las enfermedades de mayor importancia en el cultivo, por sus efectos sobre los rendimientos agrícolas, la calidad de los jugos y las elevadas pérdidas que provoca en su fase aguda, estimadas entre 90-100% resulta ser la escaldadura foliar, causada por *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson, (Ricaud y Ryan, 1989, Hoy y Grisham, 1994).

Esta enfermedad se encuentra presente en mas de 54 países y en las últimas décadas se han registrado numerosos brotes de la enfermedad en diferentes áreas cañeras del mundo informándose grandes pérdidas en variedades altamente susceptibles (Rott y Davis, 2000).

En Cuba los primeros reportes de la enfermedad datan de 1978 en la provincia de Camagüey en áreas de Sabanilla, lugar ocupado actualmente por el INIVIT, posteriormente durante el período 1978-1982 se detectó la presencia de la enfermedad en 14 focos distribuidos en 7 provincias del país (Rivera *et al.*, 1979). Años más tarde se detectó la existencia de infecciones latentes en vitroplantas y plantaciones comerciales y se señaló el peligro del resurgimiento de la enfermedad (Peralta *et al.*, 1997).

A finales de 1997 y principio de 1998 se observaron nuevos brotes de la enfermedad en mas de 400 genotipos de la replica del banco de germoplasma de la provincia de Matanzas y en otras áreas cañeras del país entre las que figuraban en mayor cuantía la provincia de Camagüey, encontrándose brotes severos en las variedades C275-80, Ty86-28 y C88-382 (Pérez, *et al.*, 2000).

Actualmente el número de países afectados por la escaldadura está en aumento. Su incidencia se ha incrementado a niveles alarmantes en algunas regiones, incluyendo el Caribe, donde las afectaciones en Florida, Guadalupe, Guatemala, Louisiana, México y Texas han constituido un factor limitante en la producción y el desarrollo de nuevas variedades de caña (Rott, y Davis 1995; Davis *et al*., 1997).

El uso de variedades resistentes y el uso de semilla sana son los métodos más eficaces para el control de esta enfermedad que tiene entre sus vías de propagación el material de plantación (INICA 2002)

Teniendo en cuenta la diseminación de la enfermedad por las áreas cañeras del país y la necesidad de recomendar variedades resistentes ante la patología nos propusimos como objetivo estudiar el comportamiento de un grupo de variedades de caña de azúcar frente a la escaldadura foliar en dos épocas de plantación.

MATERIALES Y METODOS

Las investigaciones se llevaron a cabo en áreas de Tayabito, perteneciente a la Estación Provincial de Investigaciones de la caña de azúcar de Camagüey sobre un suelo pardo con carbonatos en dos periodos de plantación, Marzo (Ciclo A) y Septiembre (Ciclo C) .

Se probó la resistencia frente a la enfermedad de la escaldadura foliar de un grupo de 377 nuevas variedades de caña de azúcar procedentes de las provincias de Sancti Spiritus, Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas, Holguín y la región Oriente Sur.
De cada variedad se utilizaron 40 trozos de tres yemas, las cuales se plantaron directamente en el campo contando las parcelas de 2 surcos de 20 plantones cada uno, se utilizaron además patrones de reacción conocida frente a la enfermedad, (My5514, resistente; L-55-5, susceptible así como las variedades C275-80 y C88-382 proscritas en la provincia de Camaguey por su alta susceptibilidad a la enfermedad, por lo que fueron consideradas patrones locales de susceptibilidad.
Transcurridas las 8 semanas de plantadas se decapitaron los tallos a la altura del último dewlap visible procediéndose a inocular un surco con una suspensión bacteriana de concentración 10^9, el otro se asperjó con una solución salina al 10 % de NaCl.
Se realizaron evaluaciones mensuales relacionadas con la enfermedad, contabilizando los siguientes síntomas:
FL: No de tallos con pocas líneas blancas en las hojas (1 ó 2 por hojas , valor 1)
ML: No de tallos con líneas blancas en las hojas (más de 2 por hojas , valor 2)
CB: No de tallos con hojas cloróticas o blanquecinas (valor 3)
N: No de tallos con hojas necrosadas (valor 4)
D: No de tallos muertos o tallos con brotes laterales (valor 5)
T: No total de tallos
Con los parámetros anteriormente señalados se procedió a realizar el cálculo de la severidad de ataque utilizando la ecuación propuesta por Rott (1994). Citado por INICA 2002
DS = ((1FL + 2ML + 3CB + 4N + 5D)/5T) * 100.
Con los resultados obtenidos y utilizando técnicas de regresión y otras técnicas de análisis multivariado se procedió a ajustar la reacción de los genotipos estudiados y definir su comportamiento ante la enfermedad, así como definir la mejor época del año para realizar este tipo de prueba.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la figura 1 se puede apreciar los porcentajes de individuos agrupados en cada grado de resistencia tomando como base la severidad de ataque (DS) en cada uno de los genotipos estudiados.
Puede observarse que en las categorías de Altamente resistente (AR), Resistente (R) e Intermedia (INT) se agruparon los mayores porcentajes de individuos, correspondiendo este valor a aproximadamente el 60% de los individuos estudiados (59.82 %), el resto de los genotipos se comportaron como Susceptibles (S) y Altamente Susceptibles (AS).
Estos resultados nos permiten realizar una valoración de la posibilidad de utilizar como progenitores los individuos que presentaron una alta resistencia a la patología lo que nos seria de gran utilidad en la búsqueda de fuentes de resistencia, pues con estos estudios se comienza a dar los primeros pasos en el estudio de la resistencia varietal ante la enfermedad, pues hasta el año 2002 estos estudios no se encontraban comprendidos dentro del esquema de obtención de variedades en nuestro país..
En la Fig. 2 se puede apreciar la comparación de las afectaciones en ambas épocas de plantación y ambas cepas teniendo en cuenta el material inoculado y utilizado como testigo. Como puede apreciarse el material plantado en el mes de septiembre presento las mayores afectaciones en la cepa de caña planta, mientras que las plantadas en el mes de marzo tuvieron mayores afectaciones en la cepa de retoño lo que responde al incremento creciente de la patología en cepas sucesivas dada la condición de la misma de ser considerada una de las patologías vasculares de mayor peligro para la producción azucarera. Esta condición de no manifestación de la enfermedad en retoño también puede deberse a una manifestación eclíptica de la enfermedad, que no es mas que una manifestación de la fase de latencia.
En la Fig. 3 puede apreciarse el comportamiento de los genotipos utilizados como patrones, como se puede observar aun no existe una clara definición de que estos son los patrones que deben ser utilizados, pues

algunos de ellos manifestaron comportamiento muy diferente a lo planteado en la literatura,, ejemplo de ello lo constituye la My5514 recomendada como resistente según normas metodológicas del INICA 2002 mostró en algunos casos comportamiento susceptible. La variedad que mantuvo el comportamiento mas estable fue la C88-382 manifestándose como susceptible, por lo que puede usarse como testigo extremo de susceptibilidad al igual que la L55-5, esta última si los estudios son plantados en Ciclo A.

En la Tabla I se muestra el agrupamiento de los individuos por categorías de resistencia. Los resultados reflejados en la misma corroboran lo planteado en el gráfico 1. Los individuos agrupados en el grado I pueden ser recomendados, además de cómo variedades a comercializar pueden, engrosar el número de individuos que actualmente conforman los lotes de hibridación par ser utilizados como progenitores en busca de resistencia varietal a la Escaldadura foliar. Los individuos agrupados en el grados II pueden ser recomendados como variedades comerciales si cumplen con los otros parámetros de calidad agroindustrial descritos en las normas metodológicas del programa de fitomejoramiento. Los genotipos del grado III pueden ser utilizados con un adecuado manejo de los mismos. Los restantes individuos grados IV y V no deben ser utilizados con fines ni comerciales, ni genéticos.

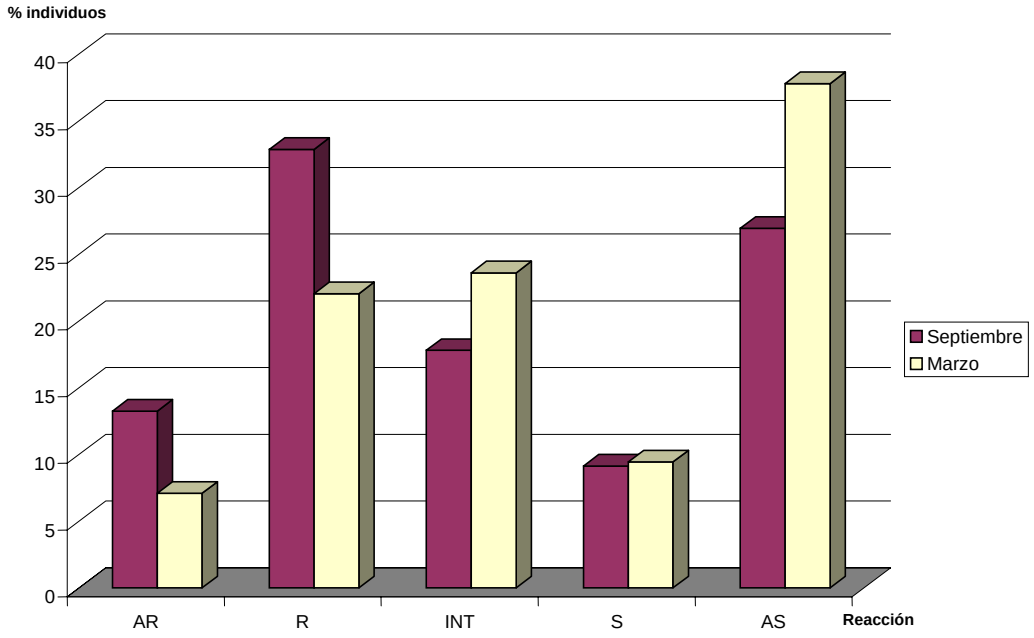


Fig. 1 Porcentaje de afectación de las variedades en estudio agrupadas por grados en ambas épocas de plantación

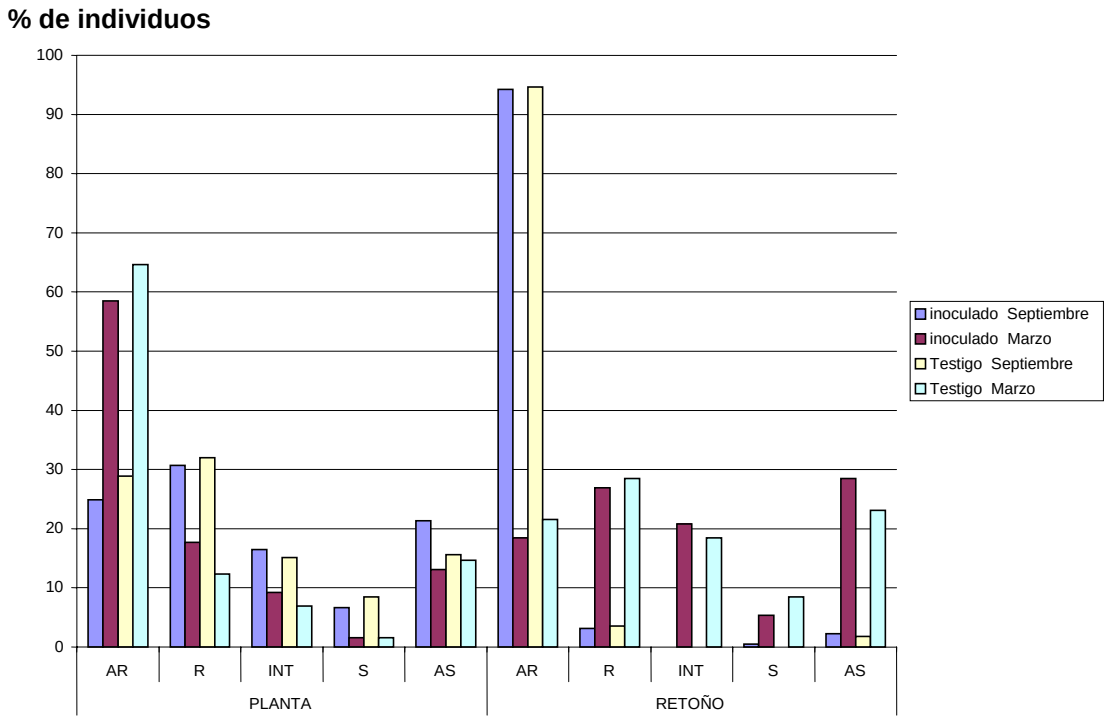


Fig. 2: Comparación de las afectaciones en ambas cepas y épocas de plantación (Inoculado y Testigo).

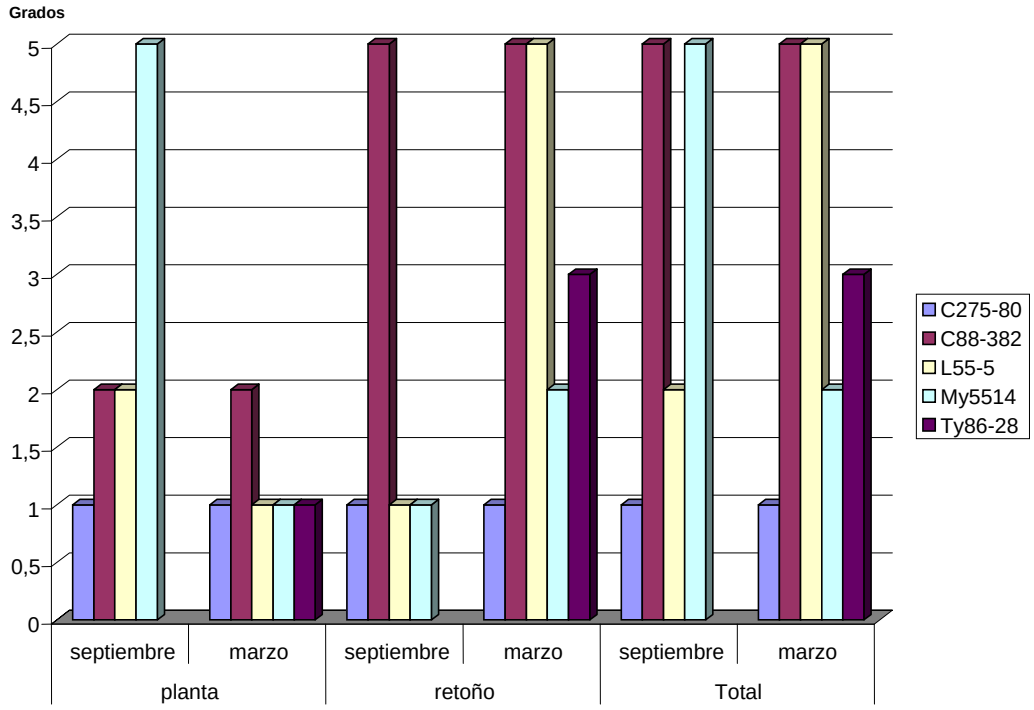


Fig. 3 Comportamiento de los genotipos utilizados como patrones de reacción conocida

Tabla I. Reacción de un grupo de genotipos de caña de azúcar frente a la escaldadura foliar por inoculación artificial

Grado	Reacción	Genotipos
I	AR	PB50-23, C101-94, C105-94, C11-94, C1525-75, C187-68, C21-94, C82-105, C85-371, C88-356, C89-176, C90-317, C91-364, C91-371, C93-386, C95-372, C96-382, Co6806, Co997, CP52-43, CP70-1133, CSG90-274, Ja14-4-3, Ja54-143, JA64-5, My5724, Pomex72, ROSITA, TM543, 7BA91, C96-342 , C96-344 , C97-307, C97-366, C97-368, C97-377, CLON460/92, RB835486
II	R	13-88/89BJ , 2AD91, 3BA91, 48-88/89BJ, 54-88/89BJ, BJ51129, C95-416, C96-336, C96-338, C96-339, C97-305, C97-309, C97-357, C97-360, C97-364, C97-369, C97-372, C97-376, C97-379, C97-380, C97-445, CP72-2086, Ja64-20, M165/38, PP67-1070, RB745433, SC10888, SP71-8210, B45211, B6368, B7274, B80250, C107-94, C10-94, C116-94, C117-94, C119-94, C120-78, C128-94, C130-94, C132-81, C132-94, C138-94, C13-94, C144-94, C14-94, C177-68, C20-96, C24-96, C26-94, C27-94, C294-70, C35-94, C40-94, C48-96, C50-96, C53-94, C54-94, C568-75, C57-94, C60-94, C86-165, C86-251, C88-380, C88-381, C88-387, C89-250, C89-372, C90-316, C90-530, C91-354, C91-356, C91-358, C91-361, C91-362, C91-367, C92-376, C92-378, C92-380, C92-381, C92-388, C92-390, C93-387, C94-353, C94-361, C95-371, C95-580, C96-384, CSG90-262, CSG90-269 I-12, Ja1-52-123, JA22-12-4, Ja34-16-23, Ja55-663, Ja64-11, L55-5, My56127, Phill660, PQJ, Ty76-25
III	MR	B45181, B60267, BLACK FIJI, C137-81, C150-96, C203-82, C39-94 , C52-94, C87-252, C89-173, C90-388, C90-390, C90-501, C91-355, C91-365, C92-373, C92-377, C92-389, C93-382, C93-384, C94-357, C94-365, C95-175, C95-570, CSG90-257, CSG90-271, CSG90-272, CSG90-281, Ja 64-2, Ja 64-3, Ja1-57-23, Ja1-69-30, Ja22-10-8, Ja3-23-1, Ja60-5, JA62-6, Ja64-19, JAPONESA, P33-29, 110AUM91, 18-88/89BJ , 1BA91, 29-88/89BJ, 34-88/89BJ, 35-88/89BJ, 46-88/89BJ, 55-88/89BJ, 88AUM91, C85-403, C90-647, C95-415, C95-423, C96-340, C96-343, C97-308, C97-354, C97-355, C97-362, C97-371, CLON240-92, CLON513/92, CLON80P/88, CP70-1527, H39-5803, PR1000, PR631070, SC384, T95-9, Y83-271
IV	S	40-88/89BJ, 47-88/89BJ , 56-88/89BJ, C97-352, C97-359, C97-367, C97-374 , CLON1016P/86, CLON106/92, SP71-1406 , T96-868, Uba Marot, B3066, C105-96, C126-78, C137-94, C155-96, C211-91, C266-70, C463-46, C525-50, C87-632 , C88-393, C92-379, C93-383, C94-368, Co285, CSG90-279, JA13-13-8, JA3-15-2, Q67, Ty76-16
V	AS	27MQ1124, 27MQ1194, 33MQ157, B77683, C1051-73, C108-96, C109-96, C117-78, C139-94, C145-94, C15-94, C1616-75, C23-94, C2-95, C38-94, C433-46, C48-94, C5-96, C87-635, C88-382, C88-556, C89-381, C89-384, C93-385, C93-94, C94-366, C94-367, C96-385, CP36-138, CSG90-253, CSG90-256 I-20, CSG90-267, CSG90-268 I-16 , CSG90-273 I-19, CSG90-275, CSG90-278, CSG90-280 I-13, CSG90-282, CSG90-283, CSG90-284, CSG90-291, CSG90-292 I-3, CSG90-293, CUBA ESPECIAL, G269, H109, Ja1-57-18, Ja54-89, Ja60-9, Ja64-4, My5514, MY584, POJ2725, PPQK, Q49, Q68, RB345433, TM346, TUC510, 11BA91, 25-88/89BJ, 28-88/89BJ, 33-88/89BJ, 36-88/89BJ, 37-88/89BJ, 41-88/89BJ, 45-88BJ, 4BA91, 62-88/89BJ, 6BA91, C140-81, C53-97, C95-330, C95-332, C95-335, C96-337, C96-341, C97-306, C97-310, C97-353, C97-356, C97-358, C97-361, C97-365, C97-370, C97-373, C97-375, C97-378, C97-381, CLON18/90, CLON21/90, CLON254/92, CLON30/88, CLON429/92, CLON431/92, CP54-307, M202-46, MEX60-1459, PR980, Q101, SC1051-73 , SP71-680, T95-1028, T95-107, T95-198, T95-252, Y71-51

CONCLUSIONES

- El mayor número de individuos se comportó en las categorías de resistentes e intermedios.
- Los individuos agrupados en las categorías de susceptibles y altamente susceptibles deben ser limitados para su uso.
- Los patrones de resistencia utilizados no manifestaron una estabilidad acorde a su grado de reacción.

RECOMENDACIONES

- Utilizar los individuos altamente resistentes como progenitores en la búsqueda de resistencia a la enfermedad.
- Realizar nuevos estudios para definir los patrones a utilizar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Davis, M.J., Rott,P., Warmuth, C.J., Chatenet, M., & Baudin, P. (1997). Intraspecific genomic variation within **Xanthomonas albilineans** , the sugarcane leaf scald pathogen. Phytopathology 87:316-324.

Hoy, J.W., and Grisham, M.P.(1994). Sugarcane leaf scald distribution, symptomatology, and effect on yield in Louisiana, **Plant Disease**, 78:1083-1087.

INICA 2002. Normas y procedimientos del mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba. Editores. H. Jorge, R. Gonzáles, M. A. Casas G, I. Jorge G. 315 pp.

Peralta, E.L., Martinez, B., Martín, D. & Jones, P. (1997). Quality control for the production of pathogen-free plantlets in cuban sugarcane biofactories. ISSCT Pathology and Molecular Workshop, Abstracts, South Africa, May, 1997.

Pérez, M.J.R., Chinea, A., Matos, M. & Montalvan, J. (2000). Causas de la propagación y desarrollo de la escaldadura foliar de la caña de azúcar en Cuba. Resúmenes, 15 Aniv. EPICA Santiago de Cuba.

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. Amsterdan. The Netherlands: Elsevier Science Publishers: 39-58.

Rivera, N., Hevesi, M., Stefanova, M. & Albornoz, A. (1979). Dos nuevas enfermedades bacterianas en caña de azúcar en Cuba. Primera Jornada Científica de Sanidad Vegetal.

Rott, P., & Davis, M.J. (1995). Recent advances in research on variability of **Xanthomonas albilineans**, causal agent of sugarcane leaf scald disease. In: Proceding of XXII Congress ISSCT /Sept.95, Colombia.

Rott, P. & Davis, M.J. (2000). Leaf scald. In: A guide to Sugarcane diseases. CIRAD and ISSCT 2000, p.163-169.

VARIEDADES DE CAÑA DE AZUCAR EN CUBA. NUEVO ENFOQUE PARA SU CONCEPCIÓN Y MANEJO

Héctor Jorge, Ibis Jorge, Héctor García, Norge Bernal, Gelasio Pérez, Lorenzo Cabrera, René Díaz, Antonio Vera, Víctor Caraballosa, Oscar Suárez, Irenaldo Delgado, Isabel Torres, Alberto González, Julio Vallina, Rubisel Cruz, Adrián Céspedes, Reinaldo Rodríguez, Salvador Rill, José M. Mesa, Ignácio Santana, José Rodríguez, Roberto Almeida, Rolando González, Susana Tuero, Hugo Games, José Pérez, Ricardo Campo, Eulalia Ojeda y Sergio Castro

Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA)
Carretera CAI Martínez Prieto Km $2^{1/2}$. Edificio IPROYAZ, Boyeros, CP19390, Ciudad de La Habana
Teléfonos: (53-7) 262 4438 y 260 2571
Fax: (53-7) 260 2571
e mail: hector@inica.minaz.cu, ibis@inica.minaz.cu

Resumen

La introducción, ampliación y explotación de los Recursos Fitogenéticos de la caña de azúcar en Cuba, ha mostrado un crecimiento sostenido en los últimos 20 años, lo que ha servido de base científico técnica para el trabajo de mejoramiento genético, destacándose la contribución del ambiente a la variación fenotípica total, así como la incidencia en la agricultura cañera actual de los factores limitantes (sequía y mal drenaje), en función de la disminución del efecto negativo de estos factores, se han recomendado a la producción 14 nuevos cultivares tolerantes a sequía y 10 para mal drenaje con resistencia a roya y carbón, que al cierre de 2007 ocupaban 101 446.2 ha y 69 489.7 ha, que representan 18.15 % y 12.43 % del área cañera nacional respectivamente. Otro aspecto a tener en cuenta son los ciclos largos de cosecha, para ello se han recomendado 21 variedades que se adaptan al mismo y ocupan 163 197.3 ha (29.2 %). En los últimos años el Programa de Fitomejoramiento ha logrado una mejora progresiva de la sanidad del cultivo, a través de un riguroso trabajo de mejora para la resistencia, que se traduce en la disminución del porcentaje de área ocupada por variedades susceptibles a las principales enfermedades de la caña de azúcar en Cuba. Se presentan alternativas para la evaluación y manejo de los genotipos, definiendo indistintamente el inicio y final de la zafra por zonas edafoclimáticas en correspondencia con el agrupamiento en familias de variedades. Entre los aportes del Programa de Fitomejoramiento cubano está la recomendaron de 21 genotipos de alto porcentaje de digestibilidad de la materia seca, para su explotación en áreas ganaderas del país. Finalmente se presenta la evolución de las variedades cubanas y la composición actual, en la que se observa un incremento en variedades nacionales a partir de la década de los 80, que alcanza 85.7 % y sólo 14.3 % de variedades foráneas.

Palabras claves: Recursos fitogenéticos, variedades, diversificación, madurez

Introducción

La caña de azúcar constituye una de las principales fuentes de alimentación para el hombre, además de utilizarse ampliamente los productos derivados a partir de diferentes procesos industriales de este cultivo. En el mundo 15 000 000 ha eran dedicadas a estas plantaciones, siendo los principales países productores de caña de azúcar Brasil, Pakistán, India, y Australia (Rossi, 2001).

Para Cuba representó el principal producto agrícola e industrial y fuente de riquezas, es por ello que, 1.5 millones de ha, que representaron el 40 % del área total cultivable, fueron dedicadas a estas plantaciones. La agroindustria azucarera cubana a partir del año 2002, redujo sustancialmente el número de fábricas y el área dedicada al cultivo de la caña de azúcar, no obstante este continúa siendo un rublo importante en la economía del país, y actualmente el área dedicada a la agricultura cañera es de alrededor de 750 000 ha, que representan el 20 % del área total del país, y donde se explotan los suelos más productivos, facilitando que los cultivares expresen su mayor potencial genético productivo.

En el país se trabaja sistemáticamente para lograr una agricultura cañera cada vez más ecológica, u orgánica, menos dependiente de los costosos insumos de productos químicos y que basada en el más moderno desarrollo

científico - técnico, posea una verdadera racionalidad ecológica y sustentabilidad económica (Jorge y García, 1995).

La variabilidad natural de las lluvias, de la temperatura y de otras condiciones del clima es el principal factor que explica la variabilidad de la producción agrícola, lo que constituye uno de los factores principales de la falta de seguridad alimentaría. La selección de aquellas variedades azucareras que produzcan la mayor cantidad de azúcar por unidad de área, con un volumen mínimo de materia prima para procesar industrialmente, es objetivo de trabajo prioritario para muchos países productores de azúcar, empeñados en lograr mayores beneficios económicos en la explotación del cultivo (Pérez *et al.*, 2004).

En los últimos años como consecuencia del calentamiento global y del cambio climático a él asociado se está presentando una marcada diferencia de la respuesta tanto agroindustrial como fitosanitaria de los cultivares, hasta entonces de un comportamiento estable. Unas de las vías para resolver esta situación han sido el aprovechamiento máximo de la adaptabilidad específica y su agrupamiento en familias para la cosecha.

El déficit de insumos y el consecuente reordenamiento de la agroindustria azucarera cubana, ha tenido un impacto significativo en la producción de azúcar del país, por lo que el período de desarrollo de las contiendas azucareras ha variado significativamente, tanto en momento como en duración, con respecto a lo que tradicionalmente se venía realizando.

Es objetivo central de este trabajo mostrar los resultados alcanzados en el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) por el Programa de Fitomejoramiento, con especial referencia a:

- Introducción de variedades
- Ampliación y explotación del germoplasma cañero de Cuba
- Estudio del efecto ambiental en diferentes localidades y etapas del esquema de selección
- Recomendación y explotación de variedades tolerantes a condiciones de estrés ambiental (sequía y mal drenaje) y variedades para ciclos largos de cosecha con resistencia a las principales enfermedades que afectan al cultivo.
- Influencia del programa de fitomejoramiento en la situación fitosanitaria del país.
- Recomendación de nuevos cultivares de alto porcentaje de digestibilidad de la materia seca y resistente a las principales patologías que afectan al cultivo para su explotación en la alimentación del ganado vacuno.
- Estudiar la dinámica de maduración de la caña de azúcar desde noviembre a mayo en cuatro regiones contrastantes del país.
- Evolución y composición actual de las variedades de caña de azúcar en Cuba.

Recursos fitogenéticos

Introducción de variedades

A partir del año 1969 hasta el año 2007, se han introducido en el país un total de 2 632 formas e híbridos comerciales procedentes de 28 países (Fig. 1), permitiendo aumentar la variabilidad genética de partida, aspecto que se denota en que la mayoría de las variedades cubanas actualmente en explotación, extensión e introducción en la producción azucarera cubana, tienen al menos uno de sus progenitores procedente de variedades introducidas al país (Bernal *et al*., 1997; Jorge *et al*., 2000; INICA, 2001 y González *et al*., 2008). Después de realizar el proceso correspondiente a la cuarentena se han liberado 1 026 variedades de diferentes orígenes geográficos (Fig.2)

La introducción de material genético requiere consultar la información disponible en las colecciones de germoplasma internacionales, la cual es sólo factible manipular y consultar a través de bases de datos creadas para este fin, además del desarrollo de una etapa o fase intermedia entre la introducción y la utilización de este material.

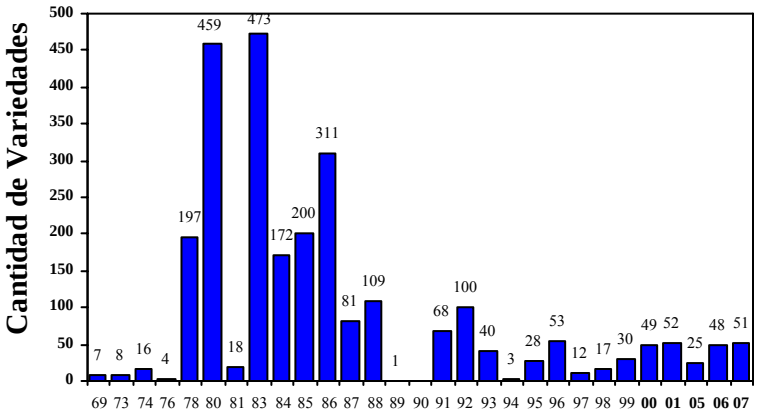


Fig.1 Variedades introducidas por año

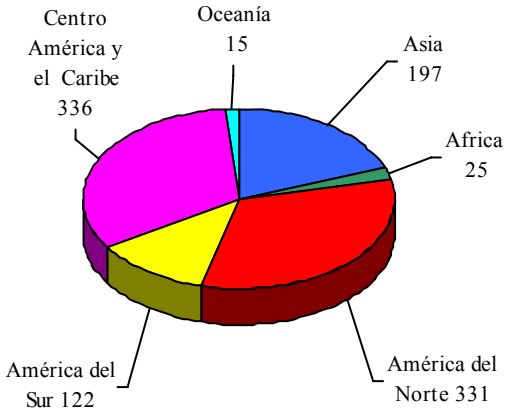


Fig.2 Variedades liberadas por origen geográfico

Colección de Germoplasma

En Cuba en el año 1984 existían 1 200 formas e híbridos, se trabajó en tres vías fundamentales para la ampliación: intercambio internacional, expediciones a centro de orígenes y nuevos individuos producto del mejoramiento nacional (Jorge *et al*., 2003), la colección al cierre del año 2007, contaba con 3 534 formas e híbridos (nacionales y extranjeros) y géneros afines (Jorge, 2006). (Fig. 3), sin embargo aún se emplean en las campañas de hibridación más de 88 % de híbridos comerciales (Fig. 4) por lo que es necesario un mayor uso de las especies originales con el propósito de ampliar la variabilidad genética, como lo señaló de Prada 1997 (Fig. 5).

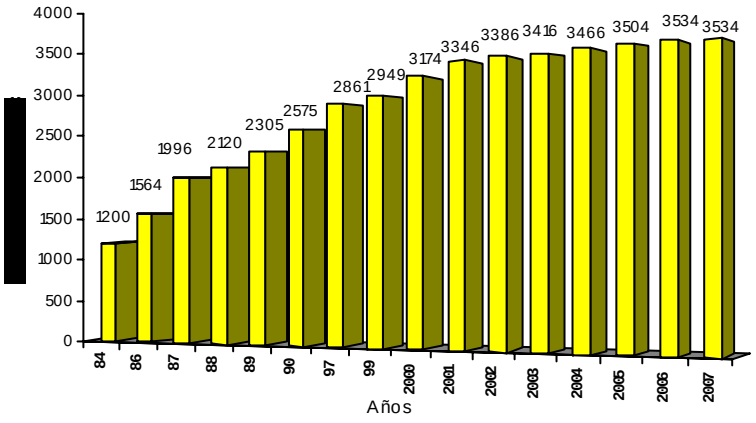


Fig.3 Evolución del Germoplasma en Cuba

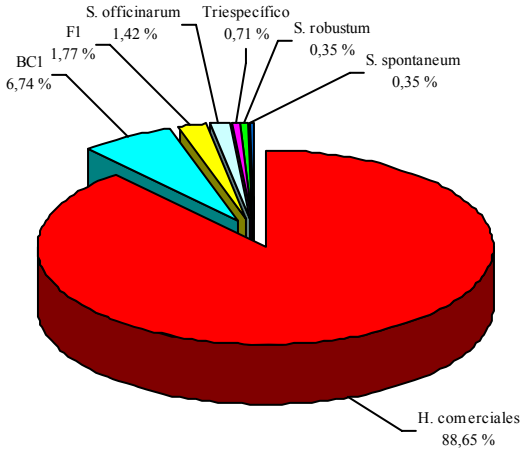


Fig.4 Explotación de los recursos genéticos por categorías u origen básico

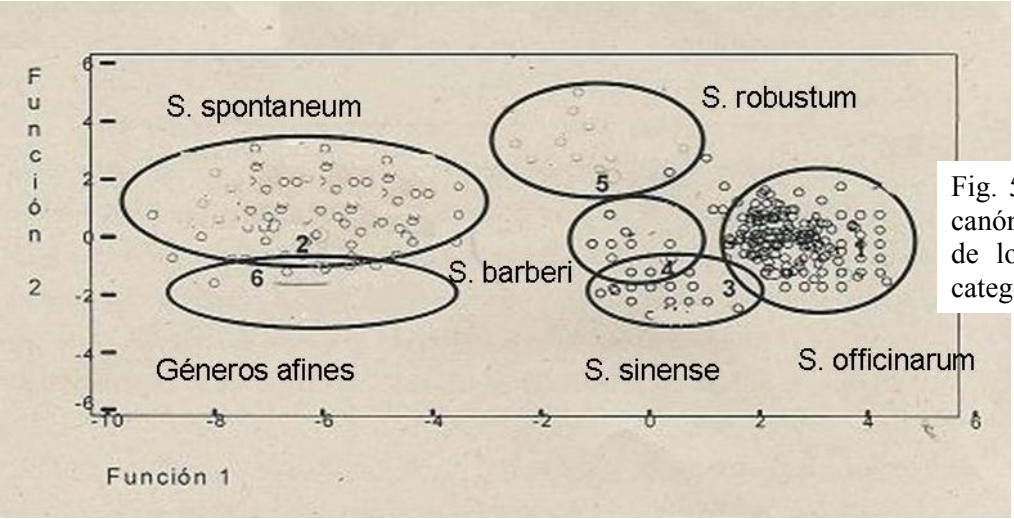


Fig. 5 Función discriminante canónica en el agrupamiento de los individuos según su categoría taxonómica

Efecto del ambiente sobre la variación fenotípica total en las diferentes etapas del esquema de selección

Estudios realizados en diferentes localidades del país y en distintas etapas del esquema de selección (Cruz, 1994, García, 2004, Estévez, 2005 y Vera 2005), han demostrado que el ambiente es el que tiene mayor contribución a la variación fenotípica total, lo que refleja la importancia de un adecuado manejo de los cultivares por sitios de selección (Tablas II-VI) y la necesidad de la replicación en tiempo y espacio, con el propósito de disminuir la influencia del mismo.

Tabla II. Estudios de Lote de posturas en la provincia de Holguín

	Caracteres			
	Brix	**Diámetro**	**No. de Tallos**	**Longitud**
σ^2 G	21.64	30.86	28.48	0.01
σ^2 E	35.51	38.27	48.2	99.38
σ^2 G x E	24.80	30.87	9.87	0.26

Tabla III. Resultados estudios realizados en lote Clonal II. Diseño Biparental. (Estevéz, 2005)

Comp. varianza	Brix	Diámetro	Altura	No. de tallos
Vg	6.0	0.3	0	0
Vg xe	15.7	0.8	37.8	21.6
VA	78.3	98.9	73.7	82.2

Tabla IV. Resultados de los estudios replicados (Vera, 2005)

Comp. varianza	tcaña/ha	% pol	T pol/ha
Vg	1.0	0	1.0
Vg xe	0.1	9.3	0.2
VA	96.7	80.4	97.8

Tabla V. Resultados de los estudios replicados en condiciones de sequía (García, 2004)

Comp. varianza	tcaña/ha	% pol	tpol/ha
Vg	19.1	37.9	20.6
Vg xe	29.2	30.5	28.6
VA	51.7	31.6	50.8

Tabla VI. Resultados de los estudios replicados en condiciones de mal drenaje (García, 2004)

Comp. varianza	tcaña/ha	% pol	tpol/ha
Vg	0.6	44.2	1.0
Vg xe	42.2	32.2	37.5
VA	57.2	23.6	61.5

La red del INICA cuenta con 17 bloques experimentales (Fig.6), no obstante estos son insuficientes para el estudio de los cultivares, lo que fue ratificado por Vera, 2005 en la provincia de Sancti Spíritus (Fig.7).

Fig.6 Red Experimental del

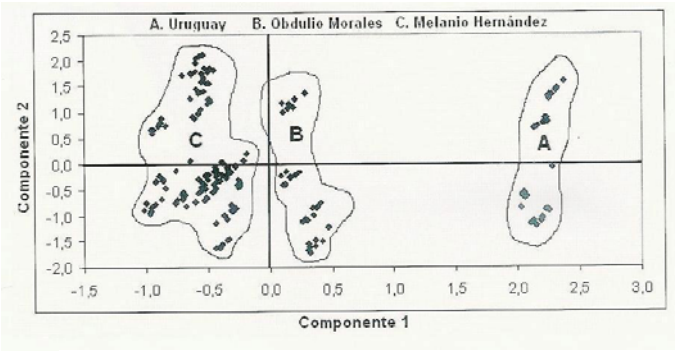
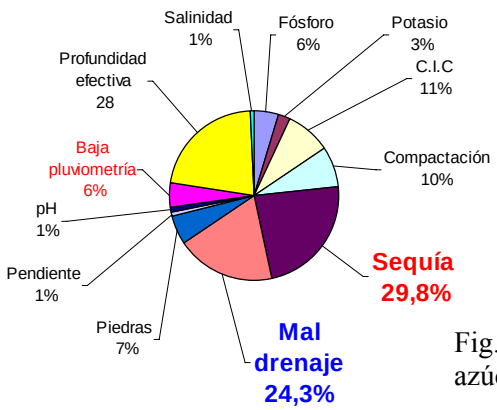


Fig. 7 Resultados del análisis de componentes Principales

Variedades tolerantes a las condiciones de estrés por sequía y mal drenaje



Villegas *et al*. (2003), señalaron que (29,8 %) (24,3 %) de los suelos de Cuba se encontraban en áreas cuyo factor limitante era la sequía y mal drenaje respectivamente (Fig.8), lo que evidencia la necesidad de establecer programas de mejora para obtener variedades para estas condiciones. García (2004), reflejó el comportamiento diferenciado de las localidades de estudio (Fig. 9 y 10) y la necesidad de ampliar las mismas para estas condiciones.

Fig. 8 Factores limitantes del rendimiento de la caña de azúcar en Cuba

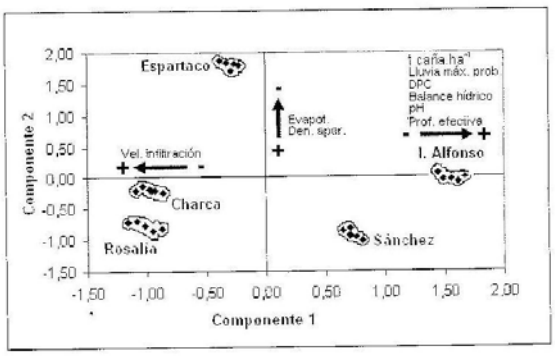


Fig. 9 Representación de los ambientes de estrés por sequía en el plano de las componentes 1 y 2

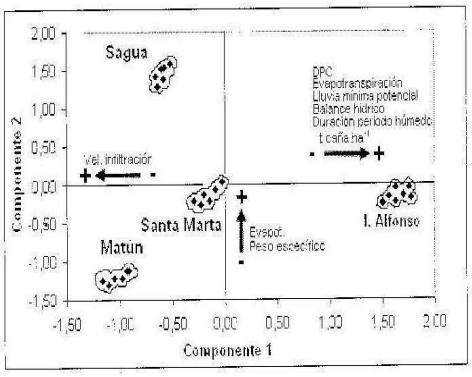


Fig. 10 Representación de los ambientes de estrés por mal drenaje en el plano de las componentes 1 y 2

Par dar respuesta a esta problemática se han desarrollado Estudios de Fitomejoramiento participativo en 37 Unidades de Producción de distintas empresas del país.

Estudios realizados por García (2004), empleando dos diseños genéticos estadísticos (Biparental y Jerárquico) y utilizando las mismas combinaciones para estas condiciones de estrés, obtuvo que los caracteres de mayor heredabilidad en las áreas de sequía fueron el brix y el diámetro, mientras que para las áreas de mal drenaje lo fueron la longitud y el numero de tallos por lo que es de esperar un mayor avance por selección para estos caracteres en las distintas zonas evaluadas (Tabla VII).

Tabla VII Comportamiento de los componentes de varianza y heredabilidad

	Comp. Varianza	Sequía		Mal drenaje	
		Biparental	Jeráquico	Biparental	Jeráquico
Brix	σ^2_G	32,2	26,1	13,9	17,9
	σ^2_{GXA}	1,1	22,3	6,4	7,3
	σ^2_A	64,0	51,5	79,7	74,8
	h_e^2	0,66±0,27*	0,64±0,75	0,28±0,15	0,55±0,42
Diámetro	σ^2_G	34,1	25,9	9,3	13,6
	σ^2_{GXA}	27,3	14,8	15,9	18,2
	σ^2_A	31,8	59,2	74,9	68,2
	h_e^2	0,68±0,31*	0,59±0,74	0,21±0,16	0,36±0,18
No. tallos	σ^2_G	19,9	19,2	22,3	21,7
	σ^2_{GXA}	6,0	17,8	14,9	17,1
	σ^2_A	74,1	63,1	62,8	61,2
	h_e^2	0,40±0,19	0,43±0,93	0,45±0,25	0,66±0,53
Altura	σ^2_G	4,8	10,6	26,6	20,3
	σ^2_{GXA}	21,7	15,4	16,6	14,3
	σ^2_A	73,6	73,9	56,9	65,4
	h_e^2	0,10±0,16	0,32±0,19	0,53±0,29	0,58±0,61

Este autor también determinó que los caracteres morfofisiológicos, contenido relativo de agua (CRA), déficit saturación hídrica (DSH), ancho del limbo (ANLB) e índice de área foliar (AF), pueden constituir indicadores de importancia para la evaluación de cultivares resistentes a la sequía (Tabla VIII)

Tabla VIII. Resultados del Análisis Discriminante

Función	Valor Eje	R. Canonic.	Wilke Lamda	X^2	GL	Sig.
0	1.141	0.73	0.379	39.25	8	0.000
1	0.231	0.43	0.812	8.41	3	0.038

Coef. Estandarizados			MATRIZ DE CLASIFICACIÓN				
Variable	Raíz 1	Raíz 2					
CRA	1.0780	0.4795	Filas: Clasificación observada Columas: Clasificación pronosticada				
DSH	0.7837	0.3685		Porcent. Correcto	G_1	G_2	G_3
ANLB	-2.1558	0.4276	G_1	66.7	40	20	0
IAF	1.1921	0.1427	G_2	95.0	0	152	8
Valor	0.3230	0.0399	G_3	91.2	0	7	73
%	89.02	100.00	Total	88.3	40	179	81

CRA: contenido relativo de agua DSH: déficit de saturación hídrica
ANLB: ancho del limbo IAF: índice de área foliar

En las tablas IX y X se refleja que en el país, se han recomendado 14 nuevos cultivares tolerantes a la sequía y 10 para mal drenaje con resistencia a roya y carbón, los que al cierre de 2007 ocupaban 101 446.2 ha y 69 489.7 ha que representan el 18.15 % y 12.43 % del área cañera nacional respectivamente (González *et al*., 2008).

Tabla IX Tabla II. Variedades tolerantes a sequía

Variedad	área	Resistencia		Variedad	área	Resistencia	
		roya	carbón			roya	carbón
C86-503	34 327.7	R	R	C90-317	5 627.2	R	R
C138-77	1 209.5	R	R	C89-176	5 132.5	R	I
C86-502	461.8	R	R	C89-147	3 022.2	R	R
C90-530	15 125.6	I	R	C89-148	2 525.6	R	R
C86-165	685.1	I	R	C90-105	263.7	R	I
C86-531	1 794.4	I	R	C86-12	20 122.6	R	I
C85-102	7 623.1	R	R	**Total**	**101 446.2**		
C86-56	3 525.2	R	R				

Tabla X. Variedades tolerantes a mal drenaje

Variedad	área	Resistencia		Variedad	área	Resistencia	
		roya	carbón			roya	carbón
C86-12	23 112.3	R	I	SP70-1284	6 533.5	I	R
C86-503	9 176.4	R	R	C90-317	1 178.1	R	R
Co997	10 397.3	R	R	B78505	1 432.8	R	R
C137-81	3 522.0	R	R	C90-469	5 023.5	R	R
C86-456	4 085.2	R	R	**Total**	**69 489.7**		
C132-81	5 028.6	R	R				

Los ciclos largos constituyen una necesidad económica en Cuba para cultivar genotipos de alto contenido azucarero a inicios de zafra. En el año 1990 el país sólo disponía de cuatro variedades (Ja60-5, C87-51, C1051-73 y C120-78). La tabla XI muestra que se han recomendado 17 nuevos cultivares, que ocupaban al cierre de 2007 un área total de 93 039.3 ha, que representan el 16.7 % del área de cultivada con genotipos adaptados a ciclo largo. Actualmente se explotan comercialmente 21 variedades que se adaptan a este ciclo y ocupan un área total de 163 197.3 ha, correspondiendo con 29.2 % del área cañera nacional (González, *et al*., 2008).

Tabla XI. Variedades recomendadas para ciclos largos de cosechas

Variedad	Área	Variedad	Área
C87-51	29 724.3	Co997	25 121.5
C1051-73	25 721.0	C86-156	3 611.1
C120-78	14 712.7	Q68	41.0
C86-12	102 473.1	C89-148	3 586.8
C128-83	308.1	C89-176	6 846.5
B80-250	8 260.3	C88-381	53.7
C85-102	8 221.1	C90-469	16 315.1
C89-161	1 793.8	B78505	1 868.3
SP70-1284	9 942.1	C88-356	3.7
C90-501	4 330.5	**Total**	**163 197.3**
C140-81	1 708.6		

Influencia del Programa de Fitomejoramiento en la situación fitosanitaria del país

La roya y el carbón son enfermedades que llevan más de dos décadas establecidas en el país. Ambas enfermedades han causado pérdidas económicas considerables al cultivo, Masot y Jorge (1998), en estudio realizados en la provincia de Cienfuegos reportaron pérdidas estimadas de 212 839.9 USD ocasionadas por carbón. Rodríguez (1995), reportó pérdidas estimadas superiores a 5 681 818 t caña causadas por roya. En las figuras 4 y 5 se muestra cómo han ido disminuyendo los porcentajes de área de variedades susceptibles a estas patologías en el período de 1990-2005.

Para el caso del carbón se observa una disminución de 52.5 % a 4.4 % del área nacional ocupada por estas variedades; mientras que para roya su decrecimiento es menos marcado, no obstante se hace evidente, en el año 1990 tenía el 55.8 % del área del país y disminuyó a 19.8 % al cierre del año 2005. (MINAZ- INICA, 2005). Es de señalar que al cierre del año 2006 se observa un ligero incremento del porcentaje de áreas ocupada por variedades con susceptibilidad a las enfermedades citadas, pues cultivares que hasta ese momento habían mostrado un comportamiento intermedio a roya producto de su manejo y explotación en áreas donde estaban plantadas variedades con altos niveles de inoculo (C323-68 y My5514) han reaccionado como susceptibles, ejemplo de ello son SP70-1284 y C88-380, las mayores afectaciones se han observado en las provincias de Villa Clara y Camagüey. Para el caso del carbón se produce por el incremento en área de la variedad C203-82 en los territorios de Ciego de Ávila (0.1 %) y Camagüey (9.4 %), llegando a ocupar 1.1 % del área cañera nacional. La estrategia varietal ha logrado sin lugar a dudas, una sensible mejora desde el punto de vista fitosanitario, logrando disminuir al cierre de 2007 para la enfermedad del carbón el área ocupada por variedades susceptibles de 5.2 % a 4.3 %, así como para roya de 24.6 % a 22.2 %, con respecto al año anterior (Fig. 11 y 12).

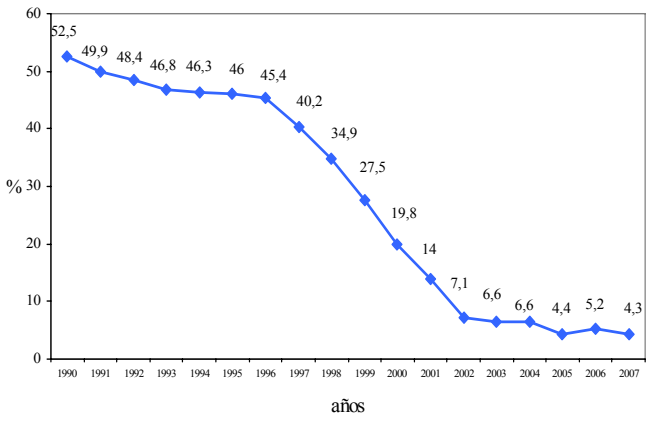


Fig. 11 Evolución del porcentaje de área de las variedades susceptibles a carbón

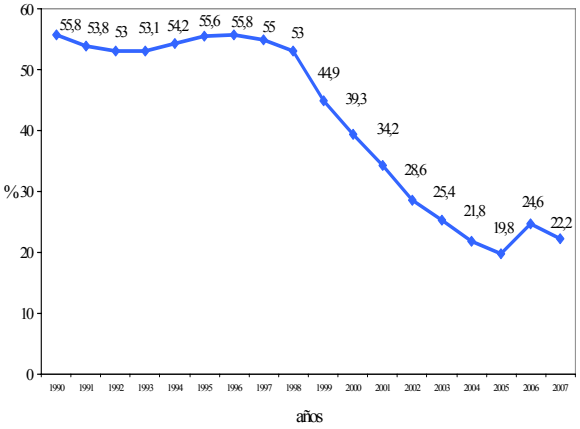


Fig. 12 Evolución del porcentaje de área de las variedades susceptibles a roya

Nueva concepción y manejo de las variedades de caña de azúcar en Cuba

Jorge *et al*. 2007, evaluaron tres genotipos C1051-73 (madurez temprana), C86-12 (madurez intermedia) y My5514 (madurez tardía) en cuatro localidades del país y en diferentes tipos de suelos, las edades de 9-17 meses durante todos los meses del año (enero-diciembre), en el período de agosto de 2003 a julio de 2006, en las cepas de caña planta y primer retoño, en la variable porcentaje de pol en caña y obtuvieron como resultado que en todos los casos (Figuras 13, 14 y 15), a inicios de zafra la provincia de Camagüey alcanzó los mayores valores, seguido de la provincia de Matanzas, lo que refleja que en estos territorios los cultivares alcanzaron un mayor contenido azucarero en esta etapa. Es importante tener presente estos resultados a la hora de definir la arrancada de la contienda azucarera.

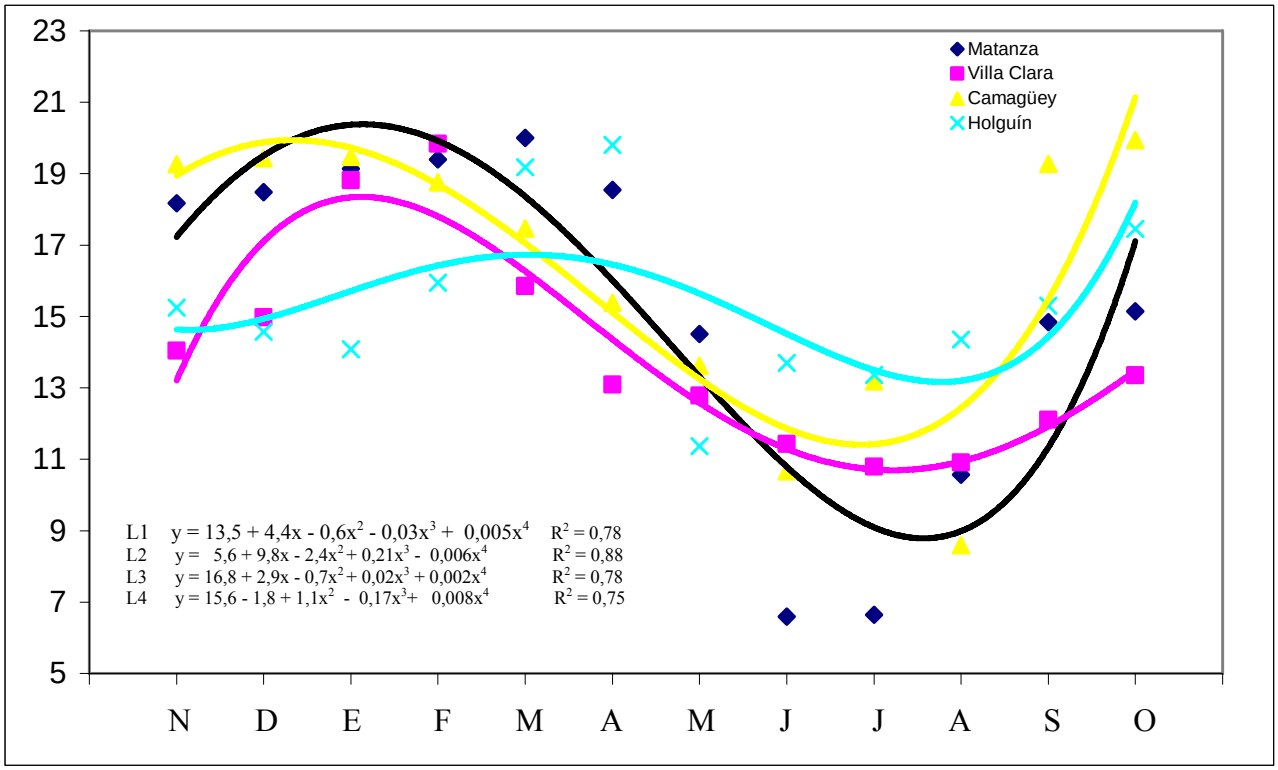


Fig. 13 C1051-73. Dinámica anual del porcentaje de pol en caña (retoño, 13 meses de edad)

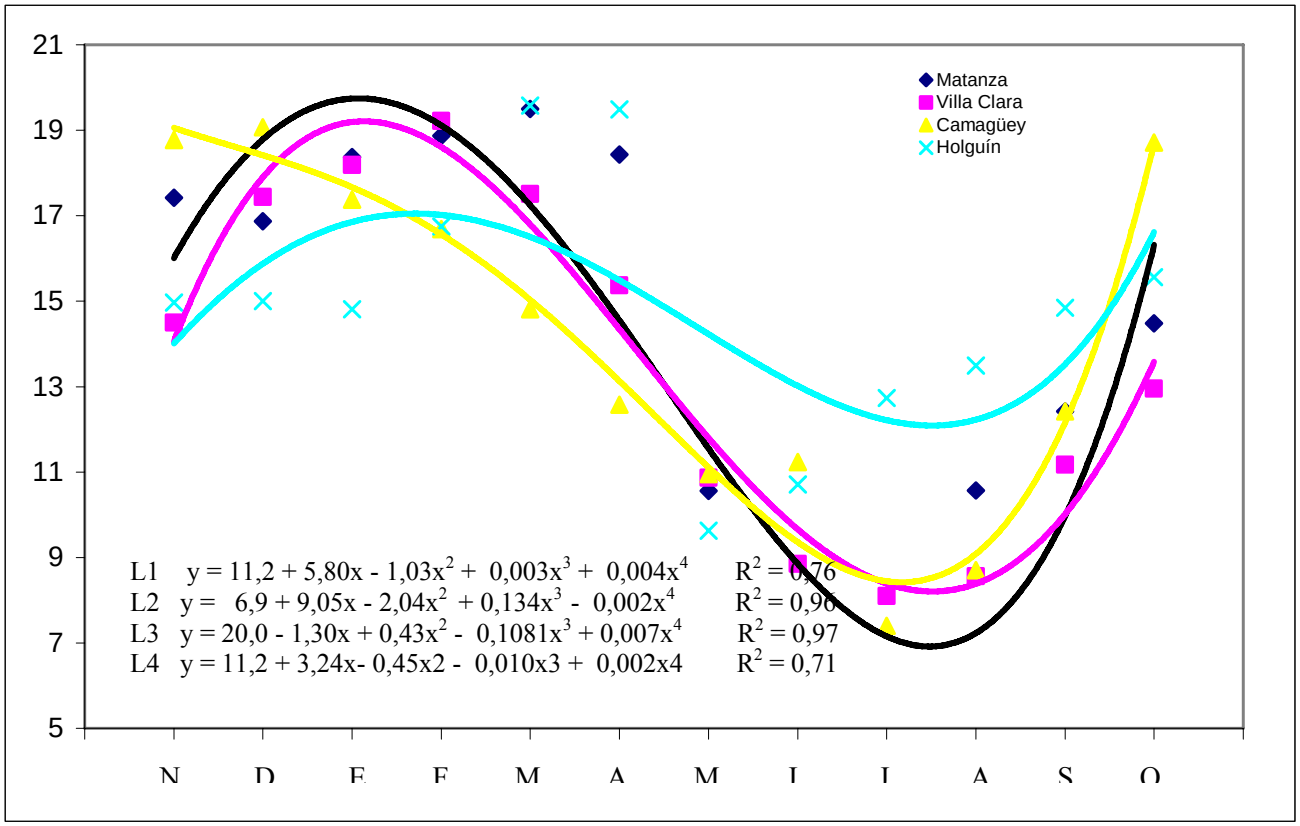


Fig. 14 C86-12. Dinámica anual del porcentaje de pol en caña (retoño, 13 meses de edad)

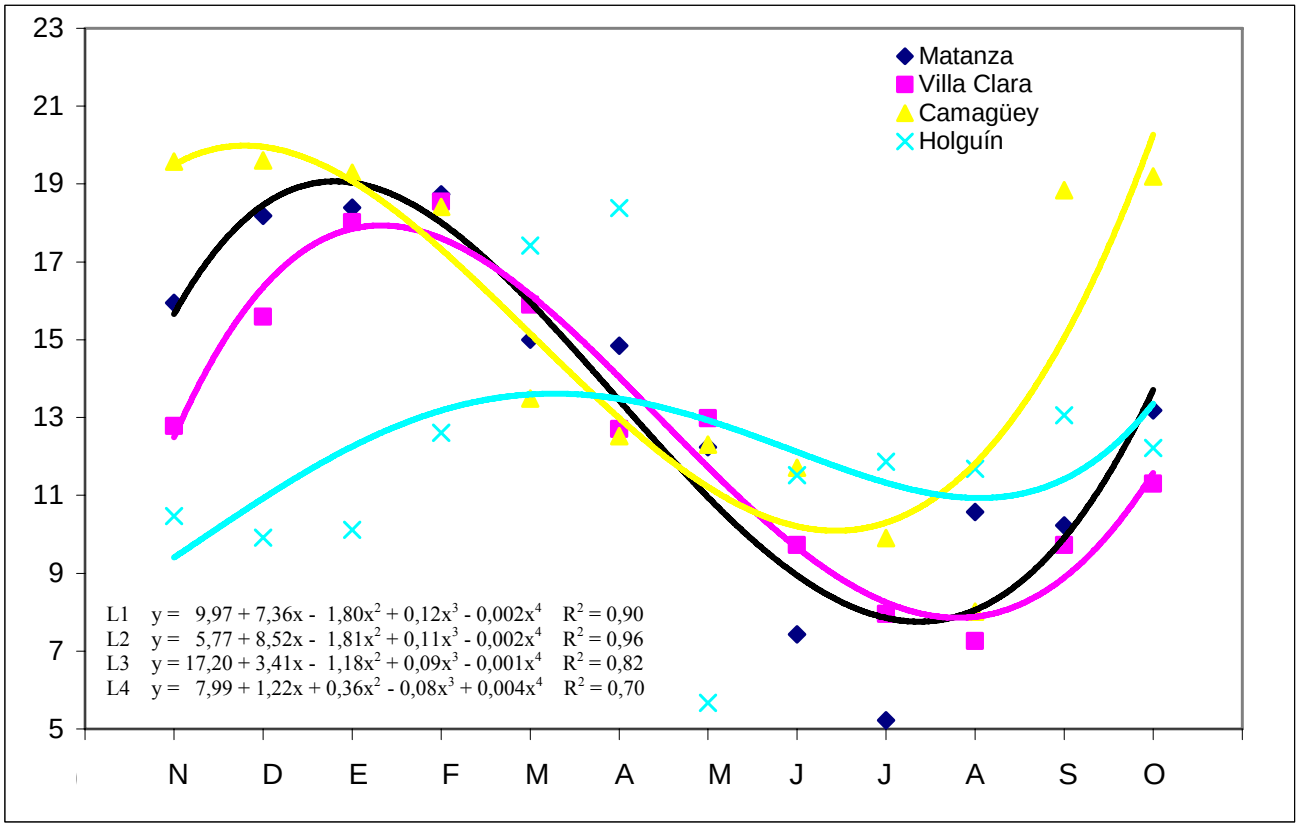


Fig. 15 My5514. Dinámica anual del porcentaje de pol en caña (retoño, 13 meses de edad)

Uso diversificado de las variedades de caña de azúcar

Jorge *et al*., (2002), evaluaron 15 caracteres en 26 cultivares de caña de azúcar con 12-14 meses de edad, en los suelos Pardos con carbonato y obtuvieron como resultado una relación directa entre el número de hojas activas y el porcentaje de digestibilidad de la materia seca, sin embargo el porcentaje de fibra tuvo una relación inversa con este indicador forrajero (porcentaje de digestibilidad de la materia seca). Estos resultados constituyen criterios de selección que pueden ser empleados para seleccionar genotipos con fines forrajeros de forma indirecta.

La tabla XII ofrece las relaciones fenológica y la resistencia a las principales enfermedades de las variedades con más de un 50 % de digestibilidad de la materia seca comparada con el testigo (My5514), en ella se puede apreciar que 21 genotipos se caracterizaron por su resistencia y tolerancia a VMCA, roya y carbón, mientras que el testigo es susceptible a roya (Jorge *et al*., 2008). Jorge *et al*., (2002), señalaron la necesidad de hacer uso diversificado de las variedades de caña de azúcar siempre y cuando cumplan con los requisitos fitosanitarios necesarios.

Tabla XII. Caracteres fenológicos y resistencia ante enfermedades de variedades recomendadas

Variedades	DMS	Relación fenológica (%)			Reacción ante las enfermedades		
		Tallos	Cogollo	Hojas secas	roya	carbón	VMCA
B80250	56,28	78,80	11,70	9,50	R	I	R
C128-83	50,60	81,30	13,20	5,50	R	R	R
C132-81	54,40	76,20	18,50	5,30	R	R	R
C137-81	53,20	80,60	14,10	4,90	R	R	R
C85-203	51,90	80,90	12,20	6,80	R	I	R
C86-12	55,30	79,80	10,60	9,50	R	I	R
C86-165	50,32	72,34	19,76	7,90	I	R	R
C86-503	51,80	79,20	14,10	6,70	R	R	R
C86-536	52,40	66,60	20,60	12,70	I	I	R
C87-252	54,07	61,90	24,70	9,50	R	R	R
C87-51	52,96	81,44	14,46	4,10	R	I	R
C88-553	50,03	77,97	18,30	3,73	I	R	R
C89-161	53,00	74,00	13,30	12,70	R	R	R
C89-176	56,63	81,31	12,43	6,26	I	I	R
C90-317	51,33	82,24	11,60	6,16	R	R	R
C90-501	55,30	68,00	22,90	9,00	R	R	R
C90-530	54,30	75,30	20,50	4,10	I	R	R
C91-356	50,41	80,50	19,50	5,56	R	I	R
C92-203	53,30	81,70	10,70	7,60	R	R	R
C95-416	51,32	79,57	15,73	4,70	R	R	R
Co997	54,80	60,70	29,00	10,10	R	R	R
My5514	51,60	70,80	22,80	6,30	S	R	R

DMS. Digestibilidad de la materia seca R: Resistente I: Intermedio S: Susceptible

El desarrollo del Programa Fitomejoramiento cubano permitió desarrollar un servicio de recomendación de variedades y semilla participativo, el cual permite una correcta ubicación de los cultivares por unidad mínima de manejo (bloque) y fortalecer el proceso de producción de semilla categorizada en cuanto a cantidad y calidad, esto ha permitido un mejor desarrollo de la evolución varietal cubana (Fig. 16), pues hasta la década de los 80, predominaban las variedades foráneas, al cierre del 2007 el 85.7 % del área cañera estaba ocupada por variedades cubanas.

Al hacer un análisis de la composición varietal de nuestro país, al cierre del año 2007 (Fig. 17), se puede apreciar que la misma se ajusta a las tendencias actuales en el mundo (tránsito del cultivo monovarietal o de pocas variedades simultáneamente, al empleo de grupos más numerosos con distribución equilibrada). Actualmente está compuesta por 99 variedades, llegando a cubrir un área total de 558 783.2 ha. Con porcentajes significativos de áreas a nivel nacional se explotan 26 variedades como comerciales, de ellas 21 cubanas, que ocupan 479 047.6 ha mientras que las extranjeras (5) cubren 79 735.6 ha (14.3 %) del área dedicada a este cultivo (González *et al*., 2008).

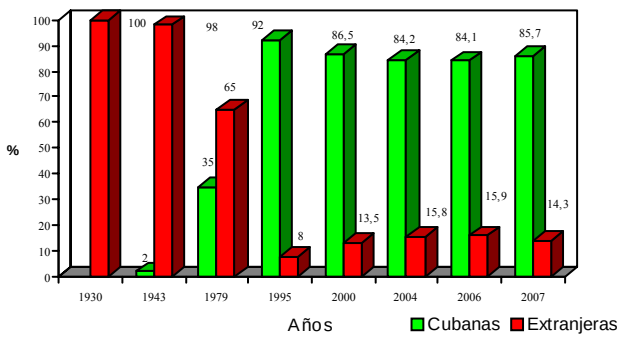


Fig. 16 Evolución varietal en Cuba en el período 1930-2007

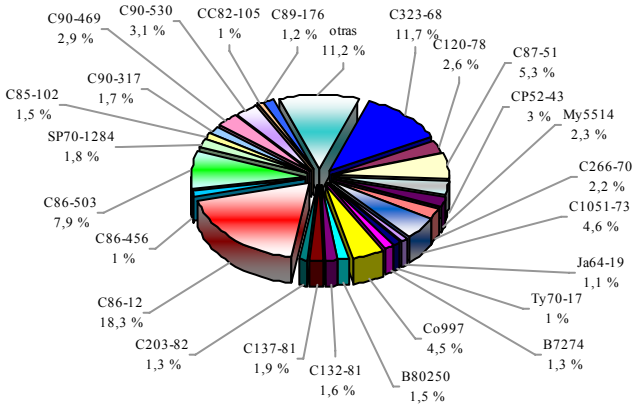


Fig. 17 Composición varietal en Cuba

Conclusiones

- Se han introducido al país desde 1969 hasta el 2007 un total de 2 632 formas e híbridos procedentes de 28 países, de ellas, el mayor número de variedades liberadas corresponden a Centro América y el Caribe (336), América del Norte (331) y el más bajo corresponde a la América del Sur (122), que equivale solamente a 4 %.
- La Colección de Germoplasma en el período 1984-2007 ha mostrado un crecimiento sostenido, contando actualmente con 3 534 formas e híbridos y siendo explotado mayoritariamente en las campañas de hibridación más del 88 % de los híbridos comerciales.
- Los estudios realizados en el país demostraron que el ambiente es el que tuvo mayor contribución a la variación fenotípica total.
- El programa de variedades comerciales ha permitido la incorporación de 10 variedades para condiciones de mal drenaje y 14 tolerantes a suelos secantes con un área de 69 489.7 ha y 101 446.2 ha respectivamente al cierre del año 2007.
- Recomendación y explotación de 20 variedades para ciclos largos de cosecha que ocupan un área de 163 197.3 ha.
- Se explotan comercialmente 21 variedades que se adaptan a ciclos largos de cosechas, y que ocupan un área total de 170 543.1 ha, correspondiendo con 30.52 % del área cañera nacional.
- Los resultados de la nueva concepción y manejo de las variedades son una herramienta para definir indistintamente el inicio y final de la zafra por zonas edafoclimáticas.
- Recomendadas para la alimentación animal (ganado vacuno), 21 variedades de caña de azúcar de alta digestibilidad y resistencia a las principales enfermedades que afectan al cultivo para su explotación en las áreas ganaderas del país.
- Es de destacar que el 85.7 % del área cañera nacional se encuentra cubierta por variedades cubanas (20) y el 14.3 % por variedades foráneas (5), todas estudiadas y recomendadas por el INICA

Referencias Bibliográficas

1. Bernal, N; F. Morales; G. Galvez y Ibis Jorge. (1997). Variedades de caña de azúcar. Uso y Manejo. INICA. Publicaciones IMAGO. 99p
2. 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. Holguín, P.100. Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. Ministerio del Azúcar, INICA.
3. De Prada, F. (1997). Estudio y utilización de los recursos genéticos de la caña de azúcar (Saccharum spp.).La Habana. 106 pp. Tesis en opción del grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. Ministerio del Azúcar. INICA.
4. Estévez Yandi. (2005). Perfeccionamiento del proceso de selección de variedades de caña de azúcar con criterios de sostenibilidad en la provincia de Villa Clara. Tesis presentada en Opción al titulo académico de Master en Agricultura sostenible. Universidad Central "Marta Abreu". EPICA Villa Clara- Cienfuegos.. 77 pp.
5. García Héctor. (2004). Optimización del proceso de selección de variedades de caña de azúcar tolerantes al estrés por sequía y mal drenaje en la región central de Cuba. Tesis presentada en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de La Habana "Fructuosos Rodríguez Pérez".Villa Clara-Cienfuegos. 117 pp.
6. González A. R., H. Jorge, Ibis Jorge, Mérida Rodríguez (Ed). (2008) XVI Reunión Nacional de Variedades, Semilla y Sanidad Vegetal. Rev. Cuba & Caña. Edición Especial. ISSN1028-6527. 57 pp.
7. Jorge H., Ibis Jorge y A. Arencibia (Editores). (2003). Programa de Fitomejoramiento. Impacto en la producción azucarera cubana. Ediciones Graficas. ISBN: 959-7140-03-9. La Habana, Cuba, 100 pp.

8. Jorge H., O. Suárez, H. García, I. Santana e Ibis Jorge. (2002). Variedades de caña de azúcar para la alimentación del ganado vacuno. CD-ROM 48 Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba Por la Diversificación Agroindustrial, ISBN 959-7164-31-0, La Habana.
9. Jorge H., O. Suárez, H. García, Ibis Jorge, Ledya Benítez y A. Vera (2008). Las variedades de caña de azúcar. Una alternativa sostenible en la alimentación del ganado vacuno. Memorias XXXI Convención ATAM. Veracruz.
10. Jorge, H. y H. García. (1995). Influencia de las variables agroclimáticas en los estudios de clasificación de ambientes. FNMCT.
11. Jorge, H., H. García, N. Bernal, Ibis Jorge, A. Vera, y O. Suárez. (2007). Variedades de caña de azúcar en Cuba. Una nueva concepción y manejo. Memorias XXX Convención Nacional ATAM. Veracruz.
12. Jorge, Ibis. (2006). Programa comercial de obtención de nuevas variedades de caña de azúcar adaptadas a las principales regiones agroclimáticas del país. Informe Final del Proyecto. MINAZ-INICA. noviembre. 55 pp.
13. Masot Mayuli y H. Jorge. (1998). Variedades resistentes a carbón. Rev. Cañaveral No.4 oct-dic, pp.18-20.
14. MINAZ-INICA. (2005). XIV Reunión Nacional de Variedades, Semilla y Sanidad Vegetal, 50 pp.
15. MINAZ-INICA. 2001. Informe a la XIV Reunión Nacional de Variedades y Semilla. 34 p.
16. Pérez, J. R.; I. A. Cuellar; M. E. de león; M. Santana; J. R. Fonseca y M. Pérez. (2004). Caña de Azúcar: Captación, conservación y manejo sostenible del agua y la humedad del suelo. Serie caña de Azúcar Siglo XXI. Suplemento especial de la Revista Cuba & Caña. Noviembre, 2004, 43 pp.
17. Rodríguez María C. (1995). La roya de la caña de azúcar. Revista Cañaveral No. 1, 4:48-50.
18. Rossi G. 2001. Sugarcane Variety Notes. An international directory. 7th Revision, Brazil, 104 pp.
19. Vera Antonio. Estudio genético y clasificación de ambientes en la cuarta etapa del esquema para la selección de variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp) en la provincia de Sancti Spíritus. (2005). Tesis presentada en Opción al titulo de Maestro en Biología Vegetal. Mención Genética Vegetal. Universidad de La Habana. Facultad de Biología. EPICA Sancti Spíritus. 62 pp.
20. Villegas, R. y Ledia Benites, Editores. (2003). 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.

INTEGRACIÓN DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL AL SERVICIO CIENTÍFICO – TÉCNICO PARA LAS EMPRESAS DEL MINAZ

MSc. Ledya Benítez Puig, Ing. Manuel Pérez Izquierdo, MSc. Yudith Viñas Quintero, Dr. Mario de León Ortiz, Dr. Rafael Villegas Delgado, Ing. Elier Pérez Herrera, MSc. Pedro L. Cortegaza, Lic. Antonio Chinea Horta, Ing. Rafael Mas Martínez, Ing. Jesús González, Ing. Nilva Osorio, Ing. George Martin Gutiérrez, Tco. Igor Naranjo Pérez

Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar
e-mail: ledya@inica.edu.cu

Resumen

Se presentan los resultados del proceso de integración y salida gráfica de los servicios del INICA y Ordenamiento Territorial realizado a Empresas del MINAZ, para lo cual se recopiló información gráfica compuesta por mapas catastrales a escala 1: 10 000 a nivel de campo cañero, mapas cartográficos 1: 10 000 y 1:25 000 y de suelo según Mapa Nacional a escala 1: 25 000. Las bases de datos literales empleadas fueron las de información agrícola de las empresas, las resultantes de la evaluación de tierras realizada al área dedicada a caña de azúcar y de los Servicios Científicos Técnicos de Recomendación que desarrolla el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La base de conocimientos asociada a las decisiones generadas por el sistema se sustenta en modelos estadísticos de balance de áreas, uso y control de suelo, inventario de sistemas de riego, información histórica pluviométrica, además el soporte científico técnico generado por la investigación básica y aplicada en el cultivo.
Se asociaron las bases de datos cartográficas y temáticas para la obtención de mapas, que constituyen el soporte a la toma de decisiones en las empresas del MINAZ y la personalización de un Sistema de Información Geográfica, que permite a los productores un mejor uso y manejo de sus tierras a partir del estricto control del área e insumos necesarios para elevar los rendimientos, factores edáficos limitantes y recomendaciones personalizadas de medidas de manejo apropiadas con vistas al incremento de sus producciones y conservación del medio ambiente.

Palabras Clave: Ordenamiento Territorial; SIG; Agroindustria Azucarera.

Abstract

This paper presents the results of the integration process and graphical output of the services of the INICA and the territorial land use planning conducted for enterprises of the Ministry of Sugar Cane (MINAZ)
With this aim, graphical information consisting of cadastral maps ant 1:10000 & 1:25000 scale and National Soil map, at 1:25000 scale was compiled
The literal data bases used were those of agricultural information of the enterprises and technical and scientific services of recommendation developed by INICA.

Cartographic and thematic databases were associated for obtaining maps that constitute the basis of decision-making at the MINAZ enterprises and the personalization of geographic information system

Introducción

El INICA, en los últimos años ha incrementando los servicios de carácter científico técnico que presta a la producción y a los diferentes niveles de decisión del MINAZ, ejemplo de ello lo constituyen el SERFE (Servicio de Recomendación de Fertilizantes y Enmiendas), SERVAS (Servicio de Recomendación de Variedades y Semilla), SEFIT (Servicio Fitosanitario), el SERCIM (Servicio de Control Integral de Malezas) y SIRIED (Servicio de Riego y Drenaje), todos ellos resultado de investigaciones realizadas durante muchos años, en la actualidad se trabaja en la integración de los mismos como parte de un Sistema de Ciencia e Innovación Tecnológica.
En la producción de cultivos agrícolas juega un rol muy importante el área, la tenencia, el uso de la tierra y la organización y conservación de la información estadística agrícola, con vista a la planificación y obtención de altos rendimientos. De su condición depende en gran medida la calidad de las decisiones que se tomen. Esto conlleva necesariamente a un reforzamiento del papel institucional en la orientación para la organización, estandarización y normalización de la recogida, almacenamiento y gestión de la información agrícola.
Con el fin de poder crear un catastro que garantice las necesidades del MINAZ y permita manejar la información de forma rápida con alta confiabilidad, se lleva a cabo el ordenamiento territorial, que desempeña un papel fundamental para los cálculos de fertilizantes, herbicidas, estimados de producción, pago de salarios, combustible etc., los que garantizan un desarrollo productivo de forma eficiente, ya que una información imprecisa o morosa pierde validez e importancia.
A través del uso de Sistemas de Información Geográfica, que permiten resolver problemas complejos de planificación y gestión (NCGIA, 1990), ampliamente utilizados en Colombia (Guzmán, 1995), Brasil (Rocha, 1995) y auxiliado por los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), se facilita la permanente actualización catastral y se garantiza la integración de los servicios científico técnicos que ofrece el INICA, lo cual unido al beneficio que reporta a los productores contar con la información precisa de sus tierras para el incremento de las producciones y las recomendaciones personalizadas de medidas de manejo agrícola integral, constituye el objetivo de este trabajo.

Materiales y Métodos

El trabajo se realiza desde el año 2005, su ejecución comenzó por las áreas de las empresas azucareras 30 de noviembre en la provincia de Pinar del Río, Héctor Molina y Abraham Lincoln en La Habana, Ecuador en Ciego de Ávila y Antonio Guiteras en Las Tunas, como parte del proceso de ordenamiento territorial que desarrolla la Agroindustria Azucarera Cubana desde el año 2003. Se tuvieron en cuenta los mapas resultantes de la Evaluación de las Tierras para lograr una mejor planificación agrícola y ubicación de cultivos alternativos. En la figura 1 se muestra un ejemplo de ello.

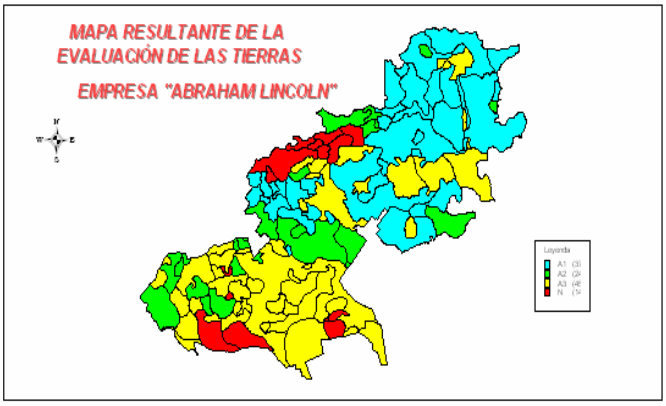


Figura 1. Mapa de aptitud de las tierras para el cultivo de la caña de azúcar en la empresa "Abraham Lincoln", provincia La Habana.

Se tomó como punto de partida la formación de los grupos de Ordenamiento Territorial en las empresas con personal capacitado, se perfeccionaron las comisiones de topografía debidamente equipadas, se adquirieron los medios de cómputo necesarios y se estableció el flujo de actividades.

Se recopiló la información primaria gráfica y de atributos, la primera compuesta por mapas 1:10 000 de catastro especializado de las empresas, mapas cartográficos 1:10 000 y 1:25 000 y de suelo según Mapa Nacional a escala 1: 25 000. Con respecto a la información de atributos se tuvo en cuenta las bases de datos obtenidas de la Evaluación de Tierras, (INICA, 2001), realizada para caña de azúcar y cultivos alternativos, así como la de perfiles de suelos asociados al mapa nacional y las bases de datos de los Servicios Científicos Técnicos que desarrolla el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Cuba, de Recomendación de Fertilizantes, Variedades, Control Fitosanitario y de Malezas, las agrícolas que utilizan las empresas y modelos estadísticos de balance de áreas y 921. Toda esta información se valida por los técnicos de campo de las empresas y de igual forma se tiene en cuenta la experiencia y el dominio sobre el área de los jefes de producción y los técnicos de las unidades. En el caso donde se encontraron objetos desactualizados en los mapas, o cambios de cualquier tipo sobre los mismos, se realizaron verificaciones sobre el terreno utilizando receptores GPS, o en su defecto teodolito y cadena.

Se estableció el SIG en las empresas, y se creó un identificador único formado por el número de unidad, bloque y campo, en todas las bases de datos, lo que sirvió para relacionar las salidas de todos los servicios del INICA y almacenar toda la información agrícola necesaria. Una vez entradas al sistema las bases de datos, se procesaron y crearon las diferentes capas como usos de la tierra, caña, viales, suelos, límites de bloques y campos, entre otras. El SIG, con trabajaos precedentes en Cuba por Balmaceda et al., 1997 y 1999, quienes realizaron la primera aplicación con amplios beneficios para el manejo de toda la información agrícola, permitió obtener una base de conocimientos integrada y la generación de mapas temáticos con la representación gráfica y distribución espacial de los diferentes atributos (cepas, variedades, suelos, compactación, profundidad efectiva, niveles de fósforo o potasio asimilable en el suelo, uso actual de la tierra, uso perspectivo, etc.). Proporcionó además la salida de mapas temáticos con las recomendaciones emitidas para fertilización, manejo varietal, control fitosanitario y de malezas y facilitó a la gerencia de las empresas, al contar con la información sobre soporte SIG, la obtención, a través de consultas de sugerencias para la concreta toma de decisiones.

Resultados y discusión

Como resultado del ordenamiento territorial se introdujo al Sistema de Información Geográfica la base cartográfica y de datos asociados de las empresas, constituyendo el soporte para el desarrollo de una agricultura sostenible y precisa, necesaria para el MINAZ de hoy (figura 2). Esta tecnología SIG es ampliamente empleada en la rama cañera en países como Australia (McKenzie, 1990), Sudáfrica (Platford, 1990).

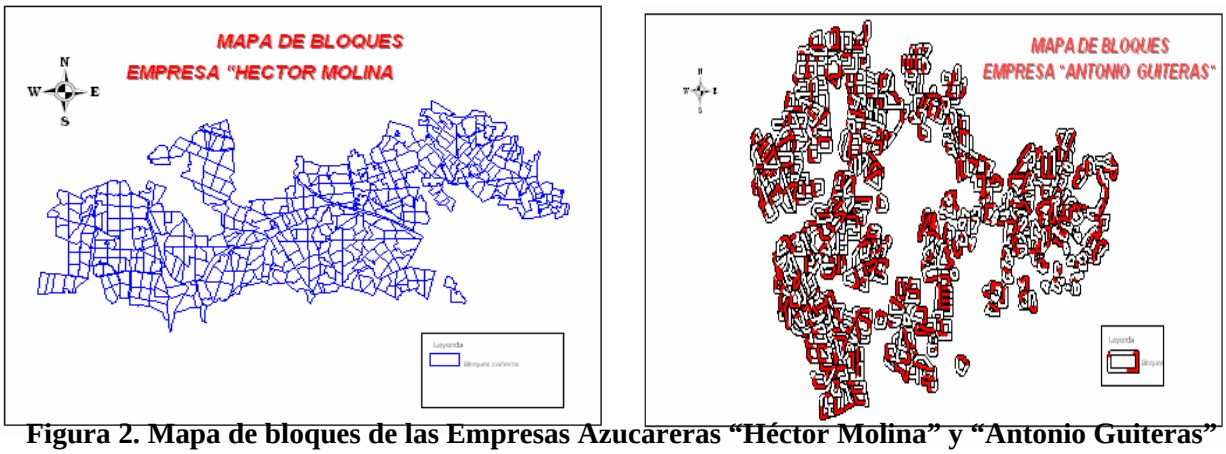


Figura 2. Mapa de bloques de las Empresas Azucareras "Héctor Molina" y "Antonio Guiteras"

Se introdujo además el mapa de suelos al SIG en todas las empresas. En la figura 3 se muestra el mapa de la empresa azucarera Abraham Lincoln, provincia de La Habana.

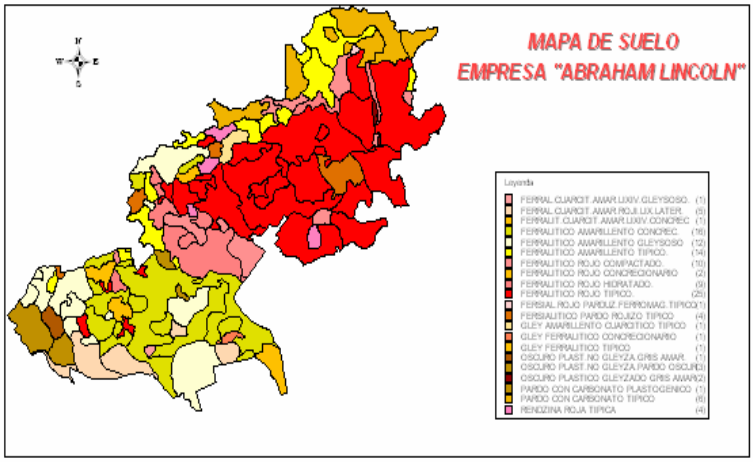


Figura 3. Mapa de Suelos de la Empresa Azucarera "Abraham Lincoln", provincia La Habana

Las diferentes capas como caña, viales, entre otras, fueron digitalizadas dentro del SIG como aparecen en la figura 4., seguido de la asociación de bases de datos temáticas con respecto a la información de cepas y variedades (en el caso de las empresas cañeras), suelos, compactación, profundidad efectiva, niveles de fósforo o potasio asimilable en el suelo, uso actual de la tierra, uso perspectivo, además de la salida gráfica de las recomendaciones emitidas para fertilización, manejo varietal, control fitosanitario y de malezas a nivel de campo, lo cual permite al productor un conocimiento detallado de toda la información asociada a cada

campo para el mejor uso y manejo del recurso suelo y la aplicación de tecnologías apropiadas que garanticen la conservación del mismo.

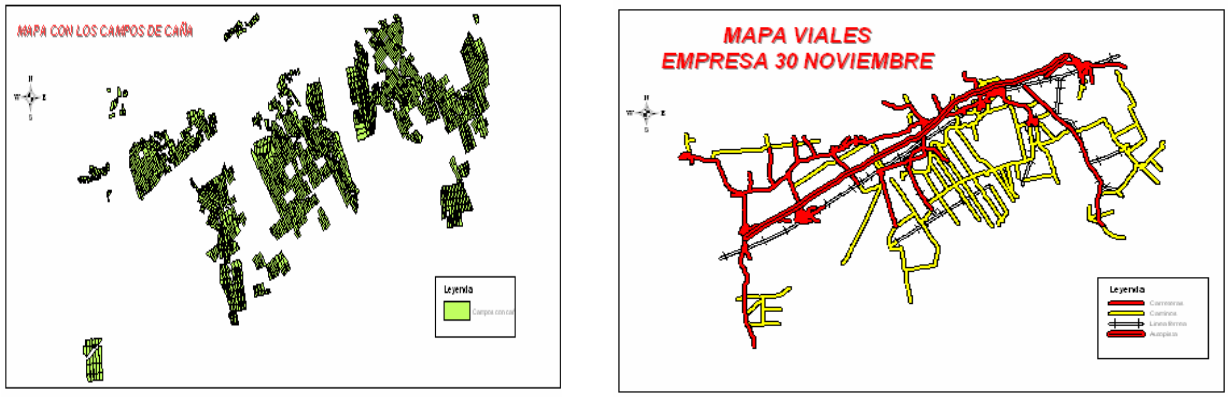


Figura 4. Mapa de campos de caña y viales de la empresa 30 de Noviembre, provincia de Pinar del Río

En la capa de otros usos se recoge toda la información referente a cultivo, infraestructuras, ganadería, forestales u otro uso agropecuario dado al área geográfica de la Empresa como se muestra en la figura 5.
El uso del SIG permitió la automatización del balance de áreas e integración de los servicios científicos técnicos, lo que dio lugar al cumplimiento de las normas técnicas establecidas para la aplicación de la apropiada fitotecnia del cultivo de la caña de azúcar, completa y exhaustiva estandarización y codificación de sus áreas, generación de mapas temáticos, como se muestra en las figuras 6 y 7, para el manejo apropiado de variedades, confección de cartogramas agroquímicos de reacción del suelo, contenido de fósforo y potasio asimilables y representación espacial de la recomendación racional de fertilizantes.

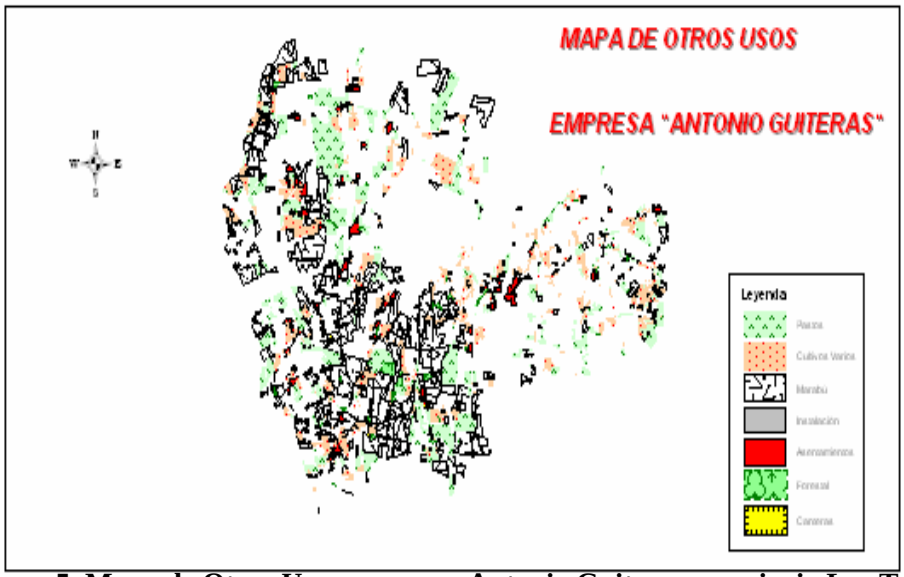


Figura 5. Mapa de Otros Usos, empresa Antonio Guiteras, provincia Las Tunas

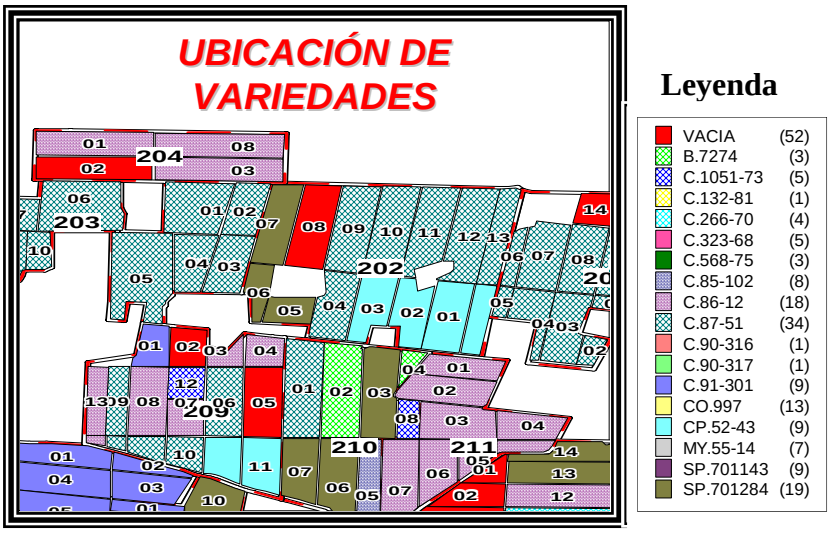


Figura 6. Mapa con la ubicación de variedades en la empresa "Ecuador", provincia de Ciego de Ávila

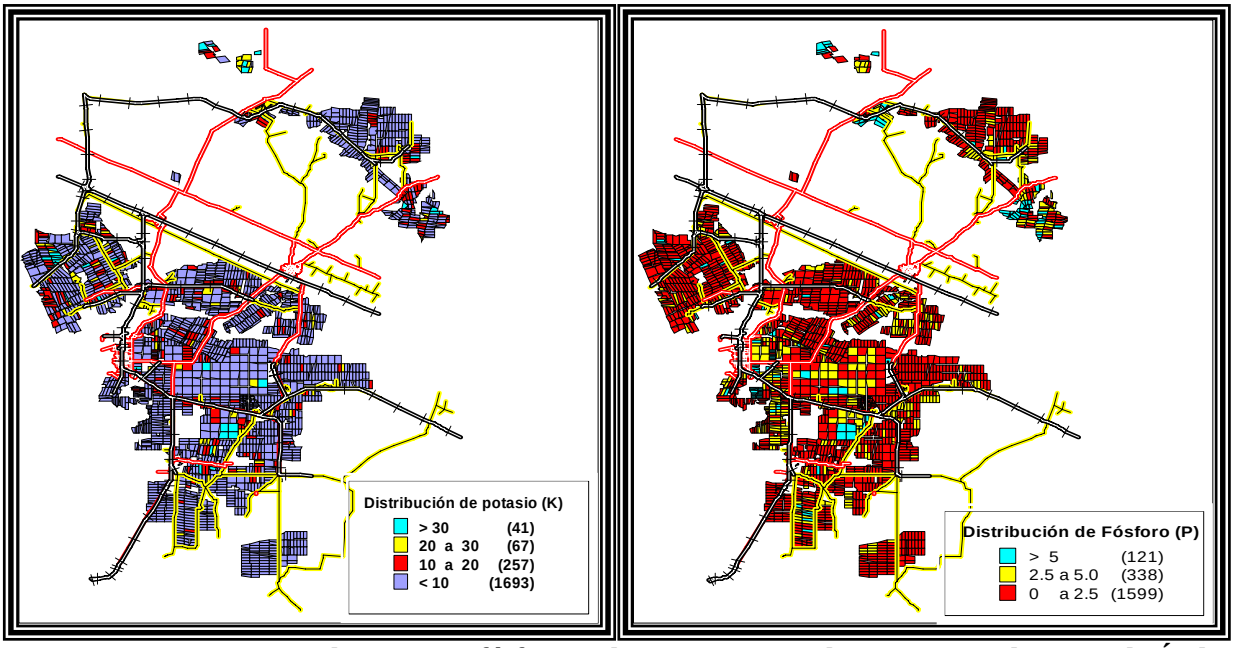


Figura 7. Cartogramas de potasio y fósforo en la empresa Ecuador, provincia de Ciego de Ávila

El empleo de esta tecnología posibilita mediante representación gráfica, el mejor uso y manejo de los sistemas de riego y drenaje. En la figura 8 se muestra la ubicación de pozos y las áreas bajo riego y secano en esta empresa como salida del servicio de recomendación de riego y drenaje.

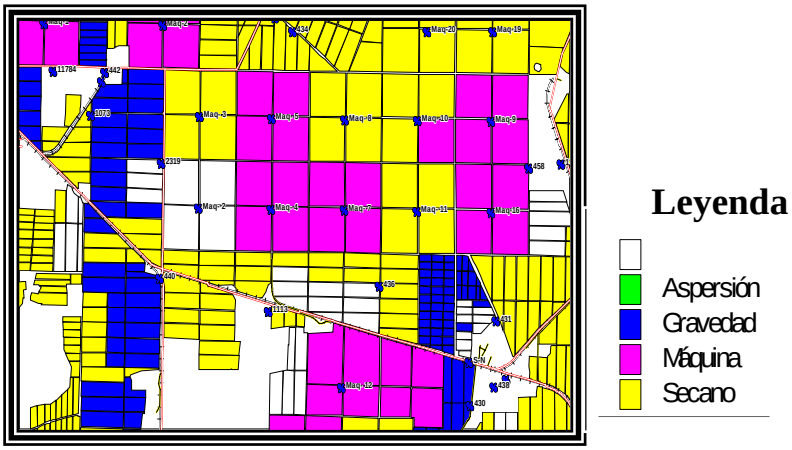


Figura 8. Mapa con la ubicación de los pozos y las áreas bajo riego y secano en la empresa "Ecuador", provincia de Ciego de Ávila

Conclusiones y Recomendaciones

1. El Sistema de Información Geográfica personalizado para la integración de los servicios del INICA y la salida gráfica de los mismos, contribuye al proceso de toma de decisiones de las empresas y al Ordenamiento Territorial.
2. El trabajo permite brindarle asistencia técnica al productor, mediante un servicio de recomendaciones de manejo integral, con vistas al incremento del rendimiento de los cultivos en las áreas del MINAZ con representación gráfica de las mismas,
3. La introducción de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica permite disponer de una metodología para la creación y actualización del catastro digital y el control del balance de áreas, con la automatización del proceso de toma de decisiones.

Referencias Bibliográficas

- Balmaseda, C; D. Ponce de León y S. Segrera. 1997. Implementación de un Sistema de Información Geográfica para el cultivo de la caña de azúcar en un central azucarero de la provincia de Ciego de Ávila.
- Balmaseda, C; D. Ponce de León y S. Segrera. 1999. Modelo de datos del Sistema de Información Geográfica para la agricultura cañera. Estudio de caso del CAI Patria o Muerte.
- Guzmán, Roberto A. 1995. Cañicultura y mapas digitales inteligentes. Procaña, No. 31, p 12-14.
- INICA, 2001. Evaluación de tierras dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en Cuba. Informe Nacional.
- Mc Kenzie, S. A. 1990. Geographical Information Systems for the Sugar Industry. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol. Conf. pp 9-12.
- NCGIA. 1990. Core Curriculum. Tres Volúmenes: I. Introduction to GIS. II. Technical issues in GIS. III. Aplications issues in GIS. Santa Bárbara, Cal. National Center of California, vol. 1. pp 1-3.
- Platford, G. G. 1990. A Geographical Information Systems for use in the Sugar Cane Industry. Proc. S. Afr. Sug. Thecnol. Ass. 83-87.
- Rocha, Jansle V. 1995. Uma nova tecnologia para gerenciamento agrícola das usinas e destilarias. ÄLCOOL & AÇÜCAR, No. 79, p 30-35.

CONTROL DE ENFERMEDADES DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN CUBA POR LA VÍA DE LA RESISTENCIA GENÉTICA

José María Mesa Lopez[1], María LaO[1], Omelio Carvajal[1], Ariel Arencibia[1], José Rodríguez Joaquín Moltalván[1], Roberto González[1], José Pérez Milián[1], Eida Rodríguez[1], Isabel Alfonso[1], Ricardo Acevedo[1], Héctor Jorge[1], Héctor García[1], Norge Bernal[1], Ignacio Santana, Lorenzo Cabrera[1] e Ibis Jorge[1]

[1] Instituto Nacional de investigaciones de la caña de azúcar. (INICA), mesa@inica.minaz.cu

Resumen

"El talón de Aquiles" del Programa de Mejoramiento Genético y de la producción de caña de azúcar lo constituyen el azote de las enfermedades, ejemplo de ello lo tenemos en la Roya (*Puccinia melanocephala* Sydow) que destruyó la B4362 que era la principal variedad de Cuba en la década de los 80. El objetivo de este trabajo es buscar mayor eficiencia en la obtención y recomendación de variedades, a través del perfeccionamiento de los métodos de trabajo en la identificación de la resistencia a las principales enfermedades del cultivo. Para cumplimentar este, se conformó una Base de Datos Nacional con la información obtenida de los Centros de Prueba de Resistencia y de las pruebas en focos de infección de Roya. Estos resultados apoyan el trabajo de selección de progenitores, la mejora en el conocimiento de las bases fitopatológicas de enfermedades como Escaldadura foliar [*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson], así como en el incremento del genofondo con nuevos genes de resistencia múltiple, por intermedio de la recomendación de variedades, progenitores y sus combinaciones, en las que coexistan los caracteres de resistencia y altos rendimientos.

Palabras clave. Resistencia genética, enfermedades, cana de azúcar.

Abstract

Disease incidences become one of the most crucial negative impacts in both the Sugarcane Genetic Improvement Program and in the sugarcane industry, i.e, the B4362 commercial genotype was fully destroyed by the rust (*Puccinia melanocephala* Sydow) epidemic during the 80´s. In this way, the accurate identification of the main sources for diseases resistance turns out to be a critical issue to increase the efficiency for the selection and recommendation of sugarcane commercial genotypes. For this purpose, a database has been designed containing data from the national network of Sugarcane Screening Centres for diseases resistance. Results support an effective parent's selection, the knowledge of the phytopathological basis for diseases, i.e., leaf scald disease produced by *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson, as well as the increase of multiple resistance genes in the genetic background.

Introducción

Obtener genotipos resistentes a las diferentes enfermedades que atacan la caña de azúcar ha sido desde un principio el objetivo final de fitomejoradores y fitopatólogos. Los estudios genéticos de herencia y selección desarrollados en Hawai, Australia y Cuba, durante las décadas del 80 y 90, permitieron concluir, que a través

de las vías genéticas convencionales se pueden obtener genotipos resistentes a una o varias enfermedades, estudios genéticos fueron desarrollados en Cuba por Balance y Milanes(1995) y por Cornide et al (1992), para el carbón y la roya respectivamente, otros estudios similares fueron desarrollados por investigadores norteamericanos, para determinar heredabilidad y HCG y HCE, para diferentes razas de carbón, igualmente en la india se llevaron a cabo estudios genéticos para estudiar la pudrición roja y en Australia fue estudiada pormenorizadamente las formas de herencia de la roya utilizando diseños genéticos.
En los años 90 y sobre todo a finales de estos y principios del 2000, empiezan a ser problema otro grupo de enfermedades, que disminuyen los rendimientos y afectan el proceso de selección de posturas y clones, tal es el caso del RSD, YLS y escaldadura foliar. El objetivo que persigue el trabajo consiste en precisar los resultados preliminares que hasta el momento se han obtenido bajo las condiciones ambientales de Cuba, sobre el comportamiento de enfermedades de importancia económica como la escaldadura foliar, que sirvan de base para elaborar programas de mejora genética en los que se seleccionen genotipos de caña de azúcar con resistencia múltiple y adecuado rendimiento en caña y azúcar, que puedan mejorar la composición varietal del país y enriquezcan el genofondo de la caña de azúcar en Cuba.

Materiales y Métodos

La caracterización molecular del inoculo de [*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson], en los dos centros de prueba con que se cuenta en Cuba, (Matanzas y Camaguey), fue evaluado de la forma siguiente.

- Caracterización mediante AFLP de aislados de [*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson], agente causal de la Escaldadura foliar. (*Xa*).

De los dos centros de prueba donde se trabaja con *Xa* en la red del INICA, se preparo un cultivo bacteriano con el cual se procedió a la caracterización molecular de los inóculos.
Cultivo bacteriano y aislamiento de ADN genómico: Los aislados de la bacteria patogénica sistémica *Xa*, fueron inoculados en 20 mL de medio conteniendo sacarosa 10 gL^{-1}, peptona C 5 gL^{-1}, K2HPO4 0.5 gL^{-1}, MgSO4 x 7 H2O 0.25 gL^{-1},NaSO3 0.025 gL^{-1}, pH 6.9–7.0. Los cultivos se mantuvieron a 200 rpm, en la oscuridad, a temperatura de 37°C hasta la fase de crecimiento exponencial (D.O:0.9–1). El cultivo bacteriano se centrifugó a 5000 rpm durante 20 min y el sedimento se utilizó para la purificación del ADN genómico utilizando el sistema comercial de reactivos Wizard® Genomic DNA (cat # A1120, Promega, USA). La integridad del ADN se verificó en geles de agarosa (0.8%) visualizados con EtBr.

Análisis genómico: Se realizó mediante AFLP (por sus siglas del inglés Amplified Fragment Length Polymorphism) siguiendo el procedimiento descrito por Vos y col. (1995) y de acuerdo a la Patente Europea 0534858 (Keygene, Belgium).
Paralelamente al trabajo de caracterización molecular se procedió a buscar bajo las condiciones de clima en Cuba, los principales elementos para conformar la escala para evaluar la escaldadura foliar, y para ello se procedió dividiendo el estudio en 4 aspectos fundamentales, (González y col 2007), pero solo nos referiremos al establecimiento del sistema evaluativo de la resistencia, para lo cual se evaluó el estudio bajo inoculación artificial, en áreas de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) en Jovellanos, Matanzas, plantando un total de 199 variedades, la mayoría de ellas, genotipos de avance generacional y otros de interés específico en resistencia a enfermedades; se incluyen algunas variedades comerciales cubanas y extranjeras de reacción conocida ante la enfermedad, como forma de tener alguna referencia de partida en los análisis. De cada variedad se planta la semilla suficiente de modo que a los dos meses de edad, en el mes de abril, se puedan tomar 20 plantas de cada una de ellas (como mínimo) y se inoculen por el método de Rott, con decapitación de la parte foliar. Posteriormente se practicaron evaluaciones mensuales, registrando el número de plantas de cada grado de la escala que establece la propia metodología (koike, 1979) y se determina la Severidad de la infección, según la fórmula:

$$\textbf{Sev} = \frac{\textbf{[n(1) + n(2) + n(3) + n(4) + n(5)] 100}}{\textbf{N (5)}}$$

donde:

Sev = Severidad de ataque (%)
n = número de plantas en el grado correspondiente de la escala de intensidad (Koike, 1979)
N = Número total de plantas en la muestra (20 como mínimo)

Con los datos de los porcentajes de severidad más altos obtenidos en las evaluaciones efectuadas en ambas cepas, se efectuó un Análisis Discriminante, combinando diferentes porcentajes de severidad en ambas cepas, hasta obtener una posible escala lógica, con un elevado porcentaje de buena clasificación y aceptables distancias entre los grupos, así como una alta probabilidad de manifestación de los correspondientes grados de resistencia en cada grupo.

Para el resto de las enfermedades de conocido comportamiento como (Roya, Carbón, RSD y VMCA), el trabajo estuvo dirigido a recopilar la información de que se disponía y conformar una base de datos nacional que facilite el trabajo de selección de los progenitores en los programas de hibridación, con la cual se analizo la eficiencia de esta en la elección de cruces comprobados y exploratorios.

Resultados y discusión

- Caracterización mediante AFLP de aislados de [*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson], agente causal de la Escaldadura foliar. (*Xa*).

Las muestras de ADN de *Xa*, se analizaron mediante AFLP con las combinaciones de cebadores P (*Pst*I) y M (*Mse*I) que aparecen en la Tabla 1. En las 4 combinaciones utilizadas se observa una gran consistencia y resolución de las bandas de ADN amplificadas (figura 1). Las secciones de geles de mayor resolución muestran que se amplificaron con diferentes intensidades aproximadamente 38 bandas para la combinación de cebadores A, 39 bandas para B, 34 bandas para C y 37 bandas para la combinación D. Paralelamente, para todos los casos, se demuestra una elevada similaridad en los patrones de amplificación y no se identificaron bandas de ADN polimórficas, lo que permite concluir que en las condiciones de este trabajo no se detecta variabilidad significativa por lo que ambos asilamientos son similares a este nivel genómico, resumiendo por ello que los resultados que se obtengan en los dos centros de prueba para la enfermedad causada por *Xa*, se basan en la misma fuente de infección y por ello pueden ser tenidos en cuenta indistintamente.

La técnica de AFLP consiste en la amplificación arbitraria de regiones genómicas de un organismo dado, demostrando una alta confiabilidad y reproducibilidad. En paralelo se considera una técnica de alto volumen por explorar regiones genómicas relativamente mayores en comparación a otros métodos. La misma tiene múltiples aplicaciones siendo muy extendida en trabajos de genética, biología molecular y estudios de variabilidad y sistemática, entre otros (Vos y col., 1995; Cnops y col., 1996; Breyne y col., 1997; Milbourne y col., 1997; Ridout y Donini, 1999; Arencibia y col., 2005; 2006). Estos hechos apoyan la factibilidad de su utilización para los estudios de variabilidad genómica en aislados de *Xanthomonas albilineans* y la validez de los resultados obtenidos.

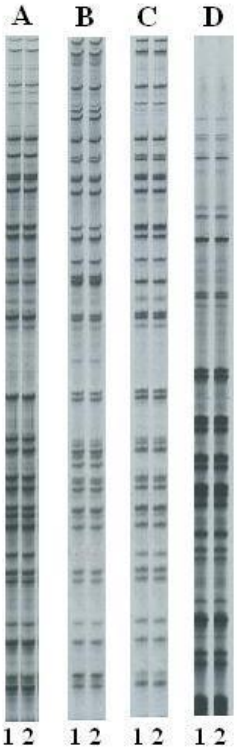


Tabla 1. Cebadores utilizados en las reacciones de AFLP.

Código	Cebador/ Enzima	Secuencia ADN del cebador	Bases selectivas
P1	*Pst*I-1	5'-GACTGCGTACATGCA-3'	aa
P2	*Pst*I-2	5'-GACTGCGTACATGCA-3'	ac
M1	*Mse*I-1	5'-GATGAGTCCTGAGATAG-3'	acc
M2	*Mse*I-2	5'-GATGAGTCCTGAGATAG-3'	ggc

Copia de cebadores
A. P1/M1
B. P1/M2
C. P2/M1
D. P2/M2

Aislamientos
1. Jovellanos
2. Camaguey

Figura 1. Patrones de amplificación (AFLP) utilizando 4 combinaciones de cebadores en aislados del patógeno *Xanthomonas albilineans* de las provincias de Matanzas y Camaguey.

- Establecimiento del sistema evaluativo de la resistencia

  Comportamiento de la enfermedad en Planta y Soca

Es evidente que la escaldadura foliar en las pruebas con inoculación artificial ofrece mayor severidad de ataque en caña planta que en soca (Fig. 2), lo que puede ocurrir por dos causas fundamentales: En esa fase pueden morir muchas plantas como consecuencia de la enfermedad, las que no se evalúan en soca y por otra parte, cuando se inocula artificialmente, se pierde la posibilidad de expresión de la resistencia de la pared celular, pues se decapitan las plantas para ser inoculadas, lo que no ocurre después en la fase de retoño. Lo anterior debe ser tomado en consideración e indica a priori, que deben considerarse ambas cepas para determinar finalmente la respuesta de la variedad inoculada.
A pesar de lo anterior, hay variedades que muestran mayor porcentaje de severidad en las socas que en caña planta, lo que refuerza entonces lo expresado acerca de que es preciso considerar ambas cepas para poder tener un criterio más seguro de la respuesta de las variedades ante *Xa.*
El hecho que se alcance mayor severidad de ataque en la cepa de caña planta no presupone que sea esa la cepa más afectada bajo condiciones de infección natural; en condiciones normales de producción, si hay manifestación de escaldadura foliar en la fase de caña planta, luego en las socas sucesivas pueden ocurrir **re-infecciones,** que tienen lugar por los instrumentos de cultivo, cosecha y demás formas de transmisión que pueda tener la bacteria.

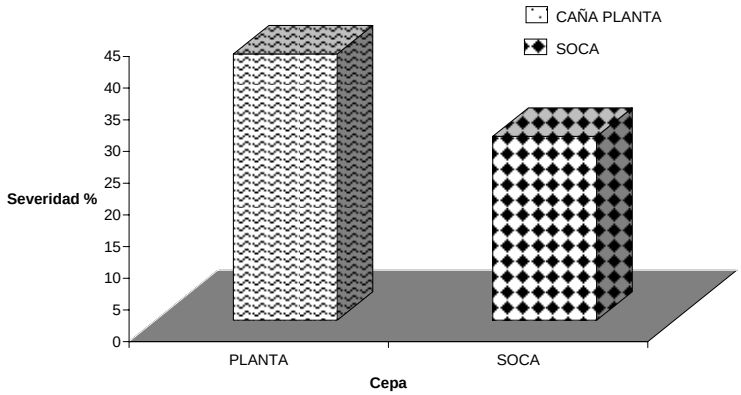


Fig. 2. Porcentaje de severidad de ataque en fases de caña planta y soca

- Establecimiento de la escala.

Una revisión de los resultados de la severidad de la infección en ambas cepas y la consideración de 5 grupos preestablecidos, después de valorar otras combinaciones, permitió establecer una escala que responde a las exigencias de seleccionar variedades con segura respuesta de resistencia o susceptibilidad, así como de otras de comportamiento intermedio. Los Grupos definitivos estuvieron decididos por la Severidad máxima de infección mostrada en cualquiera de las evaluaciones en ambas fases del cultivo.
Cuando analizamos el grupo de variedades que mostró mayor severidad de ataque en la fase de soca, nos percatamos que cuando en esta fase la severidad **no** rebasaba el 10%, tampoco lo había hecho en caña planta, lo que enfatizaba el criterio de varios autores de que el 10% de severidad podía ser un límite lógico de expresión de resistencia escaldadura foliar.
Lo importante entonces era poder diferenciar los grupos intermedios de respuesta de las variedades ante este agente patógeno. El análisis discriminante con la escala que se determinó aplicar (Tabla 2) mostró en primer término un 84.62% individuos bien clasificados (Tabla 3), lo que indica que los grupos fueron correctamente seleccionados.

Tabla 2. Escala de severidad de ataque para la evaluación de escaldadura foliar

GRADO	**DENOMINACIÓN**	**SEVERIDAD**	
		PLANTA	**SOCA**
1	MUY RESISTENTES	0 - 2	0 - 2
2	RESISTENTES	2.1 -10	2.1 -10
3	INTERMEDIAS	10.1- 20	10.1 - 20
4	SUSCEPTIBLES	**20.1 - 30**	**20.1 - 30**
5	MUY SUSCEPTIBLES	**>30**	**>30**

El número asignado a cada grado corresponde al Grupo (Grado 1 = G 1.1)
Resistentes Intermedias Susceptibles

Tabla 3. Matriz de Clasificación de los grupos de severidad de la infección en la escala aplicada.

GRUPOS	% bien clasificados primera componente	% de individuos bien clasificados				
		G_1:1	G_2:2	G_3:3	G_4:4	G_5:5
		p=.04615	p=.18462	p=.18462	p=.12821	p=.45641
G_1:1	0.00	0	9	0	0	0
G_2:2	91.67	0	33	0	0	0
G_3:3	83.93	0	5	3	1	0
G_4:4	76.00	0	0	30	19	0
G_5:5	93.26	0	0	6	6	83
Total	**84.62**	0	47	39	26	83

Filas: Clasificaciones observadas
Columnas: Clasificaciones por grupo

Por otra parte se observa que entre los grupos 1 y 2 es donde mayor similitud se presenta en cuanto al porcentaje de severidad que los clasifica como tales (Tabla 4), es decir, que una variedad con reacción tipo 1 (Altamente Resistente), pudiera en otra evaluación mostrar el grado 2 (Resistente) y viceversa. Sin embargo, ello no sería de gran significación, por cuanto ambos representan resistencia a la enfermedad y por consiguiente serían variedades aceptadas para su comercialización. Es importante apreciar que entre los demás grupos hay diferencias apreciables, así como que nunca una variedad de reacción resistente pasó a susceptible ni viceversa, lo que enfatiza la seguridad en los grupos establecidos y por consiguiente, una garantía en la recomendación de variedades clasificadas por esa escala.

Tabla 4. Distancia entre los Grupos de severidad de la escala

GRUPOS	G_1:1	G_2:2	G_3:3	G_4:4	G_5:5
G_1:1	0				
G_2:2	0,1224	0			
G_3:3	1.5052	0.7880	0		
G_4:4	5.35.16	3.9121	1.5740	0	
G_5:5	23.4300	20.3684	14.5799	7.0760	0

La correcta selección de los porcentajes de severidad para cada Grupo de la escala se enfatiza cuando se observa la (Tabla 5) los niveles de probabilidad de diferenciación entre esos Grupos. Se vuelve a distinguir la alta similitud de los Grupos 1 y 2, en tanto la probabilidad de encontrar individuos de diferentes respuestas en concordancia con grados diferentes en la escala es alta cuando se comparan los restantes grupos entre sí, es decir, que se acentúa la diferencia entre los rangos de severidad que caracterizan a cada grado de la escala. A su vez, la diferencia entre el grado 3 (Intermedio) y el 4 es mucho mayor que entre el 2 y el 3, por lo que el riesgo de cultivo de una variedad intermedia no es tan alto.

Tabla 5. Niveles de probabilidad de diferenciación entre los Grupos de la escala

GRUPO	G_1:1	G_2:2	G_3:3	G_4:4	G_5:5
G_1:1	0				
G_2:2	**0,940**	0			
G_3:3	0,051	0,010	0		
G_4:4	0,000	0,000	0,000	0	
G_5:5	0,000	0,000	0,000	0,00	0

Los resultados de los correspondientes análisis estadísticos expresan la justificación de la escala propuesta en concordancia con los grados de severidad y la concentración de células del agente causal en la hoja. De esa forma, se considerarían aceptables para la explotación comercial todas las variedades de los Grados 1 y 2, en tanto debían descartarse las que se clasifiquen en los grados 4 y 5. Las variedades con reacción Intermedia (Grado 3) podrían ser explotadas en condiciones que no favorezcan el desarrollo de la enfermedad y bajo estricta vigilancia sanitaria

- Resultados de la conformación de la base de datos.

Los resultados que se presentan están relacionados con el nivel de actualización que posee el genofondo de que se dispone en Cuba para el trabajo de hibridación a cerca de los niveles de resistencia a las principales enfermedades que afectan a la cana de azúcar, Tablas 6, 7, 8, y 9. En todas ellas se muestran similares informaciones, destacándose que aunque queda mucho por hacer se cuenta con un importante número de progenitores caracterizados ante las diferentes enfermedades, lo que sin lugar a dudas gravita sobre mejoras en la eficiencia de los programas de mejoramiento genético, a las que se hará referencia a continuación.

Tabla 6. Individuos evaluados con los diferentes niveles de resistencia según la escala en la enfermedad de la roya

Roya						
Niveles de resistencia	**AS**	**S**	**INT**	**MR**	**R**	**TOTAL**
Individuos evaluados	258	275	1	188	318	1 040
Faltan						**444**

Tabla 7. Individuos evaluados con los diferentes niveles de resistencia según la escala en la enfermedad del Carbón

Carbón										
Niveles de resistencia	**MAS**	**AS**	**S**	**INT**	**MS**	**R**	**MR**	**MAR**	**I**	**TOTAL**
Individuos evaluados	488	94	113	167	72	93	46	11	30	1114
Faltan										**370**

Tabla 8. Individuos evaluados con los diferentes niveles de resistencia según la escala en la enfermedad del VMCA.

VMCA							
Niveles de resistencia	**AS**	**S**	**INT**	**R**	**AR**	**I**	**TOTAL**
Individuos evaluados	367	14	38	178	55	67	719
Faltan							**765**

Tabla 9. Individuos evaluados con los diferentes niveles de resistencia según la escala en la enfermedad de la Escaldadura foliar.

Escaldadura foliar						
Niveles de resistencia	**AS**	**S**	**INT**	**AR**	**R**	**TOTAL**
Individuos evaluados	54	77	34	62	65	292
Faltan						**1 192**

- Análisis de la eficiencia de los planes de cruzamientos, para resistencia a enfermedades.

En esta etapa, se analizo de manera general el resultado de las combinaciones realizadas en toda la campaña de cruzamientos de la estación experimental mas antigua de Cuba, la de Matanzas, con referencia al uso de los progenitores acorde a su expresion fitosanitaria y los niveles de susceptibilidad mostrados en las pruebas de resistencia, llegando se a los siguientes resultados.

Según se muestra en la Tabla 10, todavía en estas combinaciones dadas como comprobadas son usados progenitores femeninos susceptibles al carbón y la roya, pero debe ser destacado que se ha logrado disminuir el nivel de utilización de combinaciones (S x Inter y S x S) , por lo que en estas coinciden de manera armónica los progenitores que aportan rendimiento y resistencia.

Tabla 10 Porcentaje del nivel de resistencia de las combinaciones empleadas en las combinaciones comprobadas

	R x R	R x Int	R x S	Int x R	Int x Int	Int x S	S x R	S x Int	S x S
Mosaico	6.7	13.3	2.2	4.4	2.2				
Roya	35	13	22	9	-	4	13	2	-
Carbón	38	20	9	9	9	4	9	2	-
Escaldadura	6.7		4.4				4.4		2.2

Tabla 11. Porcentaje del nivel de resistencia de las combinaciones empleadas en las combinaciones exploratorias.

	R x R	R x Int	R x S	Int x R	Int x Int	Int x S	S x R	S x Int	S x S
Mosaico	17.5	7.7	4.9	1.4	0.7	1.4	-	-	-
Roya	56	15	11	18	-	-	-	-	-
Carbón	18	32	14	20	13	3	-	-	-
Escaldadura	7.7	-	-	-	-	-	4.2	-	1.4

La Tabla 11 expone el análisis de las combinaciones exploratorias, destacándose que aun en estas se puede ver que la participación de individuos que trasmiten susceptibilidad se ha limitado, lo que demuestra la ingerencia que están teniendo el uso de la base de datos en los resultados del programa de mejoramiento genético y la necesidad de continuar el trabajo de discriminación y actualización de las mismas, con especial énfasis en las enfermedades del virus del mosaico (VMCA) y la escaldadura foliar, *(Xa)*, pues en la primera se a manifestado un estancamiento en la evaluación del genofondo y la segunda es una enfermedad con la que se autorizo trabajar hace poco tiempo.

Seguidamente se exponen los resultados de un grupo de combinaciones comprobadas con resistencia múltiple y adecuadas características de rendimiento, Tabla 12, que están siendo usadas en los programas de mejora.

Tabla 12. Cruzamiento entre progenitores con resistencia múltiple.

Progenitores	**Cont. Azuc.**	**VMCA**	**Roya**	**Carbón**	**Escalda-dura**
BJ6018B59162	A	INT	INT	R	R
B53164XB6496	M	INT	R	R	R
C87-51XJa60-5	A	R	R	R	R
MY5514XC227-59	A	R	R	INT	R
PJ2878XJA60-5	M	R	R	R	R
CP48-103XCP55-15	A	INT	R	R	R
CP63-274XCP57-526	A	R	R	R	R
CO775XCO798	A	R	R	R	R

Conclusiones.

- Se logro uniformar el inoculo de [*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson], agente causal de la enfermedad de la escaldadura foliar, en los dos centros de prueba de la red del INICA.
- Fue determinada una escala de grados para la evaluación de la Escaldadura foliar, (*Xa)* bajo las condiciones de clima del Cuba.
- Se conformo una base de datos nacional con el comportamiento de resistencia de los principales progenitores usados en el programa de mejoramiento genético para la cana de azúcar en Cuba
- Existe una manifiesta mejoría en la eficiencia de los programas de mejora a partir del empleo de los resultados de los niveles de resistencia de los progenitores en los programas de mejora.

Recomendaciones.

- Continuar profundizando en el estudio de las bases fitopatologicas de las enfermedades de interés económico.
- Conformar una interfase que permita facilitar el completamiento de las bases de datos con los resultados de las provincias.

Referencias Bibliograficas.

Autrey, L.J.C.; Saumtaly, S.; Dookum, A. y Médan, H. (1995): Studies on variation in leaf scald pathogen, *Xanthomonas albilineans. Proc. XXI Congress of ISSCT*, Thailand, 21: 485-497.

Davis, M.J.; Rott,P.; Warmuth, C.J.; Chatenet, M. y Baudin, P. (1997): Intraspecific genomic variation within *Xanthomonas albilineans*, the sugarcane leaf scald pathogen. *Phytopathology*. 87: 316-324.

Díaz, M. (2000): Escaldadura foliar de la caña de niver en Cuba: Caracterización, niversida y diagnóstico molecular de su agente causal (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson). *TesisDoctoral. Universidad Agrícola de La Habana*. 89pp.

Klett, P. y Rott, P. (1994): Inoculum sources for the spread of leaf scald disease of sugarcane caused by *Xanthomonas albilineans* in Guadalupe. *Phytopathology*. 142: 283-291.

Koike, H. 1965. The aluminum cap method for testing sugarcane varieties against leaf scald disease. Phytopathology 55:317-319.

Peralta. E.L.; Díaz, M.; Iglesias, A.; Pazos, V.; Carvajal, O.; Pérez, J. y Gigliotti, E.A. (2001): Serological diversity of *Xanthomonas albilineans (*Ashby) Dowson in Cuba. *Resúmenes IV SeminarioCientífico Internacional de Sanidad Vegetal.* p97.

Rott, P. y Davis, M.J. (2000): Leaf scald. In: A guide to Sugarcane diseases. *CIRAD and ISSCT 2000.* p.163-169.

Rott, P., Considerations for leaf scald evaluation (2007): Communication personal

P. Rott, I. S. Mohamed, P. Klett, D. Soupa, A. de Saint-Albin, P. Feldmann, and P. Letourmy.: 1997 Resistance to Leaf Scald Disease Is Associated with Limited Colonization of Sugarcane and Wild Relatives by *Xanthomonas albilineans* Vol. 87, No. 12, 1997 1213.

UTILILIDAD DEL MODELO AMMI EN LA CLASIFICACIÓN DE GENOTIPOS Y LOCALIDADES EN CONDICIONES DE ESTRÉS POR SEQUÍA EN CUBA

Reynaldo Rodríguez; Norge Bernal, Héctor Jorge, Héctor. García, Íbis. Jorge, Y. Puchades, A. González, G Barroso ; R Cruz

Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. norge@inica.minaz.cu

Resumen

La magnitud del estrés por sequía alcanza el 29,8 % del área nacional. Ante tales limitaciones, una alternativa es el estudio de variedades con cierto grado de tolerancia a la sequía. El presente trabajo tiene por objetivos exponer los resultados obtenidos en los estudios multiambientales de genotipos de caña de azúcar en estas condiciones, en diferentes regiones de Cuba, y evaluar su estabilidad a través de los ambientes. Los estudios se desarrollaron en 8 provincias de Cuba, agrupadas en 4 regiones, abarcando 15 localidades y diferentes tipos de suelos, caracterizados por presentar diferentes grados de estrés por sequía. Se realizaron análisis de varianza de clasificación doble (genotipos y localidades como efectos aleatorios) y se determinó su estabilidad aplicando los Modelos de Efectos Principales Aditivos e Interacciones Multiplicativas (AMMI). En las cuatro regiones estudiadas se encontró predominio del efecto ambiental. La varianza de la interacción genotipo-ambiente (GxA) en todas las regiones estudiadas fue superior al de los genotipos. Los modelos AMMI permitieron estudiar el grado de estabilidad de los genotipos y explicar entre sus dos primeras componentes más del 70 % de la varianza contenida en la interacción GxA. En todas las regiones de estudio se observó, que tanto para el porcentaje de pol en caña como para la variable t caña.ha^{-1}, existen diferencias entre las localidades con mayor relevancia en las t caña.ha^{-1}.

Palabras clave: Interacción genotipo ambiente, Modelos AMMI

Abstract

The magnitude of the stress for drought reaches 29.8 % in the Cuba Agricultural Area. Therefore, an alternative is the study of genotype with certain level of tolerance to the drought. The sugarcane cultivars were evaluated in multi-environment trials (METs) at fifteen sites across the Cuba Agricultural Area with the objectives of evaluating sugarcane cultivar responses across environments and identify specific superior cultivars. Additive main effects and multiplicative interaction model (AMMI) was applied. For percentages of pol per cane (PPC), tons of cane per hectare (TCH) and tons of pol per hectare (TPH) the environments (E), genotypes (G), and genotype-environments interaction (GE) were highly significant ($P<0.01$). Based on the relative contribution of sum of squares, the environmental effect had the highest contribution, followed by GE interaction and genotypes. According to the GE interaction biplot derived from the AMMI model, the first two principal components (PCA1 and PCA2) were highly significant ($P<0.01$) and explained more than 70 % genotype-environments interaction. It was possible to identify groups of sites and superior cultivars for each group using the AMMI model.

Introducción

El Programa Científico Técnico para el desarrollo de la Agroindustria Azucarera plantea la necesidad de revertir la situación económico-productiva actual, y trabajar por elevar los índices de eficiencia en forma estable (CITMA,1996; Rosales, 2004).

Para ello una de las medidas es la utilización de la tierra por su aptitud física. En tal sentido se ha dispuesto que la producción de caña esté sustentada en los suelos de mayor calidad, -Aptos (A1) y moderadamente aptos (A2)- (Villegas y Benítez, 2003). No obstante aún no podrá prescindirse de áreas dentro de esas categorías con limitaciones, donde la acción combinada de los bajos acumulados anuales de precipitaciones y la escasa retención de humedad puedan producir estrés por sequía (Bernal, 2007).

La magnitud del estrés por sequía alcanza el 29,8 % del área nacional y de manera particular por provincias llega a proporciones considerables en Camagüey (51 %), Cienfuegos (47,2 %) y Villa Clara (42,9 %). Ante tales limitaciones una de las soluciones más prácticas y económicas, es el estudio de variedades con cierto grado de tolerancia a la sequía, mediante la evaluación de los individuos obtenidos y seleccionados por el programa de mejoramiento genético del país. (Bernal, 2007).

El Programa de Mejora cubano para la obtención de variedades comerciales, no está concebido para dar respuesta a la problemática formulada anteriormente. De los cinco sitios donde se lleva a cabo el proceso completo de estudio y selección del material obtenido, solo dos poseen características edafoclimáticas que asemejan las condiciones de estrés ambiental referidas (Jorge y Jorge, 2003).

Estas razones han motivado el desarrollo de proyectos de investigación con vistas a establecer las bases para la concepción de programas de mejoramiento específicos de obtención de variedades para condiciones de estrés hidrosalino (Cruz, 2000), y por mal drenaje (Ojeda, 1999). A pesar de los resultados alcanzados aún permanecen muchos aspectos por resolver (García, 2004).

Por ese motivo los estudios de la interacción genotipo-ambiente (GxA) y la estabilidad fenotípica resultan de especial interés en el mejoramiento genético de esta especie. La evaluación de variedades en diferentes localidades, a lo largo del tiempo, es una importante opción para estimar las respuestas genotípicas diferenciales a variadas condiciones ambientales, y de esta forma, estimar la interacción genotipo-ambiente. (Aucilino y col., 2000)

Entre las diversas técnicas disponibles para realizar este tipo de estudios se ha elegido el método efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI) propuesto por Gauch y Zobel (1988). Hasta el presente, el método ha sido utilizado principalmente en cereales y oleaginosas (Gauch, 1988 y Crossa y col.., 1990), y en menor medida en plantas forrajeras (Annicchiarico, 1992; Van Eeuwijk y Elgersma, 1993). El método AMMI no sólo permite estimar estabilidad sino también evaluar localidades y como consecuencia clasificar ambientes (Crossa y col., 1990; Saindon y Schaalje, 1993); además de permitir una representación bidimensional (Biplot) de filas (genotipos) y columnas (ambientes) (Varela y Castillo, 2002).

Considerando lo anteriormente tratado, el presente trabajo tiene por objetivos exponer los resultados obtenidos en los estudios multiambientales de genotipos de cañas de azúcar en condiciones de estrés por sequía en varias regiones de Cuba, y evaluar su estabilidad en los diferentes ambientes.

Materiales y Métodos

Los estudios se desarrollaron en 8 provincias de Cuba, agrupadas en 4 regiones desde Oriente hasta Occidente, abarcando 15 localidades en diferentes tipos de suelos (Hernández y col, 1999), caracterizados por presentar diferentes grados de estrés por sequía (Tabla I). Para ello se consideró 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 el rendimiento (García, 2004).

Tabla I. Localidades y tipo de suelos donde se plantaron los estudios

Provincia	Empresa	Unidad	Suelo	Genotipos
Pinar del Rio	30 de Noviembre	CPA J. Martí	Pardo Sialítico	10
La Habana	A. Lincoln	R. Corcho	Ferralitico amarillento	10
	B. Luis	Bainoa	Ferralítico Rojo	10
	M. Fajardo	Noriega	Ferralítico Rojo	10
Matanzas	J Rabí	CPA "28 de enero"	Ferralítico Rojo Hidratado	9
	México	Gerardo Alvares	Pardo Sialítico	9
	E. Republicana 1	M. Gómez	Ferralítico Rojo Compactodo	9
	E. Republicana 2	Neda	Pardo Sialítico	9
Cienfuegos	A. Sánchez	CCS "Sergio G."	Ferralítico Rojo	9
	E. Gómez	Pesetas	Pardo Sialítico	9
Holguín	C. Naranjo	San Juan	Vertisol	8
Granma	E. Díaz	Realengo	Vertisol	15
Santiago de Cuba	JA. Mella	Baragúa	Ferralítico Amarillento Típico	15
	P Rosales.	El jazmin	Pardo Sialítico	15
Guantánamo	M. Támes	Mártires de Angola	Pardo Sialítico	15

Los experimentos fueron plantados bajo el diseño de bloques completamente aleatorizados en parcelas de 48 m^2; y conducidos y evaluados según las Normas Metodológicas del Departamento de Fitomejoramiento del INICA (Jorge y col., 2002). Los resultados de los estudios corresponden a la cepa de caña planta, plantados entre agosto y octubre del 2006 y cosechados entre enero y marzo del 2008 con 16-19 meses de edad. Las variables evaluadas fueron: t caña.ha^{-1}, porcentaje de pol en caña y t pol.ha^{-1}.

Para lograr una mejor compresión de los genotipos y las localidades en estudio, el trabajo se dividió en cuatro regiones agrupando la mayor cantidad de cultivares que se repiten en los mismos ambientes (Tabla II).

Tabla II. Agrupamiento de los estudios por genotipos que se repiten en las localidades.

Región	Localidades	Genotipos	Región	Localidades	Genotipos
Occidental	1- J. Martí 2- A. Lincoln 3- M. Fajardo 4- B. Luis	10	Central	1- J. Rabí 2- E. Repub. 3- México 4- E. Repub. 2 5- A. Sánchez	9
Oriente	1- E. Díaz 2- JA. Mella 3- M. Támes 4- C. Naranjo	8	15 Oriente Sur	1- E. Díaz 2- JA. Mella 3- P. Rosales 4- M. Támes	15

Los datos originales de las variables analizadas, estadísticamente fueron comprobados respecto a su normalidad y homogeneidad de varianza mediante pruebas de Chi cuadrado y Bartlett-Box.

Comprobada la existencia de interacción GxA, se realizaron análisis de varianza de clasificación doble, tomando como factores los genotipos y las localidades (ambas como efectos aleatorios), para conocer la influencia en la varianza genética de los factores ambientales y sus interacciones, de acuerdo al modelo de Cochran y Cox (1965):

$Y_{ijk} = \mu + G_i + \beta_j + (G\beta)_{ij} + e_{ijk}$
Donde:

Y_{ijk}.	Es la observación k en la localidad j del genotipo i
μ.	Media general
$G_{i.}$.	Efecto del i-ésimo genotipo
β_j.	Efecto de la j-ésima localidad
$(G\beta)_{ij}$.	Efecto del i-ésimo genotipo en la j-ésima localidad
$e_{ijk.}$	Error asociado a la k-ésima observación de la j-ésima localidad y del i-ésimo genotipo

Para lograr mayor precisión en la caracterización de las variedades se determinó su estabilidad mediante los Modelos AMMI. Este modelo está constituido por parámetros aditivos y multiplicativos, y realiza un análisis combinado de la varianza (ANOVA) para los efectos principales de genotipo (G) y ambiente (A), y de componentes principales (ACPI) para los efectos no aditivos de la interacción GxA (Mandel, 1969 y 1971; Gollob, 1968, Aucilino y col., 2000, Varela y Castillo, 2002).

El modelo es: $Y_{ge} = \mu + \alpha_n + \beta_e + \Sigma_n \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{en}$

Y_{ge}: Rendimiento observado del genotipo i en el ambiente j
Los parámetros aditivos son:
μ: Media general.
α_g: Desviación con respecto a la media general del genotipo g.
β_e: Desviación con respecto a la media general del ambiente e.

Los parámetros multiplicativos son:
λ_n: El valor singular para el eje n del ACPI.
γ_{gn}: El vector propio unitario del genotipo para el eje n.
δ_{en}: El vector propio unitario del ambiente para el eje n.

El número máximo de ejes posibles ACPI que el modelo puede retener es el mínimo (G-1; E-1) (Mandel, 1971). Sin embargo, sólo se consideraron aquellos ejes significativos. Los ejes no significativos se incluyeron en el residual, ρ_{ge}. Los grados de libertad (g1) que le corresponden a cada eje se calcularon según lo establecido por Gollob (1968). Se estimaron las coordenadas genotípicas ($\lambda_n^{0,5}\ \gamma_{gn}$) y ambientales ($\lambda_n^{0,5}\ \delta_{en}$) sobre los ACPI, y se construyó un gráfico bidimensional (Biplot) con el primer eje del ACPI contra el segundo eje (ACPI1 vs. ACPI2).

Resultados y Discusión

Al observar los estimados de los componentes de la varianza para el porcentaje de pol en caña (Tabla III), se destaca el predominio del componente de varianza del ambiente (VA) en las 4 regiones estudiadas, siendo superior en la región oriental y sur oriental. Por su parte, la varianza genética ($\sigma^2 g$) en estas dos regiones presentó los valores más bajos, obteniéndose únicamente un valor superior en la

región central, representando el 18.3 % de la varianza fenotípica total. Los valores de la varianza de la interacción GxA (σ^2gxa) fueron en todas las regiones estudiadas, superior al de los genotipos.

En el caso de las variables t caña.ha^{-1} y t pol.ha^{-1}se observa igual tendencia que en la variable anterior, con el predominio del componente ambiental en las todas las regiones, aunque en menor medida debido a una mayor influencia de la σ^2gxa. La σ^2g en la región oriental y para ambas variables, presentó los valores más bajos. Estos resultados evidencian lo contrastante de los ambientes en estudio y justifican la búsqueda de variedades de adaptación especificas para cada una de las localidades (García, 2004).

Numerosos trabajos han reportado que en Cuba, la magnitud del componente ambiental y la interacción GxA es considerablemente superior a la variación debida a los genotipos (Gálvez, 1978, Espinosa 1980, López 1986, Bernal, 1986, Castro, 1991, Vega, 1993, Cruz, 1994, González, 1995, García, 2004, Delgado, 2008). La consecuencia práctica directa, es la necesidad de replicar espacial y temporalmente los estudios comparativos de nuevas variedades, abarcando un número de regiones y dentro de ellas, varias localidades con diferencias edafoclimáticas más o menos notables (Bernal, 1999).

Tabla III. Estimados de los componentes de varianza en las diferentes regiones.

Comp.	**% pol**			**t caña.ha^{-1}**			**t pol.ha^{-1}**		
varianza	□	ES	PVT	□	ES	PVT	□	ES	PVT
	Occidente								
σ^2g	0.41 ±	0.65 **	10.7	131.09 ±	194.19 **	18.7	1.89 ±	6.42 **	8.4
σ^2l	5.35 ±	3.49 **	73.7	562.79 ±	408.68 **	45.1	41.93 ±	27.85 **	65.6
σ^2gxa	0.90 ±	0.26 **	12.2	214.97 ±	81.40 **	20.1	7.94 ±	2.97 **	14.7
σ^2e	0.29 ±	0.00	3.4	236.04 ±	679.42	16.0	8.37 ±	0.86	11.4
VA	5.64		77.1	798,83		61.1	50.3		77.0
	Centro								
σ^2g	0.25 ±	0.32 **	18.3	92.14 ±	182.12 **	10.0	0.88 ±	5.44 **	6.0
σ^2l	0.76 ±	0.52 **	41.4	947.10 ±	552.78 **	61.1	29.92 ±	17.47 **	63.0
σ^2gxa	0.46 ±	0.13 **	25.9	295.31 ±	79.94 **	19.7	9.16 ±	2.55 **	20.4
σ^2e	0.36 ±	0.00	14.4	185.76 ±	313.69	9.2	6.55 ±	0.39	10.6
VA	1.12		55.8	1132.8		70.3	36.47		73.6
	Oriente								
σ^2g	0.14 ±	0.60 **	5.8	0.00 ±	0.00 **	5.6	0.00 ±	6.39 **	4.2
σ^2l	5.55 ±	3.62 **	77.4	795.63 ±	592.22 **	56.6	9.74 ±	9.44 **	40.9
σ^2gxa	0.74 ±	0.27 **	10.8	325.67 ±	123.04 **	23.7	7.98 ±	3.11 **	33.1
σ^2e	0.49 ±	0.00	6.0	238.55 ±	862.22	14.2	6.61 ±	0.66	21.8
VA	6.04		83.4	1034.1		70.8	16.3		62.7
	Oriente Sur								
σ^2g	0,15 ±	0,44	5,85	40,2 ±	153,9	11,8	0,47 ±	4,28	14,9
σ^2l	6,4 ±	4,11	79,6	735,4 ±	500,2	59,7	8,68 ±	7,17	40,6

σ^2gxa	0,8	±	0,2	*	10,6	298	±	68,7	*	23,6	8,46	±	1,95	*	37,1
σ^2e	0,36	±	0,00	*	3,96	69,2	±	39,2		4,9	1,91	±	0,03	*	7,4
VA	6.76				83.5	804.6				64.6	10.5				48.0

σ^2g- varianza de genotipos σ^2l- varianza de localidades σ^2gxa- varianza de la interacción GxA
VA- varianza ambiental

Estimación de la estabilidad

Al aplicar los Modelos AMMI a la matriz de residuales de la interacción GxA, en la cuatro regiones estudiadas, se obtuvo que en todos los casos las dos primeras componentes eran muy significativas ($p<0.01$), y explicaban más del 70 % de la variabilidad contenida en la varianza de la interacción, por lo que se escogieron para construir el gráfico de doble entrada (Biplot) y estudiar la estabilidad de los genotipos en los diferentes ambientes, teniendo en cuenta que los genotipos y ambientes con coordenadas elevadas sobre la primera y segunda componente (ACP1 y ACP2), consideradas en valor absoluto, contribuyeron en mayor medida a la interacción GxA. Mientras que genotipos y ambientes con ACP1 y ACP2 próximos a cero tienen una contribución mínima.

Región occidental

En la figura 1 se evidencia la diferenciación de las localidades respecto al % de pol en caña, con mayor contraste en las localidades de B. Luís, Martí, y A. Lincoln. El primer eje (56.4 %) contrapone la variedad B7274, más asociado a la localidad de B. Luis con el valor de media más alto, con la variedad C87-635 que interactúa positivamente con la localidad de J. Martí y en la que registró un bajo valor de pol. Las variedades que resultaron ser más estables son: C87-253, Co997, C86-56, C132-81 y C88-523, todas interactuando positivamente en la localidad de M. Fajardo, presentando además, las dos primeras variedades medias altas.

Para la variable t caña.ha^{-1} (figura 2) se aprecia una mayor diferenciación de las localidades, que puede ser atribuido a lo contrastante de las mismas y, además esta es una variable sujeta a un mayor efecto ambiental como fue discutido anteriormente. Las variedades C87-252 y C138-77, interactúan positivamente en la localidad de B. Luis con medias altas, principalmente la C138-77, obteniendo resultados opuestos en la localidad de A. Lincoln, donde la variedad C87-253 es una de las más destacadas en este ambiente. La variedad C132-81 interactúa positivamente en la localidad de M. Fajardo, alcanzando el rendimiento más alto, no siendo así en Martí donde es la variedad Co997 la más asociada a esta localidad.

Las variedades más estables para este carácter fueron la C88-523, C86-56 y C86-12, siendo también las dos primeras variedades estables para el contenido de pol.

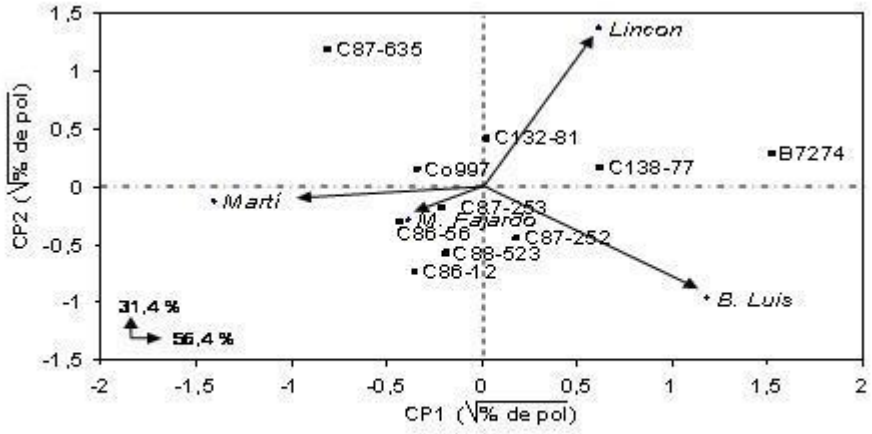


Figura 1. Gráfico de doble entrada de genotipos y ambientes para el porcentaje de pol en caña en el Occidente

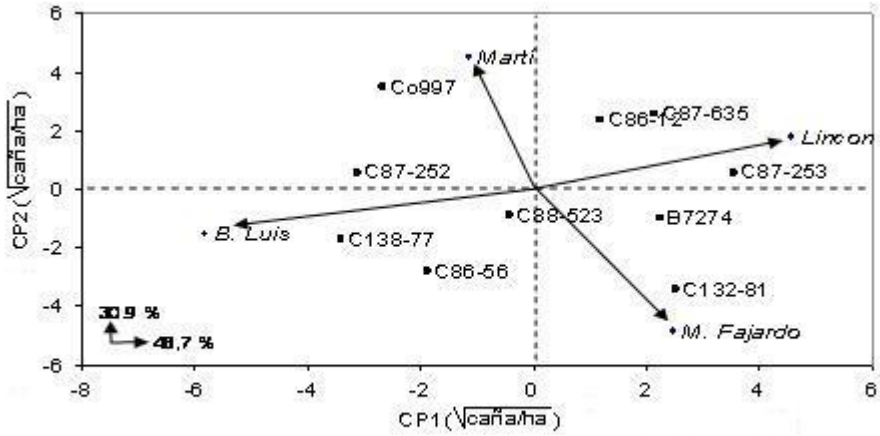


Figura 2. Gráfico de doble entrada de genotipos y ambientes para las t caña.ha^{-1} en el Occidente

Región central

En esta región de estudio para la variable % de pol en caña (figura 3), las variedades C90-501 y C88-380 interactúan positivamente en la localidad E. Gómez, con buenos resultados en el contenido de pol. Sin embargo en la localidad A. Sánchez la variedad C90-501 muestra el segundo más bajo rendimiento. En esta localidad la variedad C85-102 alcanza el valor más alto para esta variable. Las variedades C86-156, C89-147 y C86-56 se asociaron más a las localidades de E. Republicana 1 y E. Republicana 2, con un comportamiento similar, no siendo así en la localidad de J. Rabí en la que estas variedades interactúan negativamente. El análisis de este gráfico demuestra que las variedades más estables para la región fueron C86-12, Co997 y C86-156, obteniendo la dos primeras medias altas por encima del índice ambiental.

En el caso de la variable t caña.ha^{-1} (figura 4) las localidades de E. Republicana 1 y 2 se distanciaron en signos contrarios para la primera componente. La localidad E. Republicana 2 se asocia a E. Gómez y A. Sánchez, donde la variedad C1051-73 obtiene los rendimientos más bajos. En contraposición, las variedades C89-147 y C89-380 se encuentran más asociadas a la localidad de E. Republicana 1, con los más altos rendimientos. En este análisis las variedades más estables fueron: C86-56, C85-102 y C86-

156. Esta última es estable también para el contenido de pol. García (2004) obtuvo altos valores de estabilidad para el rendimiento cañero en esta misma región en las variedades C86-12 y C86-156.

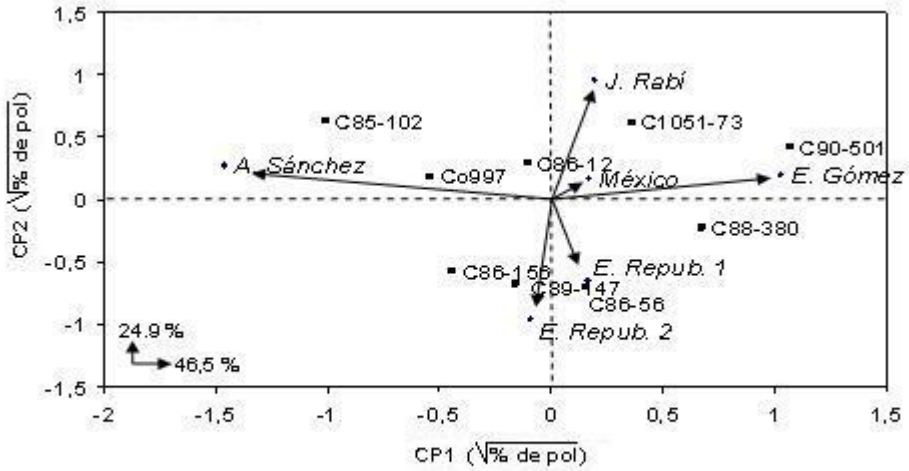


Figura 3. Gráfico de doble entrada de genotipos y ambientes para el porcentaje de pol en caña en la región Central

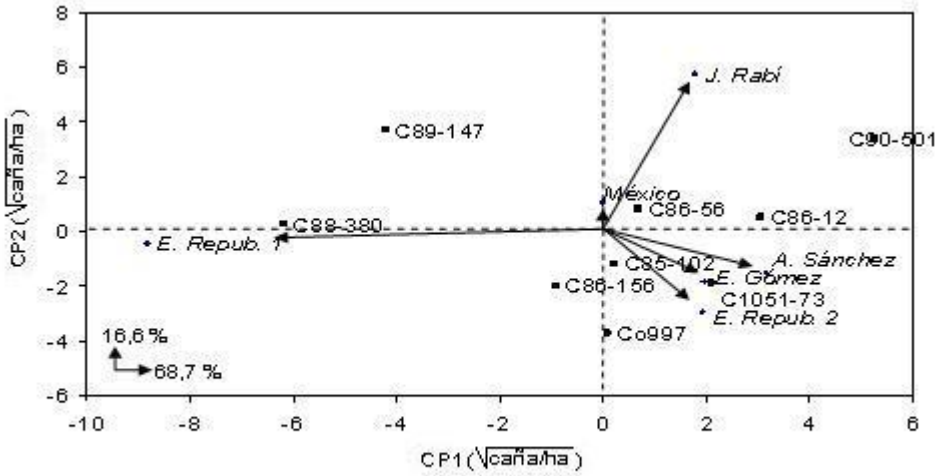


Figura 4. Gráfico de doble entrada de genotipos y ambientes para las t caña.ha^{-1} en la región Central

Región oriental

En esta región, para el análisis de la variable pol en caña (Figura 5) los genotipos resultaron pocos estables a través de los ambientes, y a la vez poco asociados a ambientes específicos. Las variedades que interactuaron más favorablemente a los ambientes C. Naranjo y M. Tames fueron C86-156 y C88-380, obteniendo altas medias, y oponiéndose en la primera componente a la localidad de E. Díaz en la que se obtuvieron los valores más bajo de pol en caña. Las variedades que resultaron ser más estables fueron: C86-12 y C86-56, aunque está última con medias bajas, no resultando así para el caso de la primera variedad.

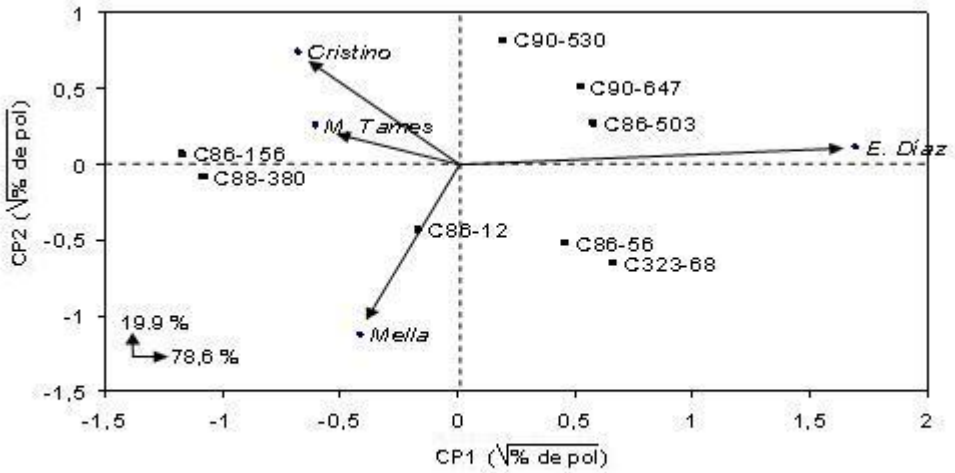


Figura 5. Gráfico de doble entrada de genotipos y ambientes para el porcentaje de pol en caña en la región Oriental

Con relación a la variable t caña.ha^{-1} (figura 6) se aprecia una mejor diferenciación de las localidades respecto a esta variable. Las variedades C88-380 y C86-156 interactuaron positivamente en la localidad de JA. Mella, obteniendo alta media, no siendo así para la localidad de C. Naranjo y M. Tames. En este último ambiente la variedad C86-503 se asoció positivamente a este, alcanzando el valor más alto de rendimiento, así como la variedad C86-56. La variedad más estable en todos ambientes fue la C86-12 y en menor medida la C90-530 y C86-56, aunque esta última con medias bajas. En las dos primeras variedades coinciden estos resultados con el contenido de pol en caña, discutido en la figura anterior.

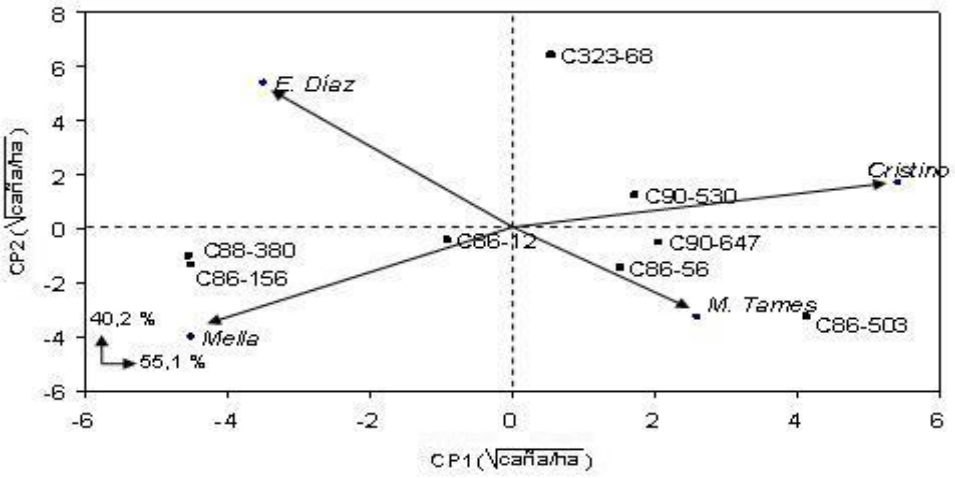


Figura 6. Gráfico de doble entrada de genotipos y ambientes para las t caña.ha^{-1} en la región Oriental

Región oriente sur

Al observar el gráfico de doble entrada (figura 7), en la variable de pol en caña, se observa una asociación entre las localidades JA. Mella y M. Tames, resultando las variedades C88-380 y C90-501 las que interactúan positivamente con las mismas, obteniendo medias altas. En contraposición a estas dos variedades se encuentran las variedades C90-647 y C86-531, asociadas a la localidad de P. Rosales. Las variedades más estables fueron: C92-325, C128-83, B7274 y C86-12.

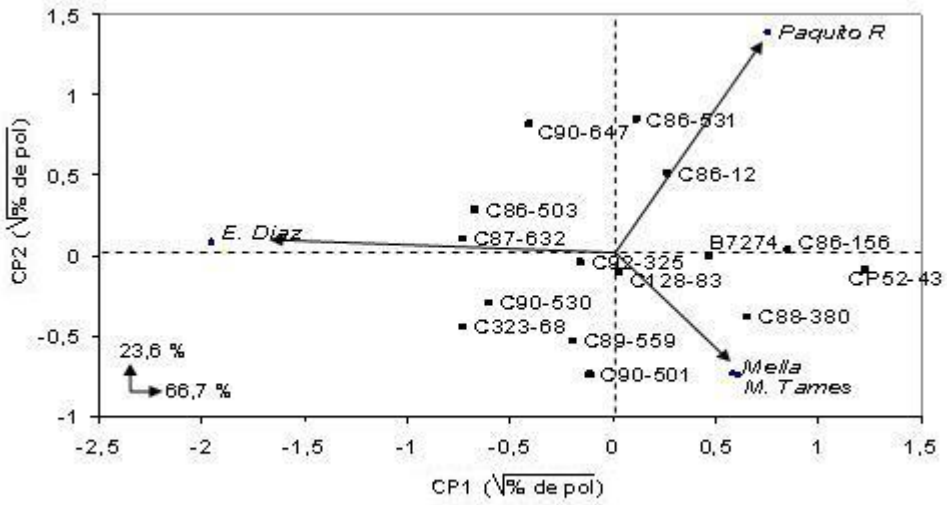


Figura 7. Gráfico de doble entrada de genotipos y ambientes para el porcentaje de pol en caña en Oriental sur

En el análisis de la variable t caña.ha^{-1}, se aprecia una diferenciación de las localidades en estudio, encontrándose la localidad de E. Díaz separada del resto de las localidades. Esta localidad está caracterizada por los valores más altos de rendimiento, y asociadas positivamente a esta, aparecen las variedades C90-530 y C323-68, con resultados similares. En contraposición se encuentra la localidad de M. Támes que alcanzó los valores más bajo de rendimiento agrícola, e interactuando positivamente en esta localidad la variedad C86-503 con el valor más alto de t caña.ha^{-1} dentro de esta localidad. En este análisis las variedades más estables resultaron: C86-156, C87-632, C86-12, C88-380 y C90-501.

En el caso de la variable t pol.ha^{-1} al estar influenciada principalmente por la variable t caña.ha^{-1}, presentó similar comportamiento a la misma en todas las regiones, por lo que no se consideró necesario incluirla en este análisis.

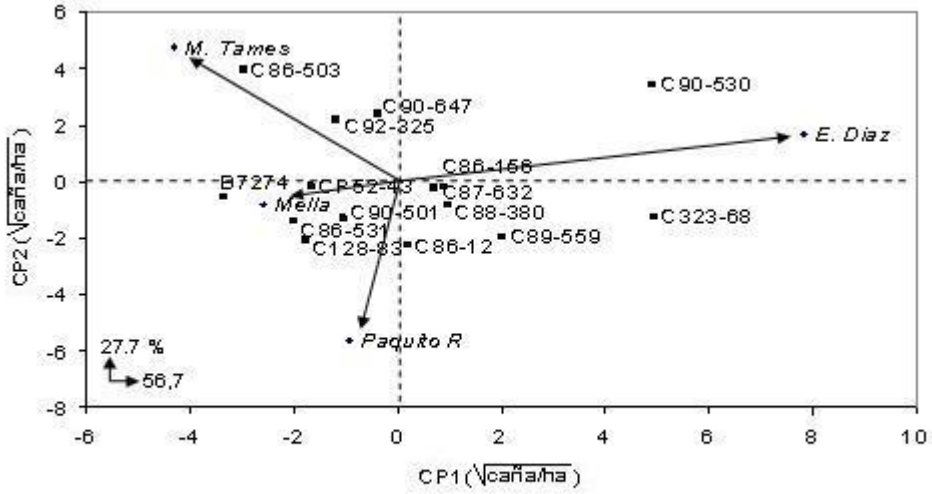


Figura 8. Gráfico de doble entrada de genotipos y ambientes para la variable t caña.ha^{-1} en Oriente sur

Conclusiones

1. En las cuatro regiones estudiadas se encontró predominio del efecto ambiental, alcanzando un valor superior en la región oriental y sur oriental. La varianza de la interacción genotipo-ambiente en todas las regiones estudiadas fue superior al de los genotipos.
2. Los modelos AMMI, al permitir una representación de doble entrada de genotipos y ambientes, permitieron estudiar el grado de estabilidad de los genotipos y explicar entre sus dos primeras componentes más del 70 % de la varianza contenida en la interacción GxA.
3. En las cuatro regiones de estudio se observó tanto para el % de pol en caña como para la t caña.ha^{-1}, una diferenciación de las localidades. Este comportamiento es más acentuado en las regiones occidental y oriental para la variable t caña.ha^{-1}.
4. Las variedades más estables para la región occidental en t caña.ha^{-1} fueron: C88-523, C86-56 y C86-12, resultando también las dos primeras variedades estables para el contenido de pol, además de C87-253, Co997 y C132-81.
5. Las variedades más estables para la región central en t caña.ha^{-1} fueron: C86-56, C85-102 y C86-156, siendo esta última también estable para el contenido de pol además de C86-12, Co997.
6. Las variedades más estables para la región oriental en % de pol en caña y t caña.ha^{-1} fueron la C86-12 y C90-530. Además la variedad C86-56, también tiene un comportamiento estable para la última variable.
7. Las variedades más estables para la región sur oriental en % de pol en caña fueron C92-325, C128-83, B7274 y C86-12 y, para la variable t caña.ha^{-1} las más estables resultaron C86-156, C87-632, C86-12, C88-380 y C90-501

Recomendaciones

1. Profundizar en el conocimiento las principales diferencias de las localidades respecto a otras variables fisiológicas e incluir las edafoclimáticas en los análisis multivariados.

Referencias Bibliográficas

1. Annicchiarico P. (1992), Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. J. Genet. & Breed. 46, 269-278.
2. Aucilino Mónica, F. Laos, M.J. Arturi, A. Suárez Orozco y C. Greco (2000), Análisis de la interacción genotipo-ambiente para rendimiento forrajero en cebadilla criolla. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. Vol. 15 (3).
3. Bernal N. L. (2007), Evaluación participativa de Variedades de Caña de Azúcar en condiciones de estrés por sequía. Pruebas de Fuego. Proyecto de Investigación. INICA. MINAZ.19p.
4. Castro, S. (1991), Evaluación de ambientes y genotipos de caña de azúcar en la provincia Holguín. Tesis en opción al grado de Dr en Ciencias Agrícolas. 94 pp. INICA.
5. CITMA (1996), Programas Nacionales Científico-Técnicos. Editorial CITMA.
6. Crossa J., Gauch H.G. Jr., Zobel R.W. (1990), Additive main effects and multiplicative interaction análisis of two international maize cultivar trials. Crop Sci. 30 (3), 493-500.
7. Cochran, W.G. y G.M. Cox. (1965), Diseños experimentales. 4ta re-impresión. México, D.F. Edit. F. Trillas. 661p.
8. Cruz, R. S. (1994), Evaluación de progenies de caña de azúcar (Saccharum spp) a partir de sus progenitores en etapas iniciales de selección en la provincia de Holguin. Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas.
9. Cruz, R. (2000), Obtención de variedades de caña de azúcar tolerantes a diferentes condiciones de estrés ambiental. Proyecto de investigación CITMA - INICA.

10. Espinosa, R. (1980), Influencia de las fechas de plantación y las edades al momento de la cosecha sobre el rendimiento y sus componentes en caña de azúcar (Saccharum sp). Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. INICA.
11. Gálvez, G. (1978), Estudio de la interacción g x e y métodos de estabilidad en experimentos de variedades de caña de azúcar (Saccharum spp híbrido). Tesis en opción al grado de Dr. en ciencias agrícolas. 76 pp. INCA
12. García, H. (2004), Optimización del proceso de selección de variedades de caña de azúcar tolerantes al estrés por sequía y mal drenaje en la región central de Cuba. Tesis presentada en opción al grado Científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA.
13. Gauch H.G. Jr., (1988), Model selection and validation for yield trials with interaction. Biometrics 44, 705-715.
14. Gauch H.G. Jr., Zobel R.W. (1988), Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. Theor. Appl. Genet. 76, 1-10.
15. González, A. (1995), Caracterización del efecto ambiental en estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar en la provincia Las Tunas. Tesis en opción al grado de Dr. en ciencias agrícolas. 120 pp. INICA.
16. Hernández, A. Pérez J.M; Bosch, D; Rivero, L. (1999), Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. AGRINFOR, 64 pp.
17. Delgado, I. (2008), Manejo sostenible de variedades de caña de azúcar en Cuba. Tesis presentada en opción al titulo académico de master en agricultura sostenible. UCLV 84 pp.
18. Jorge, H.; R. González, M. Casas e Ibis Jorge. (2002), Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. Boletín No. 1 Cuba&Caña. INICA. 308p.
19. Jorge, H e Ibis Jorge. (2003), Red experimental En: "Programa de Fitomejoramiento. Impacto en la producción azucarera cubana". Edición PUBLIINICA. Ciudad de La Habana. p8.
20. López, 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 en las provincias de Camagüey y Ciego de Ávila. Tesis en opción al grado de Dr. en ciencias agrícolas. 198 pp. INICA.
21. Ojeda, Eulalia. (1999), Informe sobre programa de mejoramiento específico de obtención de variedades para condiciones de estrés por mal drenaje. INICA-CITMA.
22. Mandel J., (1969), The partitioning of interaction in analysis of variance. Journal of Research of the Nacional Bureau of Standards, Series B: Mathematical Science 73, 309-328.
23. Mandel J., (1971) A new analysis of variance model for non-additive data. Technometrics 13, 1-18.
24. Rosales. U. T. (2004), Entrevista con Ulises Rosales del Toro, Ministro de la Industria Azucarera. Periódico Granma. La Habana. Cuba. 12 de enero.
25. Saindon G., Schaalje G.B. (1993), Evaluation of locations for testing dry bean cultivars in western Canada using statistical procedures, biological interpretation and multiple traits. Can. J. Plant Sci. 73, 985-994.
26. Varela M, Castillo, J. (2002), Modelos con término multiplicativo. Aplicación en el análisis de la interacción Genotipo Ambiente. Informática y Bioestadística.
27. Van Eeuwijk F.A., Elgersma A. (1993), Incorporating environmental information in an analysis of genotype by environment interaction for seed yield in perennial ryegrass. Heredity 70, 447-457.
28. Vega. A. (1993), Evaluación de algunos aspectos relacionados con la etapa intermedia de selección de la caña de azúcar en Cuba. Tesis en opción al grado de Dr. en Ciencias Agrícolas. 88 p
29. Villegas, R. y Ledia Benitez, Editores (2003). 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.

RESULTADOS DE LAS CORRELACIONES ENTRE VARIABLES AGRONÓMICAS USADAS EN LA SELECCIÓN E INDICADORES DEL CRECIMIENTOEN CAÑA DE AZUCAR.

Isabel Torres[1], Felix Valladares[1], Eduardo Ortega[2], Joaquín Montalvan[1], julio Vallina,Yoslen Fernandez[1], Julio Rodríguez[1], Magalys Padrón[1] Ivia Pousa[1], Carmen Díaz [1], Oscar Cervantes[1], Mario Roig[1], Carmen Cervantes[1], Jorge Hernández [1]

1-Estación provincial de investigaciones de la caña de azúcar de Camagüey.
2-Universidad de La Habana, Facultad de Biología, Laboratorio de Fisiología vegetal.
E-mail: itorres@epica.cm.minaz.cu

RESUMEN

Tomando como base experimental dos ensayos de campo ubicados en la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Camagüey (INICA–MINAZ), se realizó con muestreos periódicos el análisis del crecimiento en las variedades comerciales de caña de azúcar: C1051-73, My5514 y C86-12, para ello se calcularon once indicadores de desarrollo, Área Foliar, Velocidad de Producción de Biomasa, Tasa de Crecimiento del Cultivo, Razón de Área Foliar, Área Foliar Específica, Razón de Peso Foliar, Tasa de Asimilación Neta, Tasa de Crecimiento Relativo en Peso, Índice de Área Foliar, Duración del Área Foliar y Duración de la Biomasa, en edades que oscilaron según la fecha de plantación entre los 279 y los 480 días.El análisis multidimensional de la información, demostró a través de la matriz de correlación una fuerte influencia positiva sobre el rendimiento agrícola de los índices: Duración de la Biomasa (Z), Tasa de Asimilación Neta (NAR), Tasa de Crecimiento del Cultivo (CGR) y Duración del Área Foliar (LAD), sin embargo tanto la Razón de Area Foliar (LAR) como la Razón de Peso Foliar (LWR), tuvieron una relación negativa respecto del rendimiento agrícola y del porcentaje de pol en caña(PPC). En el análisis de componentes principales los dos primeros factores le confieren máxima importancia a estas dos últimas variables del rendimiento, así como a los indicadores de desarrollo que identifican la Duración del Área Foliar y la Biomasa, la Edad, las Tasas de Crecimiento, la Velocidad de Producción de Biomasa, la Razones de Peso y la Razón Área Foliar. Los resultados conclusivos demostraron que estos índices pueden emplearse como un recurso adicional en el proceso de selección de nuevas variedades de caña de azúcar, así como en la evaluación y obtención de nuevos genotipos de este cultivo.

Palabra Clave: Caña de azúcar, Selección de Variedades, Indicadores de crecimiento.

ABSTRACT

Taking like base experimental two field rehearsals located in the Provincial Station of Investigations of the Cane of Sugar of Camagüey (INICA-MINAZ), he/she was carried out with periodic samplings the analysis of the growth in the commercial varieties of cane of sugar: C1051-73, My5514 and C86-12, for they were calculated it eleven development indicators, leaf area, speed of production of biomass, crop growth rate, leaf area ratio, specific leaf area, leaf weight ratio, assimilation net ratio, relative growth in weight ratio, leaf area index, duration of the leaf area and duration of the Biomass, in ages that oscillated according to the plantation date between the 279 and the 480 days. The analysis multidimensional of the information, demonstrated through the correlation womb a strong positive influence on the agricultural yield of the

indexes: duration of the biomass (Z), assimilation net ration (NAR), crop growth rate (CGR) and leaf area duration(LAD), however so much the leaf area ratio (LAR), as the leaf weight ratio (LWR), they had a negative relationship regarding the agricultural yield and of the pol percentage in caña(PPC). In the analysis of main components the first two factors confer him maximum importance to these last two variables of the yield, as well as to the development indicators that identify the leaf area duration and the biomass, the age, the grogrowth rate, the speed of biomass production, the leaf weight ratio and leaf area ratio. The conclusive results demonstrated that these indexes can be used as an additional resource in the process of selection of new varieties of cane of sugar, as well as in the evaluation and obtaining of new genotipos of this cultivation.

Key words: Cane of sugar, Selection of Varieties, Indicators of growth.

INTRODUCCIÓN

Con la creación del Instituto Nacional de Investigaciones de la caña de azúcar en 1964, se integran los trabajos de mejoramiento genético de variedades que se realizaban por otras instituciones teniendo como objetivo principal la obtención, selección y recomendación de variedades de caña de azúcar (Saccharum híbrido), en reemplazo de otras que durante su período de explotación comercial han sufrido no solo una gradual depresión de sus rendimientos, sino también el deterioro de sus capacidades de reacción frente a las principales enfermedades, lo que constituye uno de los pilares donde se sustenta la permanencia actual y futura de la industria azucarera cubana (Jorge et al., 2003).

En el proceso de obtención de variedades de caña de azúcar que desarrolla el país es necesario que los genetistas cuenten con la mayor información posible sobre las causas que le confieren productividad o resistencia a una variedad, lo que define su posible incorporación al nivel comercial de explotación.

Todo trabajo de selección e investigaciones de la productividad de variedades se ha concentrado tradicionalmente y casi de forma exclusiva, en los indicadores de cosecha es decir: ton/caña, % de pol en caña y ton/pol/ha. Sin embargo, la productividad de una planta está dada por el balance entre la síntesis (fotosíntesis) y la degradación (respiración), (Armas de et al., 1988; Ortega et al., 1989; Vázquez y Torres 1995).

En este proceso intervienen muchos factores, tanto internos como externos, es así que el análisis del crecimiento se ha establecido como un método estándar para establecer la producción fotosintética neta de plantas y de comunidades de plantas en muchas partes del mundo, el análisis del crecimiento representa la primera etapa en el análisis de la producción primaria.

MATERIALES Y METODOS

Características de la localidad experimental

El trabajo se realizó en la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Camagüey, situada en el municipio Florida, sobre un suelo Pardo con carbonato, según segunda clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández et al, 1975), en las coordenadas, 21º.31' de Latitud Norte y los 78º.14' de Longitud Oeste, situada a los 57,08 m de altura sobre el nivel medio del mar (Instituto de Meteorología, 1987).

El comportamiento de las precipitaciones registradas durante todo el ciclo experimental, quedaron condensadas en la figura 1, elaborada con los datos correspondientes al período comprendido desde el 15 de junio de 2003 hasta el 25 de febrero de 2005, registrados en la Estación Agrometeorológica # 350, ubicada en áreas de la EPICA.

Diseño.

El experimento cuenta con dos estudios (primavera sembrada en junio 2003 y frío en octubre de 2003), cada estudio cuenta con 24 parcelas experimentales las que ocupan un área de 36 m^2 (3 surcos de 7.5 m de largo y

1.60 m entre surcos). En las plantas de las tres variedades se realizan evaluaciones a 8 edades: 279, 300, 341, 367, 394, 421, 456 y 480 días después de plantadas. Las 8 edades se tomaron como 8 tratamientos para los análisis.

Determinación de Indicadores del crecimiento.

Mensualmente se hicieron evaluaciones fisiológicas del estado de desarrollo del cultivo en las plantas de cada una de las fechas de siembra: primavera y frío. Los muestreos en el experimento de primavera comenzaron a partir del mes de marzo de 2004 a los 279 días de edad y hasta octubre de 2004 con 480 días después de la plantación. El segundo de los experimentos, plantado en época de frío, se comenzó a evaluar en octubre de 2004 con 279 días de edad y hasta el mes de febrero de 2005 con 480 días. Para llevar a cabo el estudio de cada parcela se tomaron 3 muestras al azar, cada una constituida por dos individuos. Se consideran individuos en este estudio el tallo, cortado a nivel del suelo, con el respectivo cogollo.

Se consideraron hojas activas aquellas que tenían más del 50% vivo. El cogollo se tomó como la masa viva a la cual se le habían eliminado las hojas, cortado a nivel de la hoja +2 según la nomenclatura de Kjuiper (citado por Dillewijn, 1975). El tallo es toda la masa viva entre el nudo de la hoja +2 y el corte a nivel del suelo. Se determinó la masa seca de las láminas y vainas de las hojas activas, de los cogollos y los tallos. Todas las partes del vegetal se pesaron por separado en balanza técnica para determinar la masa fresca y se fraccionaron; después fueron expuestos al sol dentro de una casa de cristal, la cual se alcanzaron unos diez grados por encima de la temperatura ambiente. Después que perdieron gran parte de la humedad, se secaron en la estufa a 105 ^{0}C hasta peso constante; se determinó la masa seca de todas las partes de las plantas. Sumando las biomasas (masas secas) se determino la biomasa o peso total por individuo.

En la determinación de todos los indicadores de desarrollo, incluyendo el área foliar se emplearon los resultados del promedio de los 6 individuos por variedad.

El análisis de crecimiento se realizó según Kvet et al., (1979) calculándose de la forma siguiente.

Determinación del Área foliar: (A)

Para conocer el área foliar total por individuo a cada una de las láminas activas se midió el largo y el ancho de las láminas. El área de cada lámina se calculó multiplicando el largo por el ancho y por el factor 0.7 (Lerch at al., (1977). La suma de todos los valores representa el área foliar de cada individuo expresada en dm^2.

A = ANLB x LGLB x 0, 70

- ANLB = Ancho del limbo, tomado en la porción más ancha de la lámina, expresado en cm, con una precisión hasta 1 mm.
- LGLB = Largo del limbo, medido desde el ápice hasta la inserción de la vaina expresado en cm, con una precisión hasta 1 mm.

Determinación de la Velocidad de Producción de Biomasa: (G)

Se calculó como la relación entre las diferencias del peso seco total de un individuo promedio y el tiempo que media entre dos muestreos.

$G = W_2 – W_1 / t_2 – t_1$ (g. día^{-1})

- W_1 = Masa seca total de la planta en el tiempo 1. (g)
- W_2 = Masa seca total de la planta en el tiempo 2. (g).
- $t_2 – t_1$ = Intervalo de tiempo transcurrido entre las dos evaluaciones (días)

Determinación de la Tasa de Crecimiento del Cultivo: (CGR)

La diferencia de la masa seca total de un individuo promedio entre dos muestreos consecutivos, se divide por el producto del área del terreno y el tiempo que media entre los muestreos.

$CGR = W_2 – W_1 / At\ (t_2 – t_1)$ (g. m^{-2} . día^{-1}).

- W_1 = Masa seca total de la planta en el tiempo 1. (g).
- W_2 = Masa seca total de la planta en el tiempo 2. (g).
- $t_2 – t_1$ = Intervalo de tiempo transcurrido durante los muestreos (días).
- At = Área del terreno (m^2).

Determinación de la Razón de Área Foliar: (LAR)

Relación entre el área foliar y el peso seco total de un individuo promedio.

LAR = A / W ($cm^2.g_{planta}^{-1}$).

- A = Área foliar de las hojas con más del 50% de las lámina foliar activa (cm^2).
- W = Masa seca total de la planta.(g)

Determinación del Área Foliar Específica: (SLA)

Relación entre el área foliar y la masa seca de las láminas.

SLA = A / Wh ($cm^2.g_{hoja}^{-1}$).

- A = Área foliar de las láminas de un individuo promedio, con más del 50% activa (cm^2).
- Wh = Masa seca de las láminas de un individuo (g).

Determinación de la Razón de Peso Foliar: (LWR)

Relación entre la masa seca de las láminas y la masa seca total de un individuo promedio.

LWR = Wh / W ($g_{hoja}.g_{planta}^{-1}$)

- Wh =Masa seca total de las láminas de un individuo promedio (g hojas).
- W = Masa seca total de un individuo (g plantas).

Determinación de la Tasa de Asimilación Neta: (NAR)

El doble de la diferencia de la masa seca total de un individuo promedio se dividió entre el producto de la suma de las áreas foliares por la diferencia del tiempo que media entre un muestreo y otro.

NAR = 2 x (W2- W1) / (A1 + A2) ($t_2 - t_1$) (mg planta.cm^{-2}.$día^{-1}$).

- W_1 = Masa seca total de un individuo promedio en el tiempo 1 (mg).
- W_2 = Masa seca total de un individuo promedio en el tiempo 2 (mg)
- A_1 = Área foliar con más del 50% de la lámina activa en el tiempo 1 (cm^2).
- A_2 = Área foliar con más del 50% de la lámina activa en el tiempo 2 (cm^2)
- $t_2 - t_1$ = Intervalo de tiempo transcurrido durante la evaluación (días).

Determinación de la Tasa de Crecimiento Relativo en Peso:(RGR)

Se calculó multiplicando la tasa de asimilación neta por la razón de área foliar.

RGR = NAR x LAR (mg. g^{-1} .$día^{-1}$).

- NAR = Tasa de asimilación neta (mg / g).
- LAR = Razón de área foliar (día).

Determinación del Índice de Área Foliar: (LAI)

Se calculó dividiendo el área foliar expresada m^2 entre el área del terreno.

LAI = A / At (m^2 .m^{-2}).

- A = Área foliar de las hojas con más del 50% de la lámina foliar activa (m^2).
- At = Area del terreno (m^2).

Determinación de la Duración del Área Foliar: (LAD)

Se calculó dividiendo la suma del área foliar entre el doble de la diferencia del tiempo que media entre un muestreo y e otro.

LAD = $A_2 + A_1 / 2$ x ($t_2 - t_1$) (cm^2.$día^{-1}$)

- A_1 = Área foliar de las láminas con más del 50% activa en el tiempo 1. (cm^2).
- A_2 = Área foliar de las láminas con más del 50% activa en el tiempo 2. (cm^2).
- $t_2 - t_1$ = Intervalo de tiempo transcurrido entre los muestreos consecutivos (días).

Determinación de la Duración de la Biomasa: (Z)

Se calculó como el producto de la semisuma del peso seco total de un individuo promedio por la diferencia del tiempo que media entre un muestreo y otro.

Z = ($W_2 + W_1 / 2$) x ($t_2 - t_1$) (g . día)

- W_1 = Masa seca total de un individuo promedio en el tiempo 1 (g).
- W_2 = Masa seca total de un individuo promedio en el tiempo 2 (g).
- $t_2 - t_1$ = Intervalo de tiempo transcurrido entre los muestreos consecutivos (días).

Determinación de los Componentes del Rendimiento Agroindustrial.

- t/ha de caña y % de pol en caña, según Normas y Procedimientos de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba (2002).

Análisis Estadísticos.

La información primaria fue comparada desde el punto de vista biométrico en cuanto al cumplimiento de los supuestos exigidos por el análisis de varianza (normalidad y homogeneidad de varianzas), y no se precisó de transformación alguna.

El procesamiento de los datos se efectuó utilizando el análisis de varianza según arreglo factorial, con tres repeticiones, para cada uno de los indicadores de desarrollo estudiados. Las medias se compararon por la prueba de rango múltiple de Duncan a través del programa automatizado SPSS/PC (2002).

Análisis de Componentes Principales.

Utilizamos esta técnica descriptiva para poder establecer posibles relaciones entre indicadores de desarrollo y de estos con algunos índices agronómicos tales como las toneladas de caña por hectárea y el porcentaje de pol en caña, variables éstas estrechamente relacionadas con el potencial agroazucarero de los cultivares en general; para esto se procesó de forma independiente la información generada por cada una de las variedades en estudio, mediante el paquete estadístico SYSTAT VERSIÓN 5.0, 1990-1992.

Matriz de Correlación. Análisis de Componentes Principales.

Resultados de las correlaciones entre variables agronómicas usadas en la selección e indicadores del crecimiento.

En la **Figura 1 A** se muestran los coeficientes de correlación lineal obtenidos para la variedad C1051-73 que resultaron significativos en la comparación de las toneladas de caña por hectárea (TCH) y los once indicadores de desarrollo considerados en este trabajo a las edades de los muestreos. Seis de estas variables presentaron una correlación directa en relación al rendimiento agrícola. Analizados de manera particular tenemos por ejemplo que la edad de la caña al momento del corte es considerado el factor más importante, determinando más que otros, el rendimiento y la producción agroindustrial de una plantación (MINAGRI, 1977), es decir que existe una correlación positiva entre la edad de caña y sus rendimientos hasta aproximadamente los 20 meses, lo que avala la dependencia estadística encontrada. Algunos indicadores interrelacionados entre sí, como el Índice de Área Foliar (LAI) y la Duración del Área Foliar (LAD), bajo determinados niveles óptimos según el cultivo, definen la productividad de un vegetal. En Cuba resultados obtenidos en caña muestran que el LAI aumenta con la edad (Ortega et al., 1989), lo que se corresponde con la probada relación directa que existe entre edad y rendimiento agrícola. Nuestros resultados arrojan que esta variedad muestra un ascenso constante de LAI entre los 300 y hasta los 367 días para terminar con oscilaciones constantes. Su efecto acumulativo en el período de ascenso parece justificar su correlación positiva. Por su parte la tasa de crecimiento del cultivo (CGR) se reconoce por algunos autores, como un índice de productividad agrícola (Hunt, 1990), por lo que es razonable la fuerte dependencia entre este indicador y las toneladas de caña por hectárea.

La Tasa de Asimilación Neta (NAR), registra un alto coeficiente de correlación en relación a las toneladas de caña por hectárea. Este indicador expresa el incremento neto en peso de una planta, ya que resulta de procesos contrapuestos como son la fotosíntesis y la respiración (Ortega et al., 1989).

En otros resultados condensados en esta tesis, la variedad C 1051-73 muestra ascensos continuos de NAR desde los 300 y hasta los 394 días de plantadas, y aunque declina ligeramente a los 421 días, asciende nuevamente a los 456 y 480. En sentido general este movimiento pudiera relacionarse con alguna fase de crecimiento activo de la plantación, donde se alcanzan buenas tasas de elongación (datos no mostrados) y de producción de materia fresca y seca en los tallos.

El elevado valor del coeficiente de correlación obtenido al relacionar de forma biométrica las variables Z y TCH, corrobora resultados anteriores que identifican la productividad agrícola con la variable biomasa tallo por m^2 de terreno (Ortega et al., 1989).

En el análisis dos de estos indicadores, LAR Y LWR, mostraron coeficientes significativos a un nivel de probabilidad de 0.05, aunque negativos. El primero resulta del coeficiente entre el Área Foliar y el peso total

de la planta, de lo que puede inferirse una disminución con la edad, aspecto este que se corrobora experimentalmente (Mac Coll, 1977; Collazo, 1985 y Ortega et al., 1989). Esta tendencia descendente, justifica el sentido negativo del coeficiente que resulta al correlacionar LAR y CTH. LWR es un indicador que registra altos valores durante el desarrollo foliar, pero declina cuando una proporción considerable de la materia seca se acumula, de aquí el carácter negativo del coeficiente.

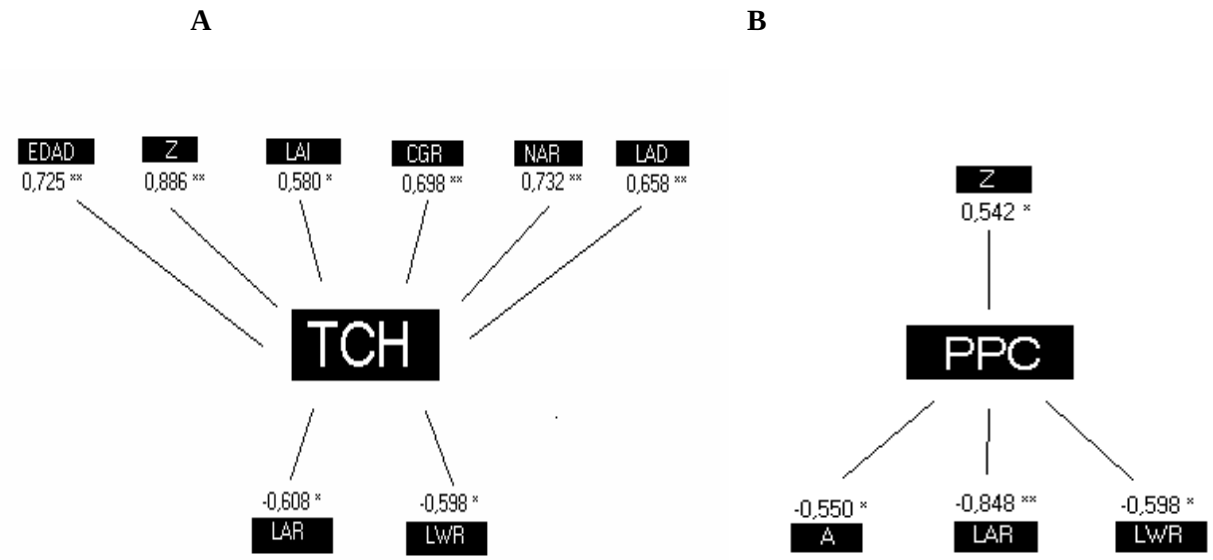


Fig. 1 Coeficientes de correlación lineal obtenidos en la variedad C1051-73 que resultaron significativos en la comparación de las toneladas de caña por hectárea (TCH) y el porcentaje de pol en caña (PPC). **: Significativo al 0.01 %. *: Significativo al 0.05%.

Las correlaciones entre los indicadores de desarrollo y el porcentaje de pol en caña (**Fig**.**1B**) muestran la influencia negativa del Área Foliar (A), Razón de Área Foliar (LAR) y la Razón de Peso Foliar (LWR) sobre este parámetro industrial. El crecimiento y la maduración dependen de la capacidad fotosintética, y es bien conocido que mientras el ritmo de crecimiento de los tallos establece el volumen total de tejidos disponibles para el almacenamiento, la tasa de acumulación definirá la magnitud de llenado de los mismos. Estos procesos no ocurren de modo separado, sino de forma simultánea, aunque con una predominancia temporal de uno sobre el otro, según numerosos factores (Rufino et al., 2001). El proceso de maduración es progresivo y continuo, se inicia temprano y evoluciona hasta la cosecha. Con la edad cambia la superficie total de las hojas tanto al ambiente como a la fase fenológica del cultivo. De modo general podemos admitir que el Área Foliar disminuye en la medida que la caña madura, y cumple así su ciclo vegetativo, aunque en este y otros casos se ha comprobado un movimiento caracterizado por pronunciados descensos o reducciones del Área Foliar en la medida que se incremento la edad, que son seguidos por incrementos transitorios, para volver a caer y así sucesivamente. Estos movimientos, al parecer muy característicos de un grupo de variedades comerciales estudiadas (Lerch, 1977), indudablemente deben influir en relación inversa obtenida al correlacionar estos tres indicadores con el porcentaje de pol en caña.
Finalmente constatamos que la única variable con influencia positiva sobre el porcentaje de pol en caña fue la Duración de la Biomasa (Z).

En la **Tabla 1** se muestran los valores propios y de variación acumulada, que muestra la variedad C1051-73, así como la contribución particular de estas variables a cada una de las cuatro primeras componentes que extrajeron el 87.1% de la variación total.
En la primera componente se destacan principalmente las variables: Duración de la Biomasa (Z), toneladas de caña por hectárea (TCH), Tasa de Asimilación Neta (NAR), Tasa de Crecimiento del Cultivo(CGR), Razón de Área Foliar (LAR), edad, Velocidad de Producción de Biomasa (G) y Razón de Peso Foliar (LWR). Esta componente la pudiéramos definir como una medida de los incrementos en peso de la planta, en función del tiempo, del área del terreno y de indicadores que relacionan el Área Foliar, y explica el 42.5% de la variación, lo que resulta muy interesante si tenemos en cuenta que el resto de los factores explican un 44.58% de la variación total acumulada.

Tabla 1. Valores, vectores propios y contribución a la variación total de las 4 primeras componentes correspondientes a la variedad C1051-73.

Variables	**Componentes**			
	1	**2**	**3**	**4**
Valores propios	6.38289	3.60543	2.03681	1.04523
% explicado	42.553	24.036	13.579	6.968
% acumulado	42.553	66.589	80.168	87.136
CGR	0.340256	0.0320453	-0.199975	-0.129849
G	0.286525	-0.0295131	-0.393636	-0.16265
LAR	-0.314392	0.303669	-0.072952	-0.06819
SLA	-0.0166023	0.239252	0.51963	-0.260199
LWR	-0.27369	0.17758	-0.393727	0.0591063
NAR	0.347051	-0.0334768	-0.179665	0.150549
RGR	0.0717435	0.205161	-0.435385	-0.484771
A. FOLIAR	0.0348545	0.502406	0.0652866	0.498728
LAI	0.113748	0.471891	0.134393	-0.00914635
LAD	0.231033	0.33906	0.12875	-0.0187447
Z	0.366831	-0.00780297	0.112825	0.0977776
EDAD	0.31349	-0.0442121	0.0175096	-0.370674
CICLO	0.171046	0.192592	-0.198788	0.682001
PPC	0.210749	-0.352729	0.207857	-0.00599022
TCH	0.358428	0.142547	0.134926	0.091463

La segunda componente muestra la importancia de cuatro indicadores de desarrollo y del porcentaje de pol en caña. Estos indicadores se relacionan exclusivamente con el Area Foliar, lo que en alguna medida este factor expresa el tamaño y la duración del aparato asimilador de esta variedad. La significación de esta componente es clara y relaciona estas variables del follaje con un indicador industrial.
Los indicadores Área Foliar Específica (SLA), Tasa de Crecimiento Relativo en Peso (RGR), y el Ciclo de Plantación resultaron importantes sólo a partir de la tercera y cuarta componentes, destacándose la contribución individual de esta última variable como un importante aporte para la cuarta componente.

A **B**

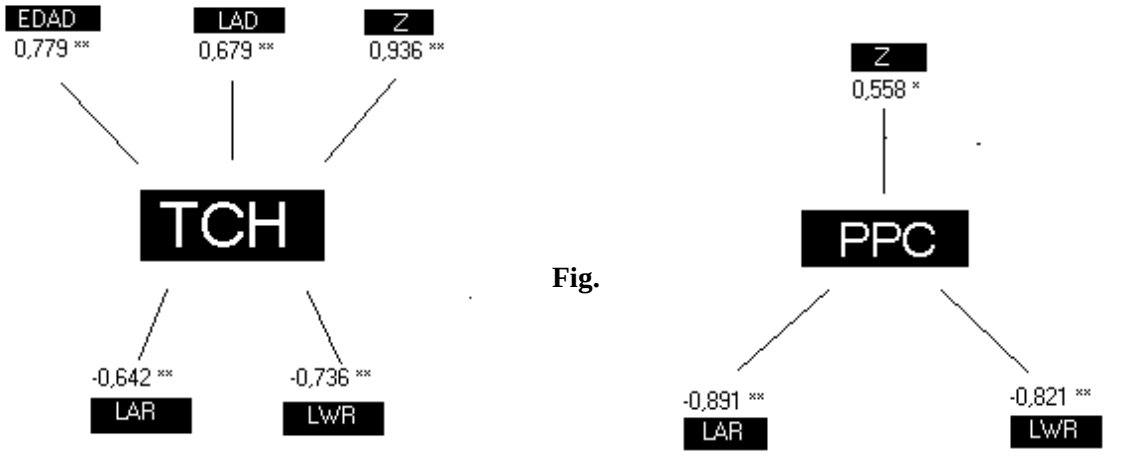


Fig. 2.

Coeficientes de correlación lineal obtenidos en la variedad My5514 que resultaron significativos en la comparación de las toneladas de caña por hectárea (TCH) y el porcentaje de pol en caña (PPC). **: Significativo al 0.01 %. *: Significativo al 0.05%.
Indicadores como el Índice de Área Foliar, Tasa de Crecimiento del Cultivo y la Tasa de asimilación Neta, importantes por su acción directa y significativa sobre el rendimiento agrícola de esta última variedad, no mostraron influencia medible desde el punto de vista biométrico en el caso del cultivar My5514.
La correlación directa encontrada entre el porcentaje de pol y las toneladas de caña, no indica necesariamente una dependencia real entre estas variables. Los indicadores Razón de Área Foliar y Razón de Peso Foliar de acentuada correlación negativa respecto las toneladas de caña, corroboraron la influencia mostrada en el análisis de la variedad C1051-73, por la tendencia descendente que presentan estos indicadores según se gana en edad.
En la matriz de correlación correspondiente a la variedad My55-14 (**Fig. 2A**) se consideraron 11 indicadores de desarrollo y una variable de manejo como la edad, las que fueron correlacionadas con las toneladas de caña por hectárea y el porcentaje de pol en caña. Aquí se observa que la edad, la Duración de la Biomasa, como en la variedad C1051-73 tuvieron una influencia significativa y positiva sobre las ton. de caña.
El análisis de correlación simple entre porcentaje de pol en caña e indicadores de desarrollo, muestra resultados semejantes a los obtenidos para la variedad C1051-73. En el caso que nos ocupa, indicadores como: Razón de Área Foliar y Razón de Peso Foliar, muestran una fuerte correlación negativa respecto a este parámetro industrial (**Fig. 2 B**). La Duración de la Biomasa, como en la variedad anterior, mostró una influencia positiva y significativa en relación al porcentaje de pol.

En la **Tabla 2**, se muestran los valores y vectores propios de cada uno de los factores para la variedad My5514, el porcentaje de la variación total y acumulada hasta la cuarta componente, las que extraen en total el 86.8 % de toda la variación.

Tabla 2. Valores, vectores propios y contribución a la variación total de las 4 primeras componentes correspondientes a la variedad My5514.

Variables	**Componentes**			
	1	**2**	**3**	**4**
Valores propios	5.64682	4.07769	2.06394	1.23951
% explicado	37.645	27.185	13.760	8.263
% acumulado	37.645	64.830	78.590	86.853
CGR	0.263332	-0.0900052	0.376328	-0.0973636
G	0.254403	-0.15028	0.463048	0.0216994
LAR	-0.31457	0.278693	0.160707	0.120498
SLA	0.0198121	0.411068	0.00949595	0.0880617
LWR	-0.346379	0.151931	0.207689	0.0934364
NAR	0.146764	-0.281395	0.447958	0.137718
RGR	-0.0655584	-0.301483	0.310511	-0.372248
A. FOLIAR	0.149446	0.411529	0.218561	-0.150572
LAI	0.163509	0.416811	0.133497	-0.132607
LAD	0.275809	0.305464	0.142177	-0.164747
Z	0.389346	0.0396075	-0.172618	0.103336
EDAD	0.32891	0.102831	-0.196138	-0.125612
CICLO	0.127991	-0.0400199	0.0958436	0.815823
PPC	0.245999	-0.274581	-0.327831	-0.131705
TCH	0.398702	0.0630523	-0.0842472	0.157297

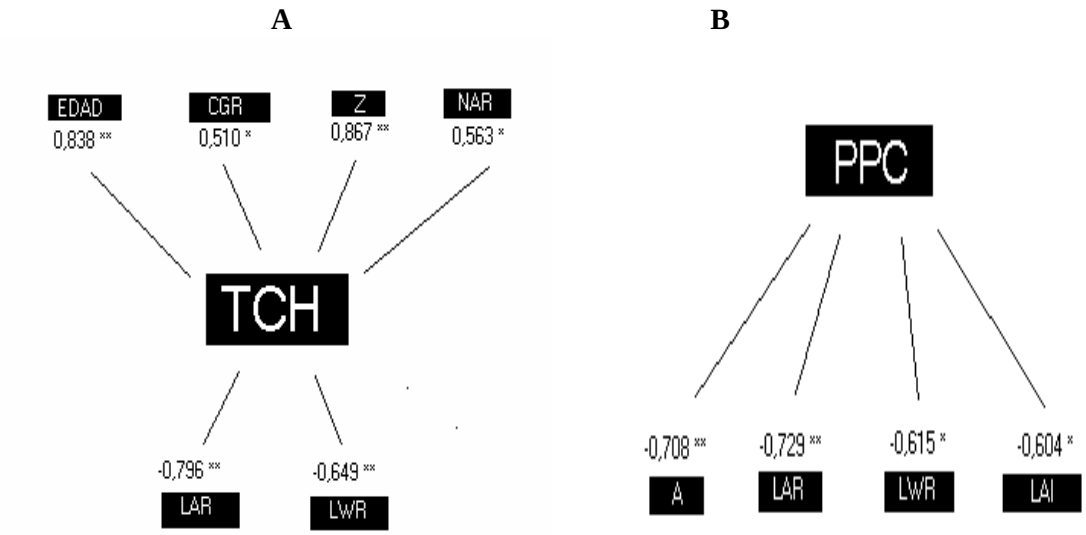


Fig. 3 Coeficientes de correlación lineal obtenidos en la variedad C86-12 que resultaron significativos en la comparación de las toneladas de caña por hectárea (TCH) y el porcentaje de pol en caña (PPC). **: Significativo al 0.01 %. *: Significativo al 0.05%.

En este mismo cultivar la primera componente, la que expresa el 37.6 % de la variabilidad total, resultan importantes por este orden de las variables: TCH, Z, LWR, Edad de la Plantación, LAR, LAD, CGR, G y PPC, en ella se relacionan las variables de rendimiento agrícola y azucarero con otras que identifican la duración del Área Foliar y de la Biomasa , edad , Tasa de Crecimiento así como la Velocidad de Producción de Biomasa; por su parte las variables LWR y LAR relacionadas entre si, presentan cierta oposición respecto de las demás.

La segunda componente identifica ocho variables como las de mayor contribución a este factor, sobresaliendo el Índice de Área Foliar, el Área Foliar, el Área Foliar Específica, Duración del Área Foliar y Razón del Área Foliar, variables todas muy interrelacionadas entre sí. Por su parte RGR, NAR, y el porcentaje de pol en caña presentan también una contribución relativamente importante en relación a esta componente, interactuando positivamente.

En la tercera y cuarta componentes resultaron importantes siete variables, destacándose el Ciclo de Plantación, Velocidad de Producción de Biomasa, Tasa de Asimilación Neta, Tasa de Crecimiento del Cultivo, Tasa de Asimilación Neta, Tasa de Crecimiento Relativo en Peso, Por ciento de Pol en Caña y Área Foliar. El tercer factor relaciona fundamentalmente indicadores de crecimiento y asimilación y el cuarto da el mayor peso al ciclo de plantación.

La comparación con la My5514 muestra diferencias mucho más marcadas, cuando apenas Z y la edad concuerdan en cuanto a su influencia positiva sobre las toneladas de caña.

Resulta particularmente interesante la acción negativa de los indicadores: Razón de Área Foliar y Razón de Peso Foliar, que coincidentemente influye del mismo modo en el rendimiento agrícola en una de las tres variedades estudiadas.

Variables como el Área Foliar Específica (SLA), el Índice de Área (LAI) resultan importantes a partir de la tercera componente. Indicadores como el Área Foliar Específica por su contribución individual resultan muy importantes para los factores tres y cuatro respectivamente.

Tabla 3. Valores, vectores propios y contribución a la variación total de las 4 primeras componentes correspondientes a la variedad C86-12.

Variables	**Componentes**			
	1	**2**	**3**	**4**
Valores propios	5.50559	3.1299	2.17562	1.77395
% explicado	36.704	20.866	14.504	11.826
% acumulado	36.704	57.570	72.074	83.900
CGR	0.28415	0.362178	-0.117893	0.0127572
G	0.211502	0.441908	-0.144023	-0.062523
LAR	-0.392946	0.130378	0.149809	0.0599256
SLA	0.0679205	-0.169256	0.0318721	0.592496
LWR	-0.315459	0.305319	-0.00418626	-0.18007
NAR	0.282235	0.126762	-0.247929	-0.275956
RGR	0.0796725	0.465074	-0.291607	-0.00250566
A. FOLIAR	-0.0291465	0.312533	0.533142	0.093561
LAI	-0.0284903	0.0549533	-0.366042	0.484891
LAD	0.247006	0.223055	0.290829	0.2742
Z	0.388217	-0.0938358	0.1941	0.0496913
EDAD	0.345554	-0.0719899	0.26124	0.0203389
CICLO	0.0474983	-0.244653	0.0503768	-0.429262
PPC	0.22301	-0.274079	-0.393164	0.0635379
TCH	0.381056	-0.0538966	0.171851	-0.149857

CONCLUSIONES

1. La matriz de correlación mostró una relación significativa y directa, principalmente de los índices: Duración de la Biomasa (Z), Tasa de Asimilación Neta, (NAR), Tasa de Crecimiento del Cultivo, (CGR) y la Duración del Área Foliar(LAD) sobre el rendimiento agrícola en los cultivares analizados, así como la influencia negativa de la Razón de Área Foliar y de la Razón de Peso Foliar (LWR), este último efecto se manifiesta también en relación al porcentaje de pol en caña en todas

las variedades en estudio, y solo la Duración de la Biomasa mostró una influencia significativa respecto a este indicador industrial.

2. En el análisis de componentes principales los dos primeros factores le confieren la mayor importancia a las variables del rendimiento agrícola y azucarero, así como a los índices de desarrollo que identifican la Duración del Área Foliar y la Duración Biomasa, la edad, las Tasas de Crecimiento, la Velocidad de Producción de Biomasa y las Razones de Peso y Área Foliar.

RECOMENDACIONES

1. Profundizar en el estudio de la evolución de estos índices de desarrollo en un mayor número de variedades de caña de azúcar, para tener un perfil más amplio de su utilidad.
2. Evaluar mediante técnicas estadísticas, la influencia de otras variables climáticas en la evolución y desarrollo de estos índices. Un conocimiento en tal sentido permitiría un mejor aprovechamiento de elementos naturales tan importantes como el agua y la luz, estimulando con ello la expresión del potencial agrícola y azucarero de los cultivares.
3. Proponer a la industria azucarera cubana utilizar estos resultados para la diversificación de la caña de azúcar, en particular la producción de alcohol y el uso de la caña en la alimentación animal.

BIBLIOGRAFIA

Alexander, A. G.(1973): Sugarcane Physiology. A Comprehensive study of the Saccharum Sourse - to Sink System. Elsevier Scientific Publishing Company pp.752. Chaper 11. Maturation and Natural Repining: 397 – 439.

Armas de, R.; Ortega, E.; Rodés, R.(1988): Fisiología Vegetal. Editorial Pueblo y educación. La Habana. 323 pp.

Armas de, R.; Ortega, E.; Rodés, Rosa, Gálvez, G. (1999): La fisiología vegetal y su contribución al mejoramiento genético de la caña de azúcar. En: Biodiversidad y biotecnología de la caña de azúcar (1999), editores Ariel D. Arencibia y María T. Cornide Elfos Scientiae, La Habana, pp.63-77.

Collazo, M.(1985): Dinámica del crecimiento y desarrollo de dos variedades de caña de azúcar y su relación con la nutrición potasica y algunos factores climáticos. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias biológicas, Universidad de la Habana, Cuba 124. pp.

Jorge, H.; González, R.; Casas M.A.; Jorge, I. Eds. (2002): Normas y Procedimientos del Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar. Ciudad de La Habana. 307 pp.

Jorge, H.; Jorge, Ibis de las M.; Segrera, Sadis. Eds. (2003a): Programa de Fitomejoramiento Impacto en la Producción Azucarera Cubana. PUBLINICA . Ciudad de La Habana. pp.6-20.

Kvet, J. ; Ondok, J. Necas, y P. G. Jarvis (1979): Methods of growth analysis. En: Plant Photosynthetic Production. Manual of Methods. Z. Sestak, J. Catsky y P. G. Jarvis (ed) Dr. W., Junk, La Haya, pp 343 – 391.

Lerch, G.; Reyes, R.; García, R.; Leal, P.(1977): Crecimiento, desarrollo, y variación del indice refractométrico (Brix) en seis variedades destacadas de caña de azúcar. Ciencias de la agricultura 1:79-105.

Mac Coll, D. (1977): Growth and sugar accumulation of sugarcane. II. Dry weight increments and estimates of assimilation rate. Expl. Agric. 13: 61- 69.

MINISTERIO de la AGRICULTURA (1977): PROGRAMA DE CONFORMACIÓN TERRITORIAL de la AGRICULTURA CAÑERA. 28 pp.

Ortega, E.; Pardo, J.; González, A.(1984): Cambios metabólicos en plantas de caña de azúcar bajo estrés hídrico Cienc Agr,21: 37 – 43.

Ortega, E.; Rodés, R.; Soto, E.; Perales, I.; Armas de R.; Cabrera, N.(1989): Bases fisiológicas de la productividad de la caña de azúcar. La Habana Edt. Academia 43. pp

Peréz, G.; N, B.; Chinea, A.; Ö Relly, J.; Prada de, F.(1977): Recursos Genéticos de la Caña de Azúcar. Publi. IMAGO. Ciudad de La Habana. pp. 40 –43.

Pérez, A. M.; Armas de, R.; Amaral, A. (1974). Influencia del exceso de potasio del suelo en el comportamiento de los macronutrientes de la caña de azúcar. Ciencias. Serie Química

Rufino, Mariana; Romero E.R.; Scadaliaris, j.; Peréz, F.; Alonso, L y Rufino, R.(2001): Importancia del manejo de la maduración en la mejora de la recuperación de azúcar en Tucumán. Secc. Caña de azúcar, EEADOC. Publ. Especial No. 20 pp.5-9.

SPSS/PC For Windows (2003) versión 8.0

STATGRAPHICS Plus, Statistical Graphics Corporation (2000) versión 5.0

Vázquez, B.; Torres S.(1995): Fisiología Vegetal, Editorial Pueblo y educación, La Habana,. 444. Pp

UTILIZACION DEL ESTADÍGRAFO T^2 DE HOTELLING EN LA SELECCIÓN DEL NUEVO CULTIVAR DE CAÑA DE AZUCAR C98-357, DE PROMISORIA PERSPECTIVA EN EL AMBITO COMERCIAL.

F. Valladares, I.Torres, J.Montalván, J.Vallina, J. Rodríguez, O. Cervantes, M.Padrón, R.Romero, Y. Fernández, E.Valdés e I. Pouza.

Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Camagüey. Florida. C.P 72810, Camagüey. Cuba. E. Mail. *f.valladares@epica.cm.minaz.cu*

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el comportamiento agrícola y azucarero de 8 nuevos cultivares de caña de azúcar de la serie del año 1998, se sembró en el año 2004 y en época de frío, sobre un suelo Inceptisols de la provincia de Camagüey, un ensayo comparativo donde se incluyeron además los testigos C1051-73 y C86-12. El diseño estadístico usado fue el de bloques al azar con tres réplicas. Las características productivas evaluadas fueron: toneladas de caña/hectárea, porcentaje de pol en caña y toneladas de pol/hectárea. Para cada cepa se realizaron los análisis de varianza y pruebas de comparación de medias, determinándose la significación estadística entre cultivares y testigos de referencia. Se utilizó adicionalmente el estadígrafo multivariado T^2 de Hotelling, que incluye en su determinación y significación el cálculo del cuadrado de la distancia (D^2 de Mahalanobis) y del estadígrafo F. Los resultados destacan el potencial productivo del cultivar C 98-357, que en la cepa de planta aventaja estadísticamente ($p<0,01$) en cuanto a producción de caña por hectárea al testigo C1051-73, en esta cepa no se detectaron otras diferencias. En retoño aunque no rebasó a los controles en el porcentaje de pol en caña fue superior ($p<0,01$) en rendimiento agrícola. El análisis simultáneo de las variables demostró que el nuevo cultivar aventaja a los controles, lo que demuestra la utilidad del estadígrafo T^2 en la decisión final de seleccionar una variedad promisoria.

Palabras clave: Cultivar, análisis de varianza, comparación de medias, T^2 de Hotelling, D^2 de Mahalanobis.

ABSTRACT

With the objective of determining the agricultural and sugar behaviour of 8 new genotypes of sugarcane of the selection of the year 1998, it was planted in the year 2004 and in the cold season on a Inceptisols soil of the Camagüey province, a comparative experiment in which were also included the pattern C1051-73 y C86-12. The used statistical design was the completely randomized block with three replications. The evaluated productive characteristics were: tons of cane/ha, pol percentage in cane and tons of pol/ha. We carried out the analysis of variance and test of comparison between means each harvest, being determinated the statistical significance between genotype and reference pattern. Besides, it was used the Statistician T^2 of Hotelling who includes the calculation of the square of the distance (D^2 of Mahalanobis) and Statistician F in its determination and significance. The results showed the productive potential of the variety C98-357 that leads statistically in the plant cane ($p<0,01$) in agricultural yield to the pattern (C1051-73, other differences in this stump were not detected. Although in ratoon it didn't surpass to the controls in the pol percentage in cane, it was superior ($p<0,01$) in agricultural yield. The simultaneous analysis of the variables proved that

the new genotype leads to the controls, what demonstrates the statistician's T^2 utility in the final decision of selecting a promissory variety.

Key words: genotype, analysis of variance, comparison between means, T^2 of Hotelling, D^2 of Mahalanobis.

INTRODUCCION

La sustentabilidad actual de la agroindustria azucarera cubana, agobiada como en otros países por una compleja situación económica, depende en buena medida de la disponibilidad de nuevos cultivares de caña de azúcar que aseguren altas y estables producciones (Valladares et al., 2004).
La eliminación o limitación de una variedad comercial por depresión de sus rendimientos, y la incorporación de otras de mejores cualidades, es un proceso que tiene continuidad en el tiempo y junto a la aplicación de estrategias de manejo y empleo de tecnologías más eficientes, son elementos indispensables que evitan la declinación del nivel productivo alcanzado.
Para contar con genotipos más productivos, mejor adaptados y estables, en la última etapa del proceso de selección de variedades se plantan anualmente ensayos de campo con el propósito de evaluar las características del nuevo material, que tuvieron como antecedente un comportamiento destacado a lo largo del proceso selectivo. La información generada por estos estudios en los ciclos de primavera y frío durante dos cosechas sucesivas, más las referencias sobre el comportamiento frente a las principales enfermedades, es empleada para recomendar o descartar la propagación comercial de alguna de estas variedades y/o su incorporación como progenitor al programa de hibridación que desarrolla el INICA.
El principal objetivo de este trabajo fue el de detectar cultivares promisorios a través del ciclo de plantación de frío y las cepas de caña planta y primer retoño, en la selección correspondiente al año 1998.
Como un importante elemento añadido, se considera por vez primera en un trabajo de este tipo el uso del estadígrafo multivariado T^2 de Hotelling, que por su mayor poder discriminatorio resulta más eficiente que el análisis independiente de las variables, lo que a nuestro juicio refuerza el criterio de selección.

MATERIALES Y METODOS

Fueron evaluados 8 cultivares promisorios del año 1998 junto a los controles C1051-73 y C86-12, sembrados en ensayos comparativos de rendimiento sobre un suelo Inceptisols (Soil Survey Staff, 1992), en el bloque experimental ubicado en la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Camagüey (INICA-MINAZ), situada en los 21^o 31' de latitud norte y los 78^o 14' de longitud oeste y a una altura de 57,08 msnm (Instituto de Meteorología, 1987). Las condiciones climáticas durante el período de estudio la caracterizaron precipitaciones medias anuales de 1451,8 mm, de las cuales el 89,6 % ocurrieron entre los meses de mayo y octubre, y una temperatura media anual de 25,7 ^{o}C.
El estudio se sembró en el mes de octubre del año 2004, cosechándose sucesivamente a los 16 y 14 meses de edad en las cepas de caña planta y primer retoño. Se utilizaron parcelas de 48m^2, distribuidas según un diseño estadístico de bloques al azar con tres réplicas. Las características evaluadas fueron: toneladas de caña/hectárea, porcentaje de pol en caña y toneladas de pol/hectárea. Para cada una de estas variables se realizaron los correspondientes análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias (SPSS/PC, 2002), determinándose la significación estadística ($p<0,01$) de las diferencias entre cultivares en estudio y testigos.
En el trabajo se incluye adicionalmente el uso del estadígrafo multivariado T^2 de Hotelling para dos muestras, generalización del estadístico t de Student para dos muestras univariadas (Linares et al., 1986; Li, 1977). Para su obtención adicionamos el cálculo del cuadrado de la distancia (D^2 de Mahalanobis) entre dos muestras y del estadígrafo F. Por considerar que esta prueba multivariada tiene mayor poder de

discriminación que el análisis de una sola variable, es que decidimos su empleo en aquellos casos donde los análisis univariados no detectan diferencias o sólo lo hacen de modo parcial, lo que puede provocar indecisión en el momento de seleccionar un nuevo individuo.
Las curvas de maduración del genotipo más destacado y los respectivos controles, se obtuvieron por medio del programa de ajuste de curvas Curve Expert (1997).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se resumen los resultados del análisis de varianza y de la prueba de Duncan en la cepa de caña planta. En relación a la producción de caña por hectárea sobresalen los cultivares C98-351 y C98-357, los que no difieren estadísticamente del testigo más productivo C86-12. El análisis de la variable porcentaje de pol en caña muestra que cinco de los genotipos en estudio forman un grupo superior al que se integran los controles. Las medias correspondientes a las toneladas de pol/hectárea y sus respectivos niveles de significación, destacan por este orden a la C98-357, C98-372, y C98-351 sin diferencias biométricas respecto del testigo C86-12.

Tabla I. Resultados de cosechas correspondientes a la cepa de caña planta.

Variedad	CTHA	PPC	PTHA
C86-12	72.59 a	17.87 a	13.38 a
C98-351	72.83 a	18.53 a	11.99 a
C98-352	50.01 c	15.75 b	7.77 b
C98-353	38.52 e	17.81 a	6.60 b
C98-354	39.19 e	16.31 b	6.56 b
C98-355	36.03 e	17.95 a	6.57 b
C98-356	30.83 f	15.67 b	7.82 b
C98-357	71.13 a	18.79 a	12.78 a
C1051-73	43.99 d	18.35 a	8.15 b
C98-372	63.28 b	18.30 a	12.38 a
Coefic.Variación	4.80 %	4.91 %	22,45 %
Error Standard	51,84± 1,44	17,53± 0,49	9,4± 1,22

Letras comunes no difieren

En los resultados referidos a la cepa de primer retoño (Tabla II), se observa el significativo registro de la variedad C98-357 en cuanto a la producción de caña por hectárea, cifra ésta que aventaja estadísticamente a los testigos y al resto del material en estudio. En esta cepa, el porcentaje de pol en caña se comporta de forma muy homogénea, sólo la C98-356 difiere estadísticamente de los testigos, hay que señalar que tanto la C98-357 como la C98-372 alcanza cifras superiores al 18,0 %, que junto al valor alcanzado por el control C86-12 resultan los más destacados. El análisis de la variable toneladas de pol/hectárea, muestra que los cultivares C98-357 y C98-372 alcanzan valores estadísticamente superiores al resto del material incluido en el ensayo y los testigos.

Tabla II. Resultados de cosecha correspondientes a la cepa de 1er Retoño.

Variedad	CTHA	PPC	PTHA
C86-12	78.74 c	18.66 a	14.67 b
C98-351	69.64 d	17.85 a	12.43 c
C98-352	59.12 ef	17.44 a	10.29 cd
C98-353	59.88 e	17.95 a	10.85 cd
C98-354	50.48 f	17.32 a	8.74 d
C98-355	48.82 f	17.84 a	8.71 d
C98-356	61.53 de	16.02 b	9.84 d
C98-357	104.59 a	18.34 a	19.19 a
C1051-73	86.17 bc	17.46 a	15.08 b
C98-372	94.05 b	18.51 a	17.43 a
Coefic.Variación	7,31 %	5,43 %	9,97 %
Error Standard	71,30± 3,00	17,74± 0,56	12,72± 0,73

Letras comunes no difieren

De manera general podemos decir que una buena parte de los genotipos estudiados no cubrieron las expectativas en cuanto a nivel productivo, comportamiento sanitario (Tabla III), y otras características como calidad interna de los tallos, yemas, por ciento de floración y hábito de crecimiento entre otras. Por los resultados que se derivan de la aplicación de las técnicas univariadas tradicionales, y la consideración de los aspectos antes señalados se decidió la preselección del cultivar C98-357.

Tabla III. Reacción ante las principales enfermedades de los cultivares que conforman la selección del año 1998**.**

Variedad	Roya		Carbón		Escaldadura		VMCA
	Grado	Reacción	Grado	Reacción	Grado	Reacción	
C98-357	II	R	III	R	I	AR	MR
C98-372	-	-	0	INM	I	AR	-
C98-351	III	MR	0	INM	I	AR	-
C98-356	III	MR	0	INM	I	AR	-
C98-353	V	AS	IV	MAS	I	AR	-
C98-352	IV	S	0	INM	I	AR	-
C98-354	V	AS	0	INM	I	AR	-
C98-355	IV	S	0	INM	v	AR	-

El análisis simultáneo de las variables toneladas de caña/hectárea y porcentaje de pol en caña se empleó con la intensión de avalar de forma más precisa la decisión anterior. La información mostrada en las Tablas I y II señalan que en la cepa de caña planta el cultivar preseleccionado, según los resultados de las técnicas univariadas, no difiere del control C86-12, y sólo superó a la C1051-73 en rendimiento agrícola. Por su parte en la cepa de primer retoño (Tabla II), no logró aventajar a los testigos en la variable porcentaje de pol en caña. Sin embargo, el procesamiento conjunto de las variables consideradas, muestra en la Tabla IV que en todos los casos éste análisis constató según los valores del estadígrafo F, que el nuevo cultivar C98-357 fue claramente superior a los testigos, lo que por una parte demuestra el mayor poder discriminatorio del estadígrafo T^2 de Hotelling, en función del cual se expresa F, y por otra refuerza la decisión final de seleccionar esta promisoria variedad.

Tabla IV. Resultados del análisis simultáneo de las variables toneladas de caña/hectárea y porcentaje de pol en caña.

Variedades	Caña Planta			1er Retoño		
	D^2	T^2	F	D^2	T^2	F
C98-357- C1051-73	155.23	465.69	209.56**	10,78	32,34	14,55**
C98-357 - C86-12	5,80	17,40	7,83*	25.59	76.77	34.55**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Es bueno destacar que este cultivar mostró buena brotación y cierre de campo temprano, hábito de crecimiento ligeramente abierto, fácil despaje y buen retoñamiento, en nuestras condiciones no floreció y presentó una población de 10 a12 tallos molibles por metro lineal, con contenido de fibra de alrededor del 12%.

Finalmente, la curva de madurez correspondiente a la C98-357, representada en la Figura 1, la define como un cultivar de medio a tardío, por lo que resulta particularmente apropiado para frío, con cosecha en la cepa de caña planta por encima de los 15 meses de edad entre los meses de febrero y marzo donde alcanza su más alto potencial productivo.

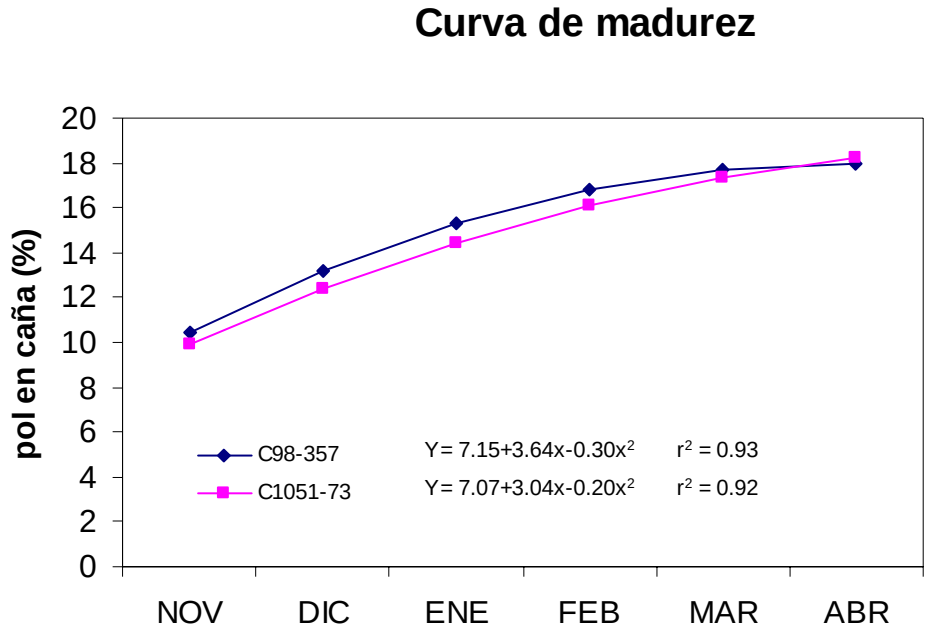


Fig.1: Curva de madurez del nuevo cultivar C98-357 y del testigo seleccionado C1051-73

CONCLUSIONES

- De las variedades estudiadas la C98-357 alcanza buen rendimiento agrícola y elevado contenido azucarero.
- El nuevo cultivar seleccionado mostró muy buen comportamiento sanitario, lo que resulta muy alentador en el complejo entorno fitopatológico donde se desarrolla el cultivo.

- El empleo del estadígrafo multivariado T^2 de Hotelling, en aquellos casos donde las pruebas univariadas ofrezcan dudas, puede ser de gran utilidad en hacer más confiable la selección de un nuevo cultivar.

RECOMENDACIONES

- Por los ventajosos resultados que reporta la variedad C98-357 debe incluirse en la fase de extensión y validación comercial
- Requiere ser evaluada como primavera de ciclo largo, considerando la importancia comercial de este ciclo.
- Emplear en el proceso selectivo el estadígrafo T^2 de Hotelling, particularizando su uso en aquellos casos donde las pruebas univariadas no muestren diferencias o detecten sólo discrepancias parciales.

BIBLIOGRAFIA

1. Curve Expert (1997). Versión 1.34
2. Instituto de Meteorología (1987). Datos climáticos de la provincia de Camagüey. Informe Técnico. Inédito.
3. Li, C.C, (1977). Introducción a la Estadística Experimental. Ed. Omega, S.A., Barcelona. p.496-
4. Linares, Gladis; William Acosta y Vivian Sistachs (1986). Estadística Multivariada. La Habana. Univ. de la Habana. p.320.
5. Soil Survey Staff (1992). Hey to Soil Taxonomy.SMSS Taxonomy. SMSS Technical Monograph.No.19, th edition. Blachsburg, Virginia.USA, 541 pp.
6. SPSS/PC. For Windows (2002). Versión 8.0.
7. Valladares, F., J.Vallina, F. de Prada, I.Torres y J.Montalván (2004). Análisis de las características productivas de dos nuevas variedades de caña de azúcar obtenidas en Camagüey, evaluadas en cuatro zonas agroecológicas de la provincia. Memorias, Congreso Internacional Sobre Azúcar y Derivados de la Caña. La Habana. ISBN-959-7165-17-1.

ENERGÍA

LAS VINAZAS: RESIDUAL O PORTADOR ENEGETICO.

Ing. Norge A. Garrido Carralero, MSc. Indira Pérez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca #804 esq. Carretera Central. San Miguel del Padrón.
Cuidad Habana. Cuba
***E-mail**:* norge.garrido@icidca.edu.cu

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza la alternativa de eliminar el residual alcohólico (vinazas) generado por una destilería de 3000 Hl/d, el cúal asciende a 3600 m^3. Este residual es concentrado en un evaporador múltiple efecto y el vapor del último cuerpo es utilizado para la alimentar la columna de destilación. El producto concentrado hasta 60ºBx es alimentado a una caldera de incineración y el vapor obtenido será suministrado a una turbina para producir el vapor de baja y la electricidad necesaria para toda la planta.

Este proceso permite la eliminación de todo el residual y la obtención de sales ricas en potasio que pueden ser empleadas como fertilizantes en la agricultura. También se analiza el comportamiento de la inversión así como el tiempo de recuperación de la misma para la capacidad de la destilería tomada.

Palabras clave: Incineración, Vinazas, Concentración

SUMMARY

In the present work is analyzed the alternative of eliminating a alcoholic distillery wastewater of 3000 hl/d that generates 3600 m^3/d of alcoholic distillery wastewater (vinasses). These will be concentrated on a multiple - effect evaporator system that will work at pressure using the steam of the last body to feed the distillation column. The concentrated product at 60 ºBx will be fed to an incineration boiler where the obtained outlet steam will be supplied to the turbine generator, producing the low pressure steam and the necessary electric energy for the plant installation as well as a surplus to the national net.

This process allows the residual total elimination and obtain salts rich in potassium which can be used in the agriculture as fertilizer. Also in the study an analysis is carried out of the investment behavior as well as the recovery time of the same depending on the distillery capacity. The present analysis is for an installation where the whole equipment is new.

Key word: incineration, vinasses, concentration

INTRODUCCIÓN.

En los países productores de azúcar dónde se destilan las melazas, jugos o mezclas de estos productos, los efluentes pueden ser ahora una valiosa fuente de energía para el productor de alcohol. Empleando la evaporación del residual seguida por la combustión en una caldera especialmente diseñada para estos fines. (Cortéz, 2003).

El esquema está fundamentado en la combustión de los materiales orgánicos contaminantes que generan más del vapor que se necesita para la evaporación precedente. Este vapor sobrante puede usarse en el proceso azucarero, destilación, o para generar electricidad. Secundariamente, pueden recuperarse valiosas sustancias inorgánicas, fundamentalmente el potasio, en forma de una ceniza seca conveniente para ser empleada como fertilizante. Se estima que el 75 % del potasio que ha asimilado la caña de azúcar durante su crecimiento puede reciclarse de esta manera.

Una destilería que produce 300 000 l/día de alcohol crea la misma carga contaminante que el alcantarillado doméstico de una ciudad de 2 millones de habitantes. El volumen de residuales líquidos es típicamente diez a catorce veces la producción de alcohol: alrededor de 330 000 a 420 000 l/día. Su fuerza contaminante puede variar según la materia prima a fermentar entre aproximadamente 15 000 ppm a 40 000 ppm pero en circunstancias excepcionales pueden tomar valores mayores de 50 000 ppm.

Partiendo de la necesidad de buscar producciones limpias que sean económicamente factibles y amigables con el medio ambiente es que se propone el presente trabajo, el que permite la eliminación de las vinazas de una destilería de 3000 HL/d concentrando e incinerando las mismas para generar el vapor y la electricidad que se consumirá en la instalación, así como un excedente para su uso o comercialización, produciendo adicionalmente sales ricas en potasio para utilizarlas como fertilizante.

DESARROLLO

Descripción del proceso integrado

La instalación propuesta consta de 4 etapas fundamentales, destilación, concentración, incineración y generación de electricidad, las que trabajan de forma dependiente.
Se considera una destilería de 3000 HL/d de capacidad, la cual genera aproximadamente 3772 m^3/d de vinazas. Este residual se alimentará a un sistema de evaporación de 4 efectos trabajando el último vaso a presión, lográndose de esta forma concentrar las vinazas desde 5,6 ºBx hasta aproximadamente 65 ºBx. Del primer vaso se realiza una extracción para el calentamiento de las vinazas a alimentar al múltiple hasta 110 ºC, aproximadamente 73 t/d de vapor.

El producto concentrado 1270 t/d, es bombeado a una caldera de incineración de productos líquidos, generando 3340 t/d de vapor a 18 atm (man.) a una temperatura de 300 ºC, se alimentarán a un turbo generador de 8000 KW, generando 7400 KW-h. La electricidad obtenida será utilizada para satisfacer la demanda de la instalación, aproximadamente 300 KW-h y el resto se venderá a la red nacional.

De esta etapa se obtienen 3350 t/d de vapor de baja a 2 atm (man) y una temperatura de 135 ºC, empleándose este en el sistema de evaporación (530 t/d) y en la alimentación de la columna de destilación (241,39 t/d).

El vapor del último efecto, 540 t/d a una temperatura de 118 ºC se alimentará al fondo de la columna de destilación, la que consume 780,5 t/d. El resto del vapor se empleará en la destilería para la esterilización, la limpieza del área de fermentación u otros usos.

Las sales obtenidas en el proceso de incineración de las vinazas, ricas en potasio, aproximadamente 34 t/d, se almacenarán para ser utilizadas como fertilizante en la agricultura cañera (Luna y otros, 1990)

En el esquema objeto de estudio se considera una destilería existente agregándosele un sistema de evaporación de tubos largos y película descendente, un turbo-generador y una caldera de incineración. Los equipos que se agregan son de nueva adquisición.

Análisis Económico

Para la realización de este estudio se tomaron en cuenta los índices económicos fundamentales como son, costo de producción del alcohol técnico B, el de las sales y la electricidad y el costo de inversión de los equipos tecnológicos a adquirir. Con estos datos y aplicando como herramienta el flujo de caja se determinó el tiempo de recuperación de la inversión, la tasa de retorno (TIR) y el valor actualizado neto (VAN). En el mismo no se considera la penalización por efecto de la contaminación ambiental. En el caso del costo de producción del alcohol técnico B hay una disminución de un 7 % por efecto de no tener necesidad del consumo de petróleo para la generación de vapor (Garrido, 2002).

Para el cálculo del costo de inversión de la instalación se tomaron en cuenta, el costo del equipamiento tecnológico, los costos directos y los indirectos, obteniéndose un valor total de la inversión de **$ 8829519,5**. De las fichas de costo se obtiene el costo de producción anual para los productos antes mencionados y los precios de venta, obteniéndose una ganancia anual de **$ 6 729 396,9**.

Con la información anterior se conforma el flujo de caja de donde se obtienen los siguientes resultados:

- Tiempo de recuperación de la inversión sin descuento **3.10 años**.
- Tiempo de recuperación de la inversión considerando un 12 % de descuento **3.32 años**.
- Tasa de retorno de la inversión (TIR) **60.96 %.**
- Valor actualizado neto (VAN) **positivo a partir del cuarto año**.

Estos resultados nos indican la factibilidad técnico - económica de la inversión.

ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN

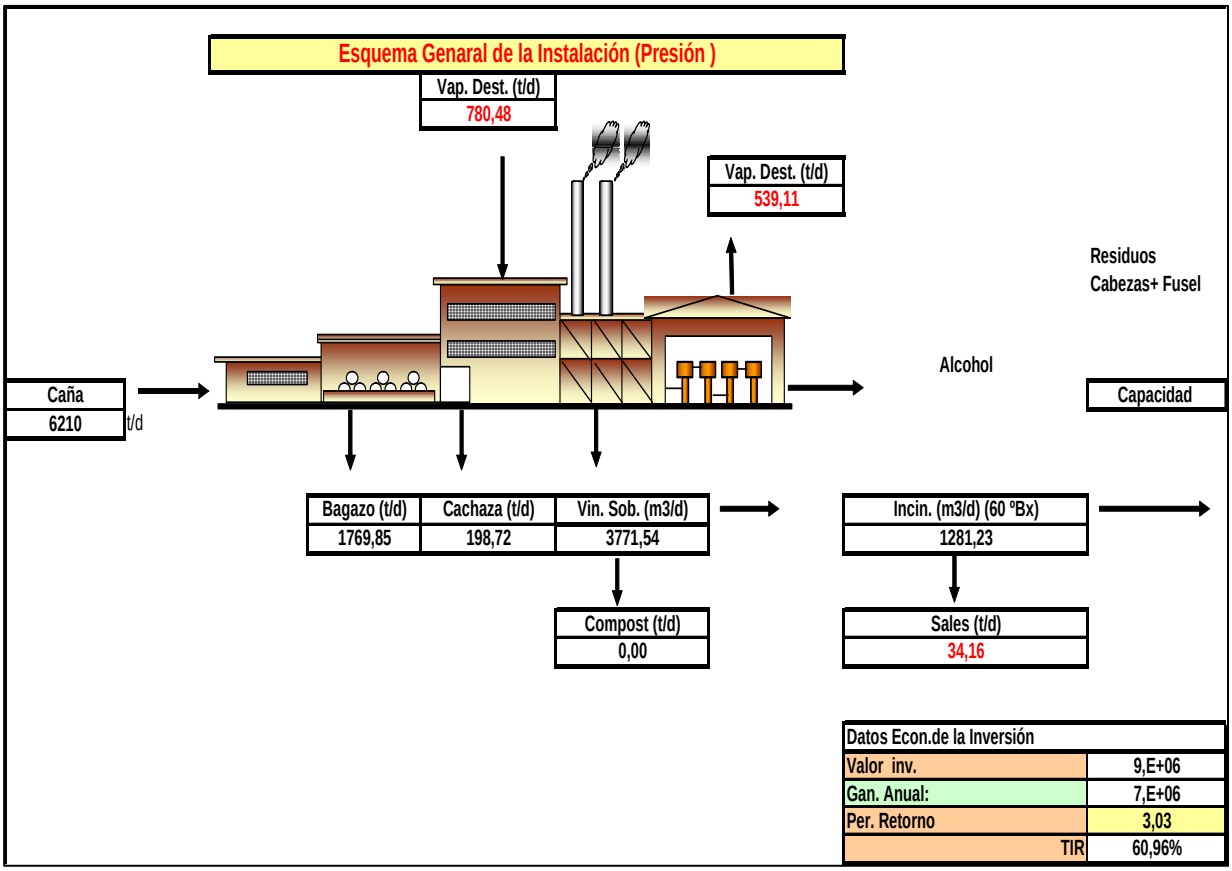


Figura 1. Esquema de la instalación propuesta

CONCLUSIONES

1. Los procesos propuestos (concentración, incineración y generación eléctrica) son conocidos favoreciendo esto la operación de los mismos.
2. Con esta instalación se logra convertir a las destilerías, industria altamente contaminante en una producción limpia debido a la eliminación total del residual, convirtiéndose este en un producto útil como portador energético.
3. Los residuos de la incineración son utilizados como fertilizantes agrícolas.
4. Es viable la inversión desde el punto de vista técnico y económico.

REFERENCIAS

1. Blattner P., Ulrich L., Cook K., Dyck T., (2000), Microsoft Excel 2000. Ediciones ANAYA MULTIMEDIA. Madrid. España.
2. Garrido, G. (1982). Anteproyecto tecnológico para la concentración de vinazas para la destilería José Antonio Echeverría.
3. Garrido, G. (1985). Análisis de alternativas en la concentración de vinazas en la destilería Habana. Informe interno.
4. Garrido, N. (2002). SIDEL: Sistema de Simulación y Diseño de Destilerías.
5. Kern, DQ. (1986), Procesos de transferencia de calor. Edición revolucionaria. La Habana.
6. Luna, N., Bedolla, E, Brown, A. (1990). Propiedades físico química de las vinazas de destilerías. Componentes inorgánicos. Segundo Seminario Internacional de azúcar y derivados.
7. Luna, N., Bedolla, E, Valdés Z. (1990). Constituyentes y propiedades químico físicas de las vinazas de destilerías cubanas. Informe interno.
8. Perry, H J. (1992), Manual del Ingeniero químico. Editorial Hispanoamericana. España.
9. Cortez 1 y L.E. Brossard Pérez. (2003). EXPERIENCIAS EN LA DISPOSICIÓN DE LAS VINAZASCOMBUSTIÓN DE LAS EMULSIONES DE FUEL-OIL y DE VINAZAS; 21 Facultad de ingeniería agrícola de la universidad del estado de Campinas - CEP 13081-970 - Campinas, SP - el Brasil
   E-mail:cortez@agr.unicamp.br
   2 Facultad de ingeniería química de la universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE AUTOMOTOR BARATO: PRODUCIDO POR Y PARA LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA

Jorge Lodos[1] y Elena Vigil[2]

[1]MINAZ, 23 #171, Vedado, Plaza, Habana 10400, Cuba; lodos@ocentral.minaz.cu
[2]Facultad de Física, UH, Vedado, Plaza, Habana 10400, Cuba, evigil@fisica.uh.cu

Resumen

Los países desarrollados intentan reducir la contaminación de sus ciudades sustituyendo gasolina, entre otras opciones, por hidrógeno que produce agua al quemarse. Conspira contra esto su alto costo, por el consumo de energía en la electrólisis, las dificultades de almacenamiento y el precio del petróleo que, además, contribuye al efecto invernadero. Para que el hidrógeno sea compatible con el entorno, debe ser obtenido con materia prima y energía renovables y en la caña de azúcar hay condiciones para ello. En el trabajo se analiza producir hidrógeno por electrólisis, con electricidad cogenerada de bagazo, y utilizarlo como combustible automotor en transportar caña. En esas condiciones, la electricidad es barata y renovable, y puede ser utilizado sin almacenarlo a alta presión ni gastar energía en comprimirlo. Se demostró que el costo del hidrógeno "azucarero", para iguales recorridos, es 60% del de la gasolina o alcohol combustible. El consumo promedio de un camión con trailer con 10 toneladas de caña sería de 2 Kg en ida-retorno. Una fábrica de 7 000 toneladas de caña/día necesitaría un electrolizador de 60 Kg/hora con 3 MW de potencia instalada, mientras que genera unos 10 MW y consume 6-7. Se propone un Proyecto para adaptar un camión a hidrógeno generado en un electrolizador de 0.4 Kg/h, con electricidad sobrante, y almacenarlo en contenedores de 2 Kg a 10 bar. El objetivo sería promover tecnologías eficientes de conversión de energía sobrante y acopiar información técnica y económica sobre el comportamiento del sistema integral.

Palabras clave: Hidrógeno, caña, energía renovable, contaminación

Abstracs

Developed countries try to reduce smog pollution substituting gasoline for other options, as hydrogen is: Hydrogen produces only water when it is burnt. High hydrogen cost and energy consumption in electrolysis, in addition to storage difficulties and high oil price, conspire against this possibility that increases also greenhouse effect. In order to produce environment friendly hydrogen it has to be obtained from renewable raw material and energy. Sugar cane has this possibility. It is analysed the hydrogen production thru electrolysis with surplus renewable cheap electricity generated from bagasse. Hydrogen will be used as fuel for trucks instead of gasoline or diesel oil, in sugar cane transportation from the fields to the factory without high pressure storage and compression. Cost of "sugar" hydrogen" is only 60% of gasoline or alcohol cost for similar circuit. The hydrogen consumption per trip of a 10 sugarcane tons truck plus trailer will be 2 Kg. A 7 000 t/d of sugarcane factory will need a 60 Kg per hour electrolizator which power consumption will be 3 MW out of the 10 MW, minimum, the factory produces, 6-7 of which consumes. It is proposed to adapt and fuel a truck with the hydrogen generated with a small 0.4 Kg/h electrolizator, storaged in 2 Kg

containers at 10 bar. The purpose of the study is to promote high efficient surplus energy conversion technologies and to collect technical and economical data regarding the integrated system behaviour.

Key words: Hydrogen, Cane, Sustainable Energy, Pollution

1. Introducción

Los países desarrollados buscan resolver el grave problema de contaminación de sus ciudades debido a la combustión de los combustibles que utilizan en el transporte automotor. Una de las alternativas más perspectiva es su sustitución por hidrógeno, que puede obtenerse del agua, que se recupera en su combustión. Contra esto conspira: 1. Su alto costo, relativo a los combustibles actualmente utilizados, 2. Dificultades de almacenamiento y transportación y 3. Su carácter no renovable, si se obtiene utilizando combustibles fósiles. Es conveniente insistir en que para que la combustión del hidrógeno sea totalmente compatible con el medio ambiente, el mismo debe ser obtenido de fuentes renovables de energía (Erdman 2004).

El escenario anterior no describe la situación de los países subdesarrollados que están obligados a incrementar dramáticamente la producción de energía para desarrollarse y mejorar su nivel de vida. Este desarrollo ya no puede ser basado en petróleo abundante y barato, como lo fue el de los países actualmente desarrollados, pues se calcula que más de la mitad del total del petróleo que una vez existió en la naturaleza ya ha sido gastado.

El precio del petróleo sigue en ascenso y ya es prohibitivo, motivado, entre otros factores, porque desde hace varios años los nuevos descubrimientos no compensan lo consumido, y las reservas disminuyen sistemáticamente. Por otro lado, buena parte de los combustibles fósiles ya ha sido convertida en CO_2, dando lugar al incremento del "efecto invernadero", que amenaza al clima terrestre sin distinción de país. Una alternativa totalmente compatible con el medio ambiente es producir energía renovable de biomasa y, eventualmente, su conversión en hidrógeno para sustituir combustible automotor fósil.

La caña de azúcar, cultivo habitual de 81 países subdesarrollados, posee condiciones excepcionales para convertirse en una importante fuente de biomasa y energía, ambas renovables y baratas, que permitirían producir otros portadores energéticos como el hidrógeno, y se comparan favorablemente con otras biomasas.

TABLA I: COMPARACIÓN DE BIOMASAS

Indicador	**Caña de azúcar**	**Otras biomasas** (Special Report of the UK Royal Comisión 2004)
Biomasa	Bagazo concentrado en un punto	Residuos dispersos de madera o animales, paja de cereales
Tecnología energética	Existe	En desarrollo
Costo de la biomasa	Casi sin costo	> 30 USD/t
Cogeneración	Si	No
Generación	Parcialmente	Si
Otros productos	Azúcar, alcohol, biogás, oxígeno e hidrógeno	No

2. La caña de azúcar

Una hectárea es capaz de producir, de promedio, unas 80 t/año de caña, con 14-16% de azúcares y casi 30% de bagazo, residuo fibroso con 50% de humedad y 16-17 MJ/Kg de valor calórico en base seca (Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar 1990). El bagazo representa la biomasa industrial con mayor tonelaje de producción en el mundo y, por lo tanto, la de mayor potencialidad energética e impacto sobre el efecto invernadero. Como la fabricación de azúcar necesita de calor y de electricidad, el bagazo es utilizado como "leña" en las calderas, cuyo vapor alimenta turbogeneradores de contrapresión, produciendo vapor de calentamiento de 1-2 bar y electricidad. Usualmente, al fabricar azúcar de caña se consumen unas 45 t de vapor y 2 000 KWh por 100 t de caña procesadas.

Históricamente, la agroindustria azucarera produce azúcar y no ha estado interesada en elevar su eficiencia termoenergética para producir energía, ya que los grandes productores-distribuidores de electricidad de petróleo barato no manifestaban interés en comprarle electricidad sobrante. Tampoco era tan actual como ahora, el problema de la contaminación ambiental. Las fábricas de azúcar de caña se diseñaron para consumir todo el bagazo que producían, por las dificultades de manipularlo, si hubiera excedentes del mismo. En la Industria azucarera mundial hay unas 10 000 calderas y varios miles de turbogeneradores, con una potencia instalada del orden de 6 000 MW, cuyo nivel de generación depende de la presión de trabajo (tabla II), que pudiera aumentarse fácilmente, si existieran incentivos suficientes para ello.

TABLA II: GENERACIÓN SEGÚN PRESIÓN DE TRABAJO

Presión, bar	Generación, KWh/t caña	Balance eléctrico
10	15	Compran
20	20-25	Compran y venden
30	40-45	Venden
60-80	100	Venden más

Cuando se considera a la agroindustria de la caña de azúcar como productora de energía y de alimentos, el cuadro cambia significativamente. El hecho de que la caña de azúcar sea el mejor convertidor de energía solar en biomasa del mundo vegetal cobra una mayor importancia, a lo que se le suma, que existen tecnologías para recoger los residuos agrícolas que se dejan en el campo (A. Aguilar 1996), y se pueden desarrollar nuevas variedades "energéticas" que producen el doble de bagazo, pudiéndose llevar el nivel de generación a 150 KWh/t de caña y más (Proyecto CITMA 171 de investigación 2001).

3. La fábrica de azúcar y energía

Con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de la fábrica de azúcar se hace necesario elevar la eficiencia de la generación de vapor (más vapor disponible), del uso del vapor (más vapor disponible para convertir en electricidad) y de su conversión en electricidad (más electricidad por unidad de vapor). Para ello, con tecnología disponible, se eleva la eficiencia de las calderas de 65 a 85% y más, se reduce el consumo de vapor de 45 a 35% y menos, y se eleva la presión de trabajo hasta 60-80 bar (Project CUB.G41/95 1999). También, se recogen los residuos de la cosecha y se extiende la duración de la campaña, en particular, procesando caña "energética".

La abundante electricidad barata disponible permite la producción de hidrógeno que, además, puede ser utilizado como combustible automotor en los camiones que transportan la caña y el azúcar a distancias relativamente cortas. De esta manera, se hace totalmente factible sustituir combustibles automotores fósiles,

de precio creciente, por hidrógeno de bajo costo, sin tampoco enfrentar, como se discutió, los problemas de almacenamiento y transportación que lo acompañan.

4. La inversión y los costos

Una fábrica como la descrita, que procese 7 000 t/día de caña, capacidad común en el mundo azucarero, con una campaña de azúcar de 5 meses, pero cuya generación de electricidad continúe operando hasta 7 200 horas/año, podrá disponer de 30 MW de potencia instalada (Project CUB.G41/95 1999). Para los cálculos, se consideró que el área energética financia la adquisición de los nuevos medios y las modificaciones que haya que hacer en la fábrica, a cambio de lo cual recibe la biomasa sin costo, pero le suministra a la fábrica de azúcar todo el vapor y la electricidad que requiera. Los costos e ingresos vinculados al azúcar se mantienen iguales o favorecidos porque, es de esperar, que los cambios en la eficiencia energética, si alguna repercusión tuvieran sobre la eficiencia azucarera, sería positiva.

En lo que respecta a la producción de hidrógeno se han extrapolado los datos de la literatura ya citada para un electrolizador de 2 t/día de hidrógeno de capacidad, que incluye también la compresión inicial, el almacenaje y la adaptación de los motores. Esta producción permite sustituir al combustible automotor necesario para transportar la cantidad diaria de caña que procesa la fábrica.

El cálculo se hizo sobre la base real de que un camión de caña con trailer transporta 10 t/viaje, a una distancia promedio de 10-15 kilómetros, y da 4 viajes/día. Diariamente, el camión recorre unos 100 Km. y gasta 30 litros de combustible automotor, gasolina a diesel oil, equivalente a unos 8 kilogramos de hidrógeno (2 Kg por viaje). Este valor permite dar una solución de almacenamiento compatible con el volumen y capacidad de carga del camión, aún a presiones relativamente bajas. En la tabla III aparecen los datos más relevantes de la inversión.

TABLA III: INVERSIONES PARA GENERAR ENERGÍA

Indicador	Costo, MMUSD
Calderas de mayor eficiencia y presión	27
Turbogenerador de extracción-condensación	
Modificaciones a la fábrica para ahorrar vapor	2
Almacén de biomasa	1
Sistema de electrólisis para 2t/día de hidrógeno	5
Total	**35**

Otra manera de hacer este cálculo, aún más favorable a la producción de energía, es cuando la fábrica de azúcar se ve obligada, por obsolescencia técnica o moral, a sustituir las calderas y/o turbogeneradores. En ese caso, si los sustituyese por los adecuados para producir más energía, sólo sería aplicable a la misma la diferencia entre el nuevo valor de la inversión y el tradicional. Esa diferencia es significativamente menor que el valor de 27 MMUSD que aparece en la tabla 3.

Esta cifra también puede ser reducida si los equipos sustituidos tienen un valor residual, que puede alcanzar varios millones de dólares en dependencia de su estado técnico. Adicionalmente, la puesta en vigor del Protocolo de Kyoto y del “Mecanismo de Energía Limpia” asociado, permite que los países subdesarrollados puedan acceder a los “créditos de carbón” como una ayuda al financiamiento de inversiones en energía renovable. A los precios actuales y crecientes de los “créditos de carbón”, su venta pudiera significar un ingreso adicional de varios millones de dólares.

En lo que respecta al costo de la energía, en la tabla IV aparece un estimado para el total de la operación de la nueva área energética. En el mismo se supone un costo para el bagazo y los residuos de la cosecha vinculado sólo a su recolección, almacenaje y manipulación. El costo del resto de los componentes se calculó en base al gasto real en instalaciones similares.

Aquí también es aplicable lo dicho para las inversiones, de que la parte azucarera reduce sus costos, al no tener que asumir los costos de operación o mantenimiento del área energética, por ejemplo, que pueden ser muy significativos, sobre todo en cuanto a gastos de personal y de mantenimiento.

TABLA IV: EL COSTO DE PRODUCIR ENERGÍA	
Componente	**Costo anual, MMUSD**
Bagazo	1.0
Residuos de la cosecha	0.5
Mantenimiento, 5%	1.8
Energía	0
Salarios de 80 trabajadores	0.5
Otros insumos	0.3
Costo del capital de trabajo, 8%	0.4
Otros gastos, 8%	0.3
Total	**4.8**

En lo que respecta a los ingresos (tabla V), se ha considerado para la electricidad un precio de 6 US¢/KWh, inferior en no menos del 50% al costo del KWh fósil, con menor pérdida en línea. La producción de hidrógeno consume 40-50 KWh/Kg, equivalente a 80 -100 000 KWh/día o 3.5-4.0 MW de potencia (Gielen 2004), aunque todo el año, que se añadió al consumo de 8-9 MW de la fábrica de azúcar en zafra (54 GWh). Se consideró que el hidrógeno sustituiría la gasolina en la proporción 1 a 3, con un precio de 600 USD/t, inferior al actual en alrededor, también, del 50%.

TABLA V: INGRESOS ASOCIADOS A LA ENERGÍA			
Producto	**Por año**	**Precio**	**Ingreso**
Electricidad sobrante	162 GWh	6 US¢/KWh	9.7
Hidrógeno	600 t	600 USD/t x 3	1.1
Crédito de carbón	200 000 t	20 USD/t	4.0
Total			**14.8**

Una pregunta interesante es ¿a qué costo se obtiene el hidrógeno? En el análisis se consideró que su precio de oportunidad era el del combustible que sustituía, o unos 1 800 USD/t (con la gasolina a 600 USD/t), mientras que su precio internacional es de 2 000-4 000 USD/t (Climate technology sheet 2003). A los precios actuales de la gasolina que superan los 1 000 USD/t, los cálculos serían aún más favorables. Una respuesta más completa dependería de cómo se distribuyan los costos entre el hidrógeno y la electricidad. Si el costo del KWh estuviese en un rango tan atractivo como 2.0-2.5 US¢, el del hidrógeno sería inferior a 800 USD/t.

Estas consideraciones deben ser comprobadas en la práctica, para lo que se propone ejecutar un Proyecto piloto, en pequeña escala, que se discute en 5.

Las alternativas propuestas no comprometen el uso del azúcar como alimento o para hacer alcohol, o de los residuales para biogás, que serían otros portadores energéticos factibles de ser producidos. Estas soluciones se caracterizan por reducir la dependencia de combustibles importados y las pérdidas por trasmisión, ser compatibles con el entorno, y no contaminar al medio ambiente ni incrementar el efecto invernadero.

5. El Proyecto

Se propone un Proyecto para producir hidrógeno en un electrolizador de 0.4 Kg/hora alimentado con electricidad sobrante de una fábrica de azúcar, comprimido hasta 10 bar, presión usual en la industria, almacenado en contenedores de 2 m^3 con 1.5-2 Kg. de hidrógeno cada uno. Los cálculos realizados evidencian que un contenedor es suficiente para transportar la caña a una distancia promedio de 10-15 kilómetros y retornar, en un camión cuyo carburador se haya adaptado a quemar hidrógeno.

El objetivo del Proyecto sería obtener, en 2 campañas, información para escalado, almacenamiento, transportación y seguridad del trabajo, comportamiento del motor y del sistema de tiro de caña, y realizar cálculos técnico-económicos para promover el uso de tecnologías eficientes de conversión y almacenamiento de energía sobrante. Se estima la magnitud del financiamiento en 200-300 000 USD, que incluiría el suministro del electrolizador, compresor y accesorios para modificar el carburador; así como, la asistencia, capacitación e intercambios técnicos. Las etapas del Proyecto serían:

1. Instalar electrolizador de 10 Kg/día y llenar 4 tanques de 2 m^3 a 10 bar
2. Convertir 400 KWh/día de electricidad de biomasa renovable en 10 Kg H_2 para 4 viajes de 10-15 Km. de recorrido, en un camión con motor adaptado
3. Evaluar el sistema cogeneración-electrólisis-H_2-camión-tiro de caña-recarga
4. Obtener información para escalado, almacenamiento, transportación, seguridad, comportamiento del motor y del sistema, y cálculos económicos

6. Conclusiones

Se demuestra que la producción de energía de la caña de azúcar muestra resultados superiores a otras biomasas por ser menor la inversión, estar distribuido el riesgo entre varios productos, ser conocida la tecnología agrícola e industrial, aportar portadores que reducen el efecto invernadero, bajo costo de la electricidad y réplica en 81 países subdesarrollados. Se demuestra la factibilidad de producir hidrógeno "azucarero", barato y renovable, para sustituir combustible automotor fósil en la transportación local de caña, y se fundamenta un Proyecto para evaluar los problemas de escalado, almacenamiento y transportación, seguridad del trabajo, comportamiento del motor y del sistema, y resultados económicos

7. Bibliografía

1. Erdman G. et. al. (2004), "Hydrogen infrastructure investment strategies", 3rd International Conference on Applied Infrastructure Research, Berlin, Oct.
2. "Biomass as a renewable energy source" (2004), Special Report of the UK Royal Commission for the use of biomass for heat and power production, May.
3. "Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar" (1990), Colección Geplacea, Serie Diversificación, México.
4. A. Aguilar et.al. (1996), "Cane agricultural waste fuel potential and available technology" Proc. XXII ISSCT, Colombia.
5. "Energetic cane" (2001), Research Project 171, Cuban Ministry of Science, Oct.
6. "Feasibility Study on H. Molina Sugar Mill" (1999), Final Report Project CUB.G41/95.
7. Gielen D. et.al. (2004), "Current IEA analysis on Hydrogen", International Energy Workshop IEA June.
8. "Hydrogen production" (2003), Climate technology sheet No. 9, Nov. , Europe.

FLEXIBILIDAD Y ESTRATEGIA DE OPERACIÓN EN INGENIOS- ALCOHOLEROS

AUTORES: :Ms Sc Clotilde Vázquez Borges.
Dr. Ramón Consuegra del Rey.
Ing.Gilberto González Martínez.

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras.
clotilde.vazquez@icinaz.minaz.co.cu

Resumen

Se realiza un análisis integral de una Empresa Azucarera para cuando su destilería opere con las corrientes extraídas del jugo de filtro y miel "B".
Se establece una flexibilidad y estrategia de operación sin afectar la generación de electricidad.
Se realizan balances de materiales y energía en todas las áreas para las nuevas y existentes condiciones tecnológicas que el proceso demanda.
Se recomienda la reconversión de solamente dos turbos alemanes de 1.5 Mw para duplicar la generación eléctrica y así lograr el equilibrio energético entre los bloques de fuerza y consumo.

Palabras clave : esquemas energéticos, estrategias de operación, esquemas eficientes.

Summary

It is carried out an integral analysis of a sugar company when their near factory of alcohol operates with the extracted currents of filter juice and molasses "B."
It settles down a flexibility and operation strategy without affecting the electric generation.
They are carried out balances of materials and energy in all the areas for the new and existent technological conditions that the process demands.
The reconversión is recommended for only two German turbos generator of 1.5 Mw to duplicate the electric generation and to achieve the energy balance between the blocks of force and consumption.

Key words: energy esquemes, operation strategies, efficient esquemes

Introducción

El Minaz ha implementado un programa de modernización y rehabilitación de destilerías cuyo objetivo es incrementar la eficiencia y la producción de alcohol para aprovechar el crecimiento de la demanda y los precios de este producto, mediante la solución de los indicadores ineficientes en el proceso, proporcionándole además una mayor flexibilidad a la industria azucarera .
Las premisas de este programa son:

- La flexibilización productiva azúcar-alcohol exige que las instalaciones tecnológicas del Central y de la Destilería se conciban y mantengan disponibles, para dar respuesta al comportamiento del mercado.
- Los jugos de caña de menos calidad correspondientes al de los filtros, los cuales resultan perjudiciales para azúcares de más alta calidad, así como la miel "B" serán dirigidos a la producción de alcohol.

El objetivo de este trabajo es :

- Establecer las estrategias de operación en el ingenio con vistas a minimizar el efecto que provoca las extracciones de estas corrientes con respecto al consumo de vapor y bagazo sobrante sin gran afectación en la generación de electricidad.

Materiales y Metódos.

Se considera una Empresa Azucarera con una norma potencial de molida de 3450 Ton/día, se tiene previsto realizar extracciones totales del jugo de los filtros y miel "B" para la producción de alcohol.
El presente trabajo contiene el análisis de los aspectos tecnológicos y energéticos condicionados por esta modalidad tecnológica.
Las fuentes de información fundamentales para el desarrollo del trabajo fueron :

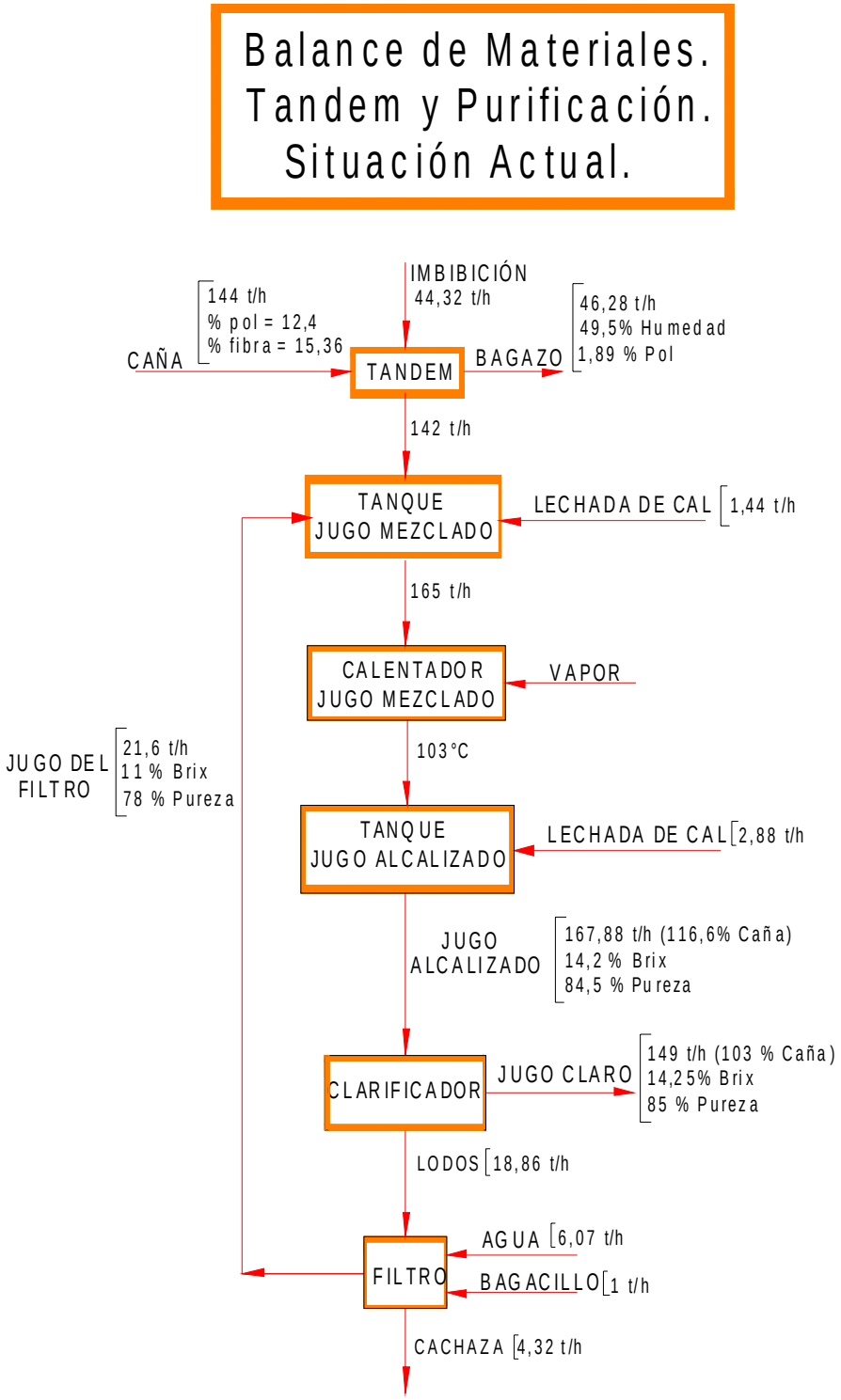
- Datos contenidos en los reportes del laboratorio en los últimos 5 años.
- Encuesta energética realizada por el MINAZ en el año 2006 a todos los ingenios y actualizada mediante intercambios con especialistas de las Empresas Azucareras
- Resultados del proceso de purificación del jugo de filtros en la EA "Heriberto Duquesne"

Descripción de la situación actual.

- Área de tandem y purificación

El tandem es eléctrico y consta de cinco molinos, su capacidad potencial de molida es de 144 t/h.
La caña procesada con un contenido de pol de 12.4% y una fibra de 15.4% con un nivel de preparación en el tandem entre 60 y 65% produce un bagazo con una humedad de alrededor de 50% y una pol de 1.89, la imbibición es del orden del 30 % en caña.
El jugo de filtro se recircula y se incorpora al tanque del jugo mezclado. Se utiliza el método de cal-calor-cal para la purificación del jugo mezclado. En estas condiciones el flujo de jugo alcalizado es del orden de 117 % caña y el del jugo claro de 103 % caña.
El balance de materiales de esta área se muestra en la figura No.1

Fig.No.1 Área de Tandem y Purificación.



- Área de generación de vapor.

Su área de generación de vapor está conformada por dos calderas Retal de 45 t/h cada una ambas generan el vapor a un nivel de presión de 1724kPa (250 psig) y a un nivel de temperatura de 583.2^0K (310^0C). Ambas poseen calentador de aire y solo una economizador estando la temperatura del agua de alimentación entre 373.2^0K-378.2^0K (100-105^0C), el estado técnico de la superficie radiante es bueno e una de ellas y cuenta con lazos de nivel de regulación automático.

- Area de planta eléctrica.

La constituye tres turbogeneradores alemanes de 1.5 MW cada uno, cuya contrapresión es de 124.1kPa (18 psig) y 443.2^0K (170^0C) de temperatura en el vapor sobrecalentado, tiene atemperadores a la salida de los turbos con control automático fijándose la temperatura de vapor atemperado entre 398.2^0K-403.2^0K (125-130^0C).
Estos turbos alemanes pueden reconvertirse y duplicar su capacidad por el cambio del generador,
El Central no está sincronizado con el SEN y no está automatizada la carga activa de los turbos según la presión de escape, el estado actual de la planta eléctrica es bueno.
Las cifras que se establecen en el Programa Energético para la zafra venidera se muestra en la Tabla No.1.

Tabla No. I Balance de electricidad establecido.

Potencia en operación (MW)	Indice de Generación (KW-h/tc)	Entrega al SEN (KW-h/tc)	Consumo del SEN (KW-h/tc)	Consumo Total. (KW-h/tc)
4.5	35.0	7.0	1.5	29.5

- Área de calentamiento –evaporación-cocción.

El esquema energético existente es el de Pre-evaporador y cuádruple efecto con una extracción de vapor para el calentamiento primario del jugo mezclado a partir del primer vaso del cuádruplo, existen dos Pre y un solo cuádruple
De los turbos y de la reductora de directo a escape proviene el vapor alimentado a los Pre y al calentador rectificador de jugo mezclado, la evaporación de los Pre-evaporadores es enviada a la línea general de escape de donde se alimentan los tachos, y el cuádruple efecto.
El área de los Pre es de 1180 m^2 de superficie calórica cada uno y la del cuádruple efecto es de 3485 m^2, en operación trabajan los dos Pre.
El sistema de calentamiento primario de jugo opera con un banco de 129 m^2 que eleva la temperatura del jugo desde 308.2^0K (35^0C) hasta 343.2^0K (70^0C), el calentamiento secundario eleva la temperatura hasta 365.2^0K (92^0C) y el rectificador hasta 376.2^0K (103 ^{0}C), estos utilizan también un banco de 129 m^2 respectivamente.
No existe el calentamiento del jugo clarificado.

- Resultados del balance de energía de la situación actual.

Los principales resultados del balance de energía en el área de calentamiento –evaporación –cocción se muestra en tabla No.2

Tabla NoII. Balance de vapor de la situación actual

Equipos	Vapor consumido (t/h)	Presión de operación. (kPa)	Tipo de vapor
Pre-evaporador Cuádruple efecto	60.9 21.5	124.1 68.95	Escape Evaporación del Pre
Calentador rectificador del jugo mezclado.	2.52	124.1	Escape
Tachos	23.8	68.95	Evaporación del Pre
Pérdidas de baja y otros usos.	3.2	68.95	Escape
Reductora alta / escape	12.37 y 7.87	(1724/142.1) (1724/68.95)	Escape
Consumo de vapor del proceso	72.62	124.1 y 68.95	Escape
Consumo vapor Destilería.	6	124.1	Escape
Pérdidas de vapor de alta.	1.03	1724	Directo
Generación de vapor.	70.08	1724	Directo

Este vapor generado representa para la molida horaria de 144 t/h un valor de 48.6 vapor % caña.

Para el balance de bagazo se establecieron las premisas siguientes :

- Tiempo perdido industrial = 15%
- Humedad del bagazo = 50%
- Indice de generación = 2.23 t de vapor / t de bagazo
- Bagazo % caña = 32
- Bagacillo para filtros = 0.7% de la molida
- Bagazo perdido en manipulación = 1.5% del bagazo producido.

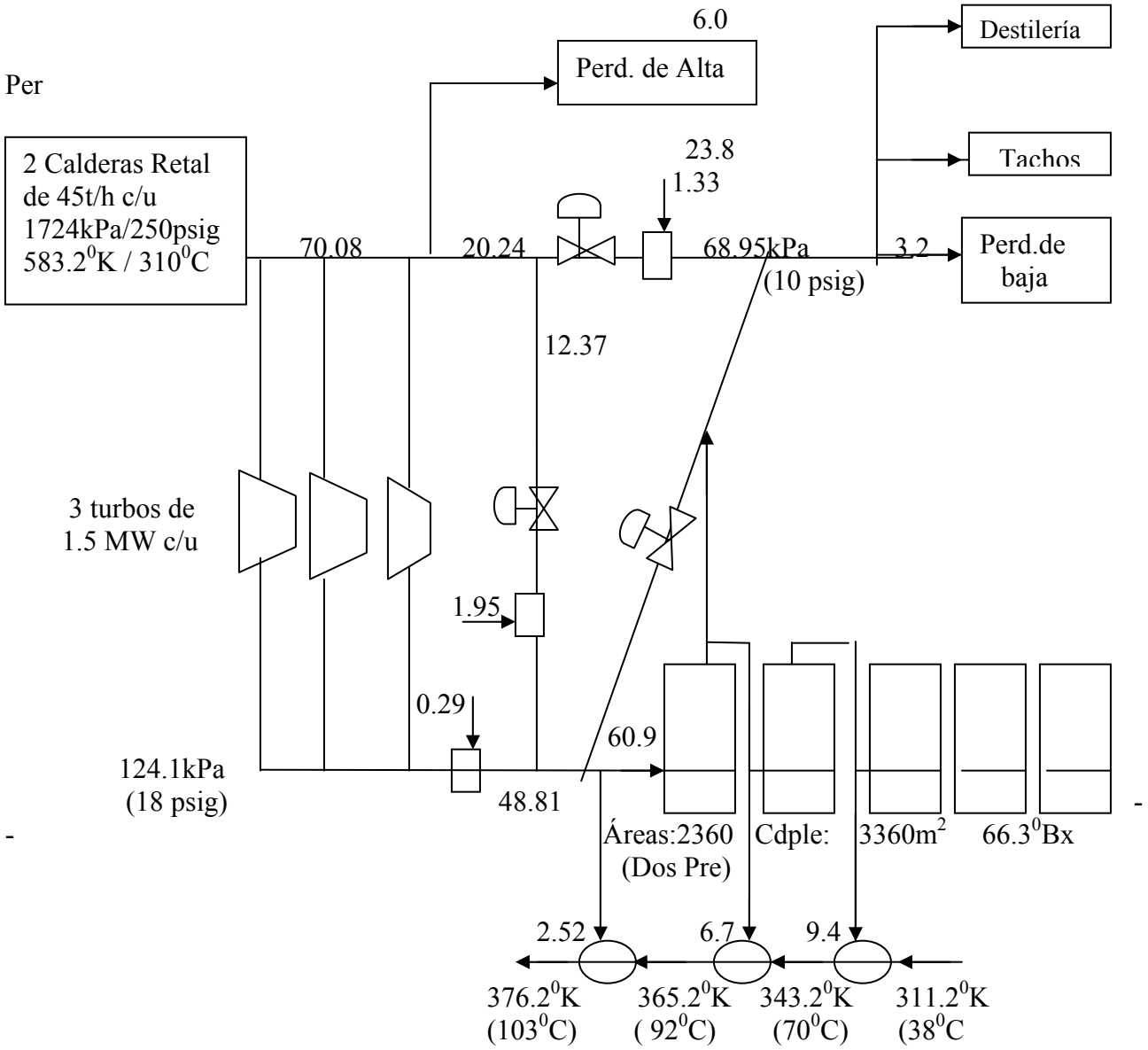
Los resultados del balance de bagazo se muestra en la tabla a continuación :

Tabla No.III Balance de Bagazo.

	Flujo másico (t /día)
Bagazo producido	940
Bagacillo para filtros	24.2
Bagazo perdido por manipulación	44.06
Bagazo disponible	871.74
Bagazo para generación de vapor	675
Sobrante de bagazo	196.75
% de Bagazo sobrante	21

De la tabla se observa que se obtiene un 21% de bagazo sobrante, en este alto valor incide directamente la fibra en caña que reporta el ingenio de 15.4 % como promedio.
La figura No. 2 muestra un diagrama de la situación actual

Fig No.2 Esquema energético. Situación Actual



Calentadores de jugo pre-alcalizado

Vapor total generado % caña : 48.6
Generación de electricidad : 31 KW-h/tc
% Bagazo sobrante : 21

Nota : Los valores de los flujos son en t/h.

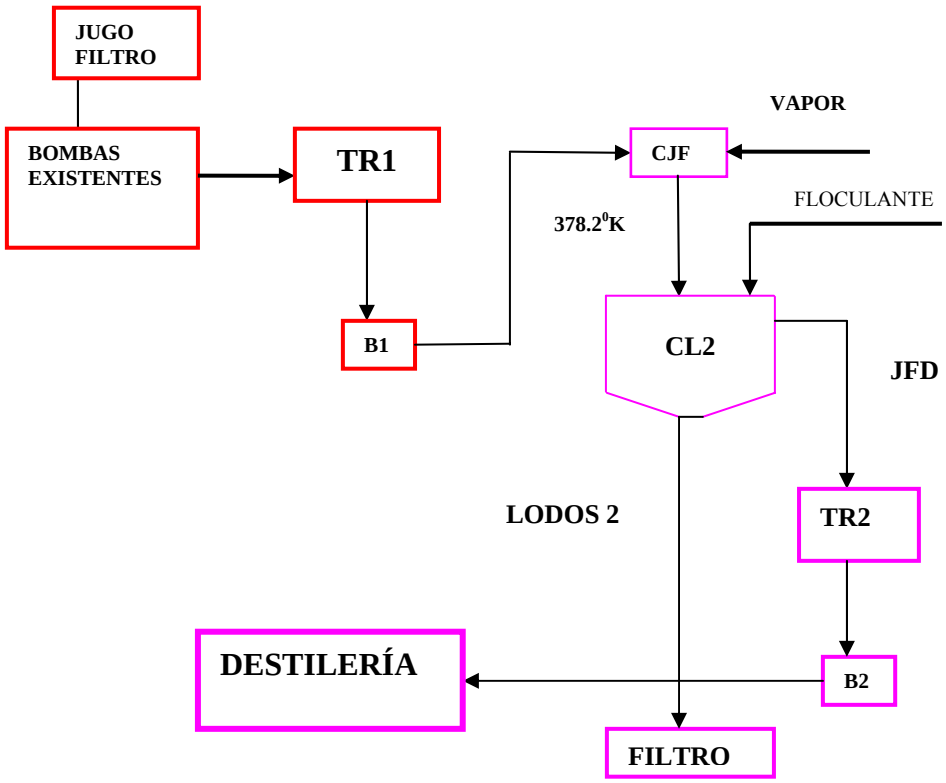
DESCRIPCIÓN DE LOS CAMBIOS EN EL PROCESO TECNOLOGICO

A continuación se describen los aspectos del proceso tecnológico haciéndose hincapié en aquellos que constituyen elementos novedosos respecto al proceso tradicional de producción de azúcar en el ingenio ,cundo se extrae el jugo de los filtros y miel "B" a la destilería.

- LA PURIFICACIÓN DEL JUGO DE LOS FILTROS.

El jugo de los filtros es bombeado, mediante las bombas existentes en el ingenio con este fin, a un tanque receptor TR1 cuyo volumen significa un tiempo de retención promedio del jugo de filtros en el mismo de 15 minutos. El contenido de TR1 es bombeado mediante bombas centrífugas (B1) hacia los calentadores CJF en los que el jugo de filtros alcanza una temperatura igual a 378.2^0K (105^0C) para luego ser clarificado en el clarificador CL2. CL2 es de diseño BTR y su volumen es tal que garantiza un tiempo de retención mínimo de 1. 5 horas. El proceso de floculación se realiza con el uso de floculante catiónico.
El jugo clarificado JFD es recibido en un tanque receptor TR2 que ofrece un tiempo de residencia promedio para JFD en el mismo de 10 minutos; de éste es bombeado a la destilería por las bombas B2. El lodo LODO2 se une a la corriente de lodo LODO1 en la artesa de los filtros de cachaza del ingenio.

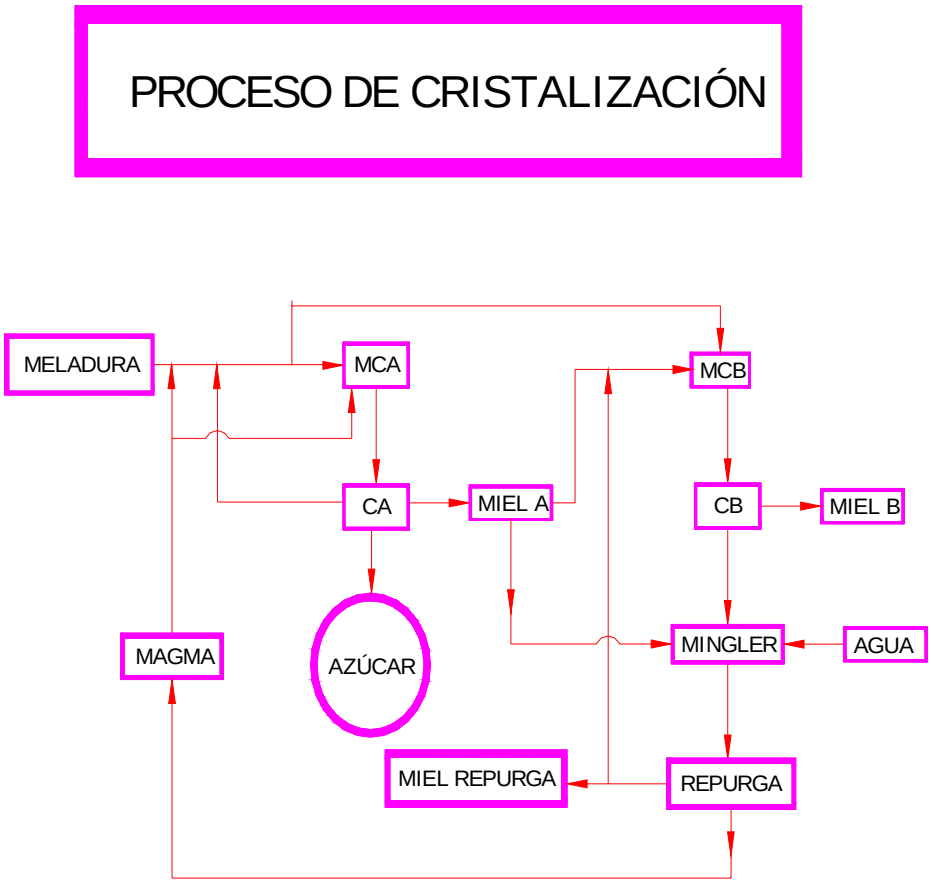
Fig.No.3 Purificación del jugo de filtro.



- EL PROCESO DE CRISTALIZACIÓN

El proceso de cristalización consiste, en su esencia en un sistema de 2 masas cocidas (MCA y MCB) en el que la miel B y el azúcar A (sólo este tipo de azúcar) son las corrientes de salida fundamentales.

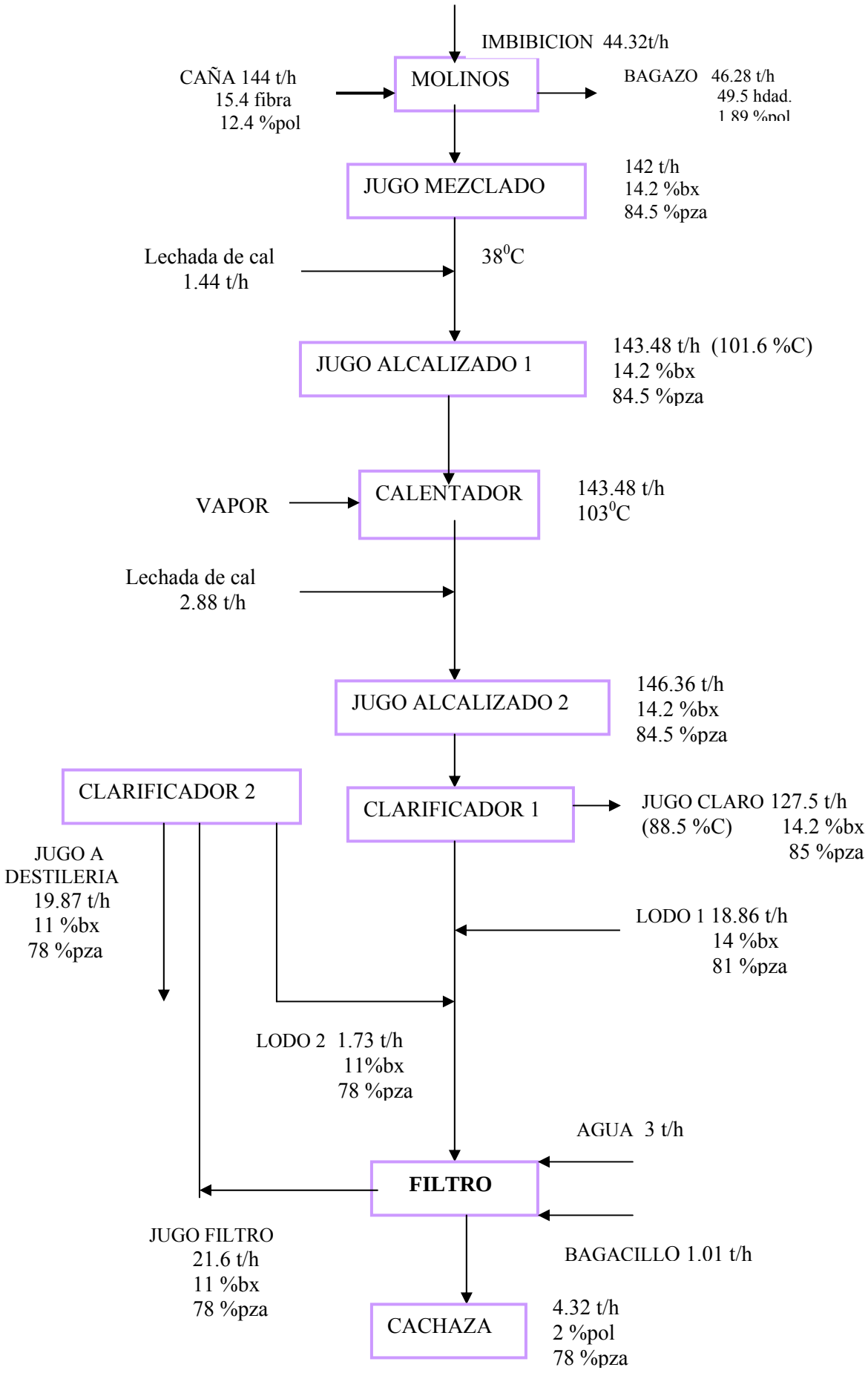
Para producir las MCB se parte de un pie de cristalización derivado de un proceso de semillamiento completo en el que el pie de cristalización consiste en la mezcla de meladura, miel de repurga y miel A de segundo lavado contenida en los tanques de meladura del ingenio. Con posterioridad se alimenta la mezcla de miel A con la miel de la repurga de la semilla B obteniéndose MCB con una pureza en el entorno del 77 %.
Las MCB se centrifugan en centrífugas continuas CB las que deberán operar a una velocidad angular de 1200 RPM. La miel B resultante es bombeada a los tanques de recepción cuyo volumen debe ser tal que admita el almacenamiento de toda la miel B que se produzca durante la zafra. La semilla B se funde con miel A y se bombea al mezclador de las centrífugas CR (las de masa cocida C según el esquema de cristalización para 3 masas cocidas) encargadas del proceso de repurga que deberán operar a una velocidad angular de 900 RPM. La miel derivada de la repurga se bombea para unirse con la miel A dando lugar a la mezcla que se alimenta a las MCB. La semilla de repurga es fundida con agua y es bombeada a un semillero para luego usarse como pie de las MCA; la magma sobrante es disuelta con meladura e incorporada al tanque que contiene a esta última.
Fig. No. 4 .Diagrama de flujo de dos masas cocidas con extracción de miel "B"



- Análisis del ingenio con las extracciones del jugo de filtro y miel "B" para la destilería.

El balance y la composición de los diferentes materiales que intervienen hasta la etapa de filtración cuando se extraen la miel "B" y el jugo de filtro se muestran a continuación :

Fig.No.5 Balance de materiales en Tandem y Purificación



En este caso los flujo de jugo alcalizado y de jugo claro disminuyen en magnitud y toman valores de 99.6 y 88.5% caña respectivamente, con estas cifras se realizan los balances de materiales y energía de las etapas posteriores a la clarificación del jugo claro.
El esquema energético que debe adoptarse en estas circunstancias debe establecer como premisa mantener los mismos niveles de generación de electricidad (31 KW-h/tc) que la que se produce en el esquema de la situación actual que se presentó en la figura No. 2.
Se propone por consiguiente el mismo esquema de Pre y cuádruple efecto efecto pero trabajar con un solo Pre y mantener como única extracción de vapor el calentamiento primario del jugo pre-alcalizado en un banco de calentadores de 129 m^2, para mantener una concentración de meladura con un valor mínimo para los requerimientos que el proceso tecnológico demanda, el resto de los consumidores se les suministrará vapor de escape.
Los resultados de esta propuesta se muestran a continuación:

Tabla No.IV Balance de vapor con extracción del jugo de filtro y miel "B"

Equipos	Vapor consumido (t/h)	Presión de operación. (kPa)	Tipo de vapor
Pre-evaporador Cuádruple efecto	34.9 16.45	124.1 68.95	Escape Evaporación del Pre
Calentador rectificador del jugo mezclado.	4.08	124.1	Escape
Calentador del jugo de filtro	0.61	68.95	Escape
Tachos	18.57	68.95	Evaporación del Pre
Pérdidas de baja y otros usos.	1.95	68.95	Escape
Reductora alta / escape	14.53 y 10.12	(1724/68.95) (137.9/68.95	Escape
Consumo de vapor del proceso	64.28	124.1 y 68.95	Escape
Consumo vapor Destilería.	6	124.1	Escape
Pérdidas de vapor de alta.	0.94	1724	Directo
Generación de vapor.	64.28	1724	Directo

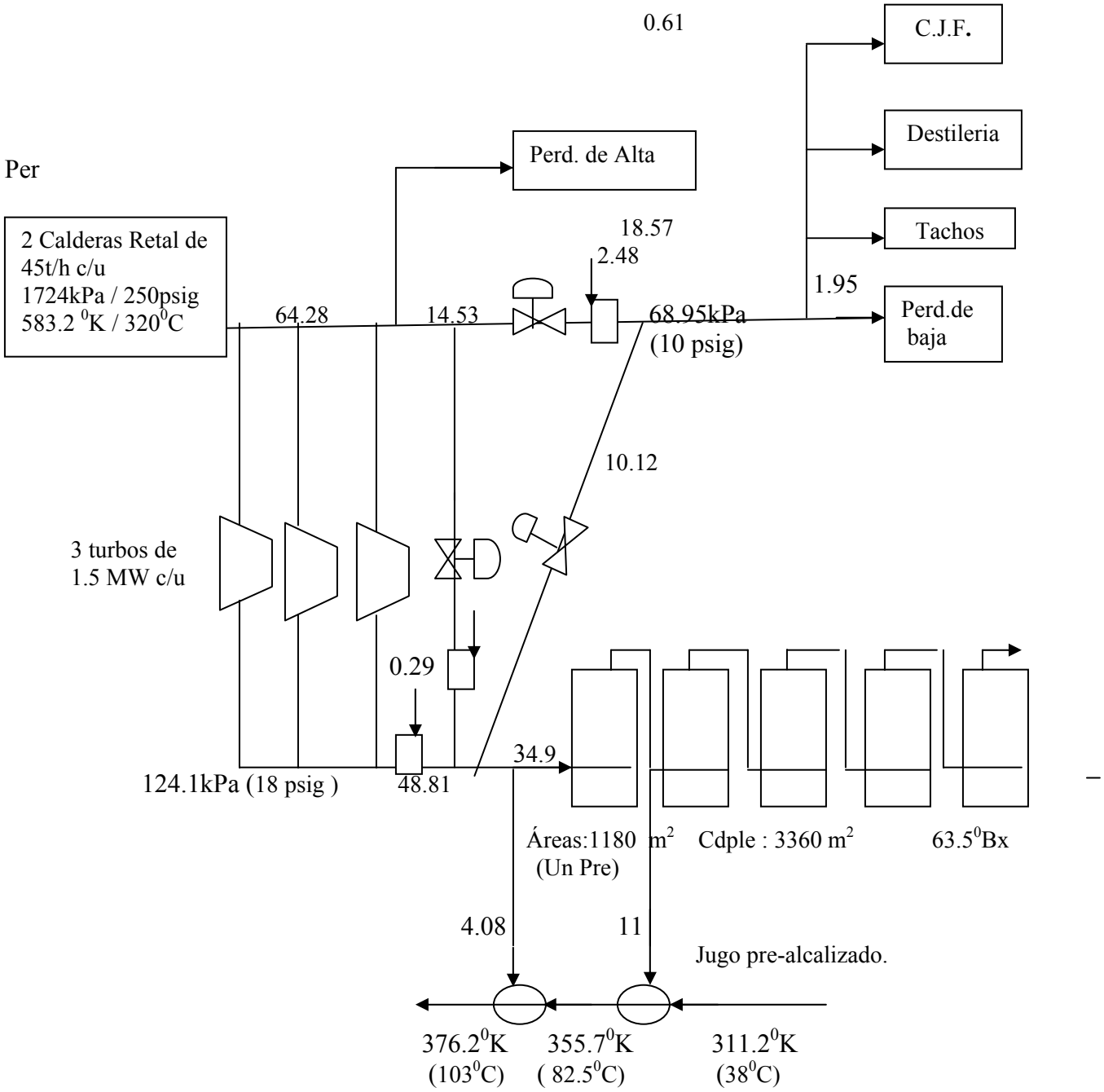
El valor de la generación de vapor % caña es de 44.6 , disminuyendo en un 9 % con respecto a la situación actual

Tabla No.V Balance de Bagazo.

	Flujo másico (t /d)
Bagazo producido	940
s	24.2
Bagazo perdido por manipulación	44.06
Bagazo disponible	871.74
Bagazo para generación de vapor	619.16
Sobrante de bagazo	252.6
% de Bagazo sobrante	26.8

En este caso el % de bagazo sobrante aumenta en 5.8 unidades porcentuales.
Se mantuvieron constantes las mismas premisas establecidas de la situación actual.
El esquema energético propuesto se muestra en la figura No.6.

Figura No.6 .Esquema energético con extracción de los jugos de los filtros y miel “B”.

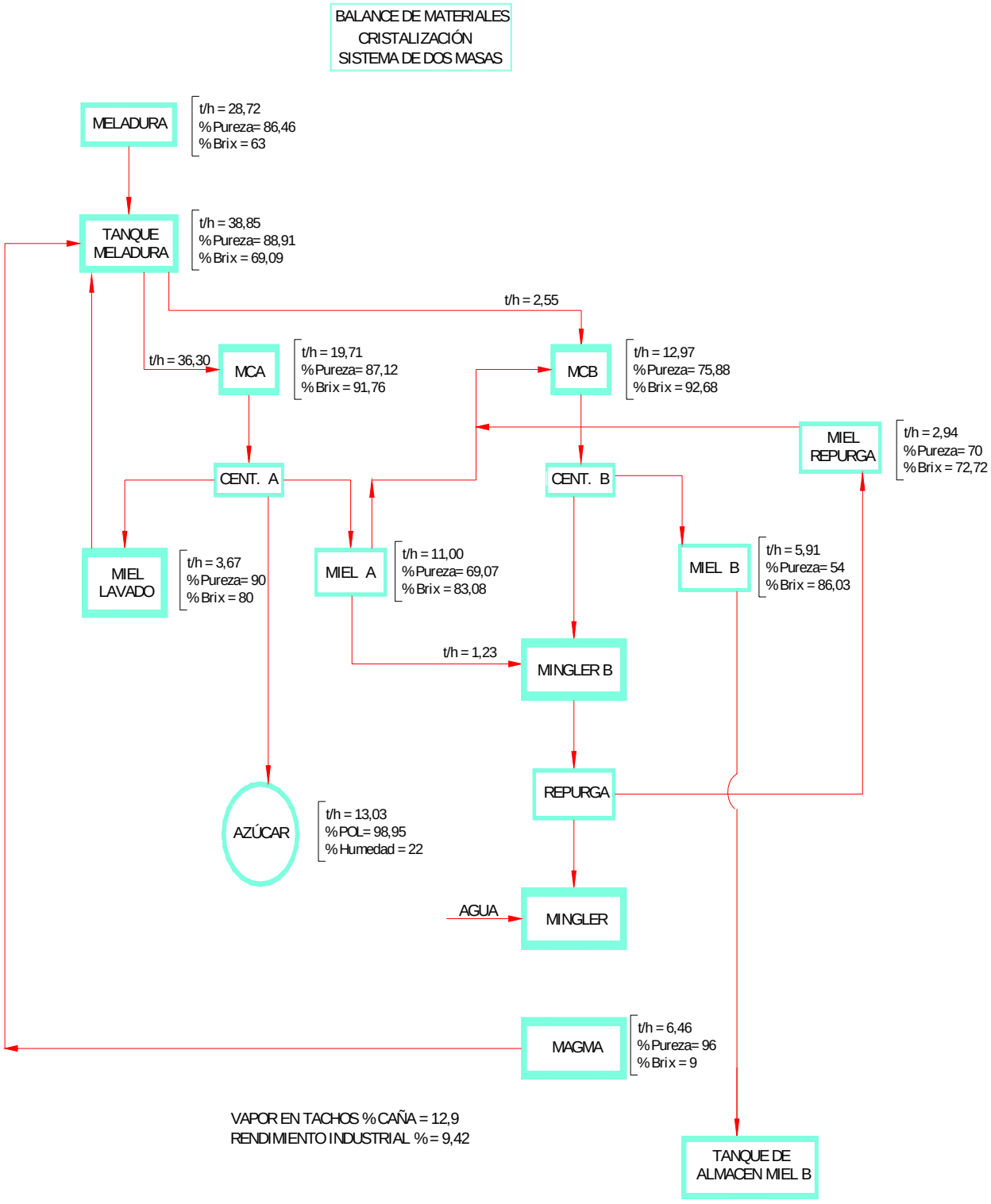


Vapor total generado % caña : 44.6
Generación de electricidad : 31 KW-h/tc
% Bagazo sobrante : 26.8

Nota : Los valores de los flujos son en t/h.

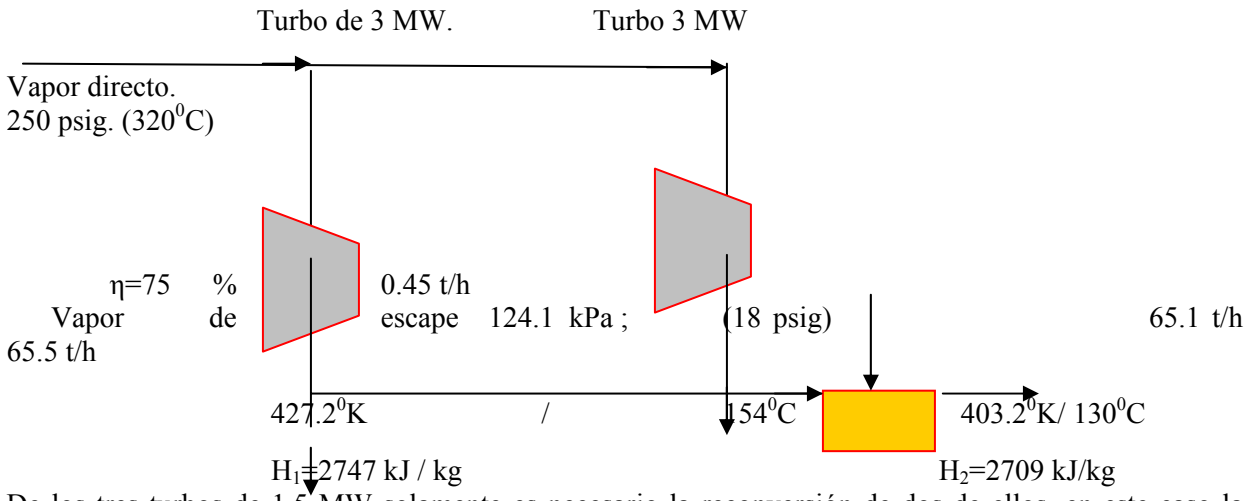
- Área de cristalización.

La figura No.7 muestra el sistema de cocción de dos masas con extracción de miel “B”.



El consumo de vapor de este sistema de cocción es de 18.57 t/h y se dejan de producir 71 t/d de azúcar base 96 (38.4 t/d debido a la extracción del jugo de los filtros y el resto 32.6 t/d por la extracción de la miel "B") lo que incide directamente en el valor de 9.42% del rendimiento industrial.

- Análisis de reconversión de turbos.



De los tres turbos de 1.5 MW solamente es necesario la reconversión de dos de ellos, en este caso la generación eléctrica de 31 KW-h/tc asciende a 41.6 KW-h/tc y se dejan de pasar por reductora 16.4 t/h para la situación actual y 26.5 t/h para el esquema cuando se realicen las extracciones de las corrientes.

- Conclusiones :

  1. Se establece una estrategia de operación en el área de C-E-C donde se minimiza el efecto de la disminución del consumo de vapor por las extracciones del jugo de los filtros y miel "B" logrando un equilibrio entre las plantas de fuerza y consumo sin afectación de la generación eléctrica.
  2 .Se dejan de producir 71 t/d de azúcar base 96.
  3. Se recomienda el cambio del generador eléctrico de solamente dos turbos alemanes de 1.5 Mw para duplicar su capacidad de generación, disminuyendo así el consumo de vapor por reductora e incrementar el índice de generación eléctrica.

- Bibliografía.

1.Curvas características de consumo de vapor contra carga para los distintos motores primarios. Folleto Minaz,1989.
2. Balance de Bagazo. Folleto Minaz,1989.
3.Steam Tables and Mollier Diagram.Keenam,J. Instituto Cubano del Libro, 1975.
4. Procesos de Transferencia de Calor.Kern,D. Instituto Cubano del Libro,1969.
5. Encuesta Diagnóstico Energético Empresas Azucareras. Minaz.2008.

ESTRATEGIA PARA LA APLICACIÓN DE MEDIDAS QUE INCREMENTEN EL APORTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA AL SEN

Yannery González Fundora; Héctor E. Pérez de Alejo V.; Francisco N. Polledo Zayas.

ICIDCA, yannery.gonzalez@icidca.edu.cu
MES, alejo@reduniv.edu.cu, alejo@quimica.cujae.edu.cu

RESUMEN

Contar con una estrategia para la aplicación de medidas, que evite el análisis y la toma de decisiones aisladas, es apremiante en la Fábrica de Azúcar "Héctor Molina", donde a pesar de las múltiples mejoras que se han venido haciendo, la falta de una infraestructura termoenergética adecuada y factible económicamente imposibilita el autoabastecimiento eléctrico y obtención de un excedente de electricidad para entregar al SEN.
Se analizan los principales problemas del bloque energético, siguiendo una estrategia de análisis para incrementar la entrega de electricidad al SEN, y unido a la Proyección Ministerial Energética TAR I y II, se obtienen tres grupos de medidas encaminados a garantizar la eficiencia y estabilidad en el área de generación de vapor, incrementar la generación eléctrica eficientemente y una vez lograda las dos anteriores, disminuir la demanda eléctrica de la fábrica.
Para garantizar la mejor factibilidad económica, se establece un orden de implementación, que permite alcanzar el autoabastecimiento eléctrico de la fábrica y entregar electricidad a la red, recuperándose la inversión en un periodo de 2 años.

Palabras Claves: Ahorro, Energía Eléctrica, SEN, Estrategia.

ABSTRACT

To have a strategy for the application of measures that avoids the analysis and the taking of isolated decisions, is urgent in the Factory of Sugar "Hector Molina", where in spite of the multiple improvements that one has come making, the lack of an appropriate thermal-energetic and economically feasible infrastructure disables the generation of electricity for its own use and supply electricity current to the grid.
The main problems of the energy block are analyzed, following an analysis strategy to increase the electricity delivery to ENS, and together to the Ministerial Energy Projection TAR I and II, three groups of measures are obtained guided to guarantee the efficiency and stability in the area of steam generation, to increase the electric generation efficiently and once achieved both previous, to reduce energy consumption of the factory.
To guarantee the best feasibility economic, an implementation order is settles down that allows the generation of electricity for the own use of the factory and supply electric current to the grid, recovering the investment in a 2 year-old period.

Key Words: Savings, Electric power, ENS, Strategy. Supplied

INTRODUCCIÓN

La actual situación mundial de contingencia energética se debe a tres causas fundamentales: el agotamiento de los combustibles tradicionales, el gran despilfarro de energía en los países desarrollados, y la necesidad del mejoramiento y conservación del medio ambiente. Cuba no esta exenta de estos problemas, aunque se manifiestan en menor cuantía y existe una voluntad política de transformar la situación mediante una estrategia encaminada a lograr un uso más eficiente de la energía [PAEC 2003].

Por estas razones en la actualidad se ha despertado un gran interés sobre el uso eficiente de la energía y esto se hace especialmente apremiante en la Industria Azucarera Cubana, por la necesidad de la diversificación del sector y su reestructuración organizacional; han venido adoptando estrategias con el objetivo de lograr el autoabastecimiento eléctrico en el sector, mediante el incremento sostenido en la entrega de energía eléctrica al SEN, haciendo la actividad azucarera más competitiva [MINAZ 1995].

Dentro de las acciones tomadas por la dirección del MINAZ se destacan, a corto plazo, la reubicación del equipamiento disponible por la paralización de fábricas de azúcar como parte de las Tareas Álvaro Reynoso I y II [MINAZ 2002] [MINAZ 2005].

En este contexto se desarrolla el presente trabajo en el ingenio de la Empresa Azucarera "Héctor Molina Riaño", donde la **Situación Problémica** fundamental, que afecta la eficiencia energética industrial y disminuye la competitividad de la fábrica de azúcar se resume en:

- La producción cañera del complejo se ha caracterizado por una disminución sostenida en cantidad y calidad.
- No existe un balance favorable de la relación entrega – consumo de electricidad con el SEN.
- Falta de una infraestructura termoenergética adecuada y fiable.

Definiéndose como **Problema Científico**, la falta de una infraestructura energética adecuada y fiable no permite alcanzar una mayor eficiencia energética industrial, disminuyendo la competitividad de la Empresa [Polledo 03].

Se trazó como **Hipótesis,** que si se establece mediante técnicas modernas de cálculo y análisis de procesos, una estrategia para la aplicación de medidas necesarias, que permitan obtener una infraestructura termo - energética adecuada y fiable, es posible alcanzar una mayor eficiencia energética industrial y aumentar la competitividad.

Siendo el **objetivo general** del presente trabajo*: "Proponer medidas y estrategia de implementación, que permitan alcanzar un mejor desempeño energético de la Fábrica, mediante el uso de la simulación y técnicas de análisis de procesos que propicien un aumento de la competitividad de la empresa.*

Para dar cumplimiento a este objetivo se desarrollaron los siguientes **objetivos específicos:**

1. *Caracterizar el desempeño de la actividad energética de la Fábrica de Azúcar en años anteriores y evaluación de la situación actual, determinación de los problemas principales.*

2. Proponer medidas y estrategia de aplicación que aseguren la estabilidad en la entrega de energía eléctrica adicional a la que usa el ingenio.

3. Evaluar técnica y económicamente la aplicación de las medidas; dejando establecido un método para lograr una inversión adecuada.

MATERIALES Y METODOS

1. Caracterización del desempeño energético de la fábrica de azúcar.

1.1. Acciones ejecutadas en el bloque energético.

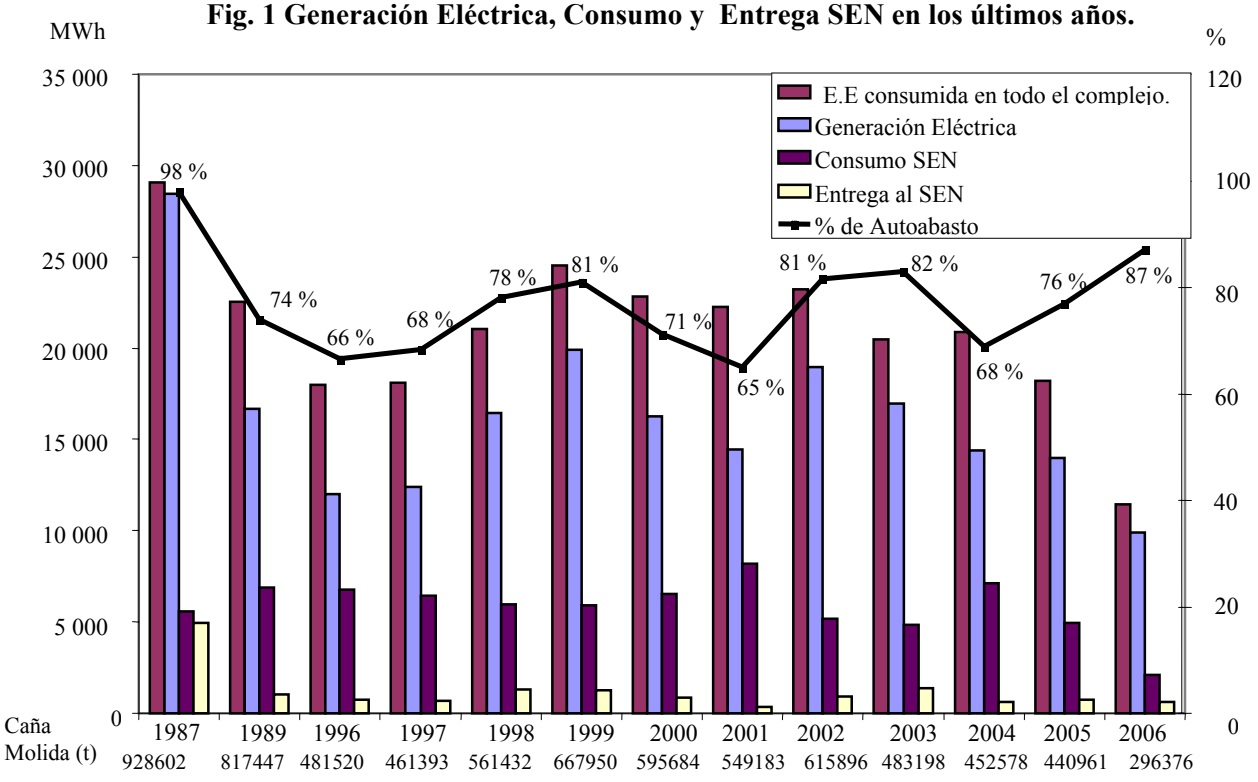
- La fábrica de azúcar "Héctor Molina" contaba en su base energética con un bloque de ocho generadores de vapor (GV) BKM Alemanas de 25 t/h de baja eficiencia; por lo que a partir de 1996 se inicia en el ingenio una etapa de profundas mejoras en el sistema termoenergético, entre las que se destacan: remodelación de tres generadores de vapor a Retal, la implementación del sistema supervisorio, modificaciones en la casa de bagazo, estrategia de operación del bloque energético GV–Turbo, implementación lazo de control automático de la combustión, transformación de un tacho de azúcar a tacho condensador y magnetización del agua alimentar a los GV.

Estas acciones han sido soluciones eficaces, pero no eficientes, puesto que todavía su disponibilidad operacional se encuentra por debajo de lo que hoy necesita la fábrica, lo que puede estar relacionado por no contar con una estrategia para la aplicación de las diferentes medidas, que sea consecuente con las necesidades reales del sistema, así como su control y mejoramiento que evite los errores principales que se cometen: se atacan los efectos y no las causas de los problemas; los esfuerzos son aislados; no hay mejoras en todo el sistema; no se detectan, ni cuantifican adecuadamente los potenciales de ahorro; se consideran las soluciones como definitivas [Polledo 2000].

1.2. Resumen del desempeño energético eléctrico.

Las acciones mencionadas no posibilitaron el desempeño energético esperado por la máxima dirección del país, o sea, el balance eléctrico anual de la empresa; esto se corrobora a continuación (Fig. 1) [Peréz-J 2006].

Fig. 1 Generación Eléctrica, Consumo y Entrega SEN en los últimos años.



Los datos representados en la Fig.1 se corresponden con los mejores años de la década de los 80, etapa caracterizada por alta productividad cañera, y el inicio de la ya mencionada reconversión y/o montaje de GV concluidos en el 2000, correspondiente con un escenario de bajas producciones cañeras.

$\Rightarrow$ En el año 1987 existe el mayor consumo de energía eléctrica del complejo 29 055,7 MW, para la cual se logró un autoabasto de 98 %, posibilitado por la elevada disponibilidad cañera de los años 80.

$\Rightarrow$ El índice de generación eléctrica no se mantiene estable durante todos los años, a partir de 1997 aumenta, debido a la entrada en funcionamiento del primer GV Retal de 45 ton/h y demás acciones mencionadas anteriormente, obteniéndose en algunos casos valores por encima de 30 $kWh/t_{caña}$ y en otros casos una disminución aproximada de 26 $KWh/t_{caña}$, producto de la baja disponibilidad operacional de los turbogeneradores, específicamente en el 2001, cuando sale de servicio el turbogenerador 5, el cual representa el 34.8 % de la generación nominal de la planta, además de problemas presentados con la retroalimentación de bagazo.

$\Rightarrow$ La generación eléctrica de la fábrica de azúcar solo ha alcanzado para cubrir aproximadamente entre 60 y 80% de la demanda de energía eléctrica anual del complejo[1].

$\Rightarrow$ La energía comprada al SEN hasta el 2005 está en el orden de los 4 000 a 7 000 MWh en casi todos los años, que equivale a costos entre $ 450 000 y $ 650 000 aproximadamente, mas de 8.00 $/t de azúcar por concepto de electricidad comprada [Milián 2006].

1.3. Descripción del Sistema Termoenergético Actual. [Polledo 2000], [González 2004]

El CAI Héctor Molina Riaño es un central de azúcar crudo, con una capacidad de molida potencial de 6900 t/d que le permiten producir alrededor de 780 t de azúcar, utilizando el sistema de cocción de tres masas cocidas con Doble Semilla. Es un ingenio totalmente electrificado donde la mayor demanda de energía eléctrica se concentra en el área de Basculador y Molinos, la cual esta formada por dos juegos de cuchillas y una batería de molienda (1molino desmenuzador y 6 molinos de cuatro mazas, todos con tolva donnelly).

La planta de generación de vapor está formada por tres generadores de vapor (GV), dos de 60 t/h (No. 1 y 2) y otro de 45 t/h (No. 3). Para una capacidad nominal instalada de 0.57 t vapor/ t de caña. Todos los GV han sido diseñados para trabajar a 19 Kg/cm^2 y 320^oC, aunque por diversos motivos relacionados con la operación de los turbogeneradores, solo uno de ellos, el No. 3 puede trabajar a sus parámetros de diseño. La eficiencia térmica bruta promedio de estos GV es de aproximadamente 78%. La operación en la zona de generación de potencia se realiza en bloque. La temperatura de vapor de escape de los turbogeneradores es alta, debido a que todos los turbos trabajan por encima de sus parámetros iniciales de diseño, con el objetivo de reducir su consumo especifico de vapor. La planta tiene un transformador de enlace con el SEN de 6 MW de capacidad. La demanda eléctrica promedio de la fábrica oscila entre 9.2 y 9.5 MW en zafra [Peréz-J 2006], si se alcanzar la generación nominal de los turbogeneradores es posible entregar a la red nacional un total de 2 MW, para suplir la demanda de 400 kW en no zafra.

Todos los turbogeneradores escapan a la línea de 2.43 $Kg./cm^2$ que es el vapor de escape a Casa de Calderas; a este nivel de presión consumen los dos preevaporadores, los primeros vasos de los dos cuádruples efectos en operación y el calentador de jugo claro, también a este nivel de presión se encuentra la válvula reductora, se le entrega vapor a la Destilería anexa a la industria, y se encuentra instalado un tacho condensador el cual permite absorber parte del sobrante de vapor. El sistema de recuperación de condensados es abierto a la atmósfera, ocasionando pérdidas de los condensados no contaminado por flasheo y el agua de alimentar a los GV alcanza una temperatura máxima de 95 ºC. Se cuenta además con una planta de tratamiento de agua con capacidad de 80 m^3/h.

[1] Complejo: significa toda la empresa, es decir, comprende la Fábrica de Azúcar, la Destilería, los 14 centros de acopio diseminados en los tres municipios de donde se tributa caña, y el batey aledaño al ingenio.

1.4. Principales problemas del bloque energético. [Pérez 1998], [Polledo 2004]

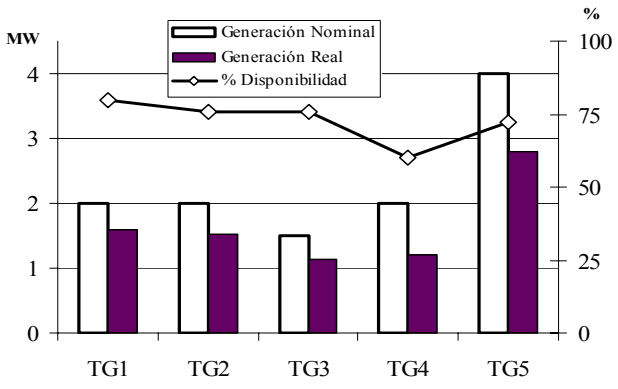
⇒ **Casa de bagazo parcialmente mecanizada,** de 900 ton de capacidad, posee una mesa alimentadora de bagazo[2] con capacidad de almacenaje para 20 minutos de operación a la generación nominal de vapor. La efectividad de la operación en la retroalimentación[3] de bagazo es baja ya que depende de la experiencia y habilidad de los operadores de la mesa alimentadora, y del estado técnico del cargador frontal, que son los encargados de abastecer el conductor retroalimentador. La inestabilidad en el reclamo de bagazo trae como consecuencia, vacíos en el rastrillo alimentador No.3, esto a su vez ocasiona, caída de los parámetros de generación de los GV, desequilibrio en la generación eléctrica (consumo del SEN) y la presencia de fogonazos en el GV (una vez restablecida la alimentación de bagazo), es decir, la operación se vuelve inestable, ocasionando daños en la obra refractaria del GV y daños físicos a los operadores. Por esta causa al GV 2 se le tuvo que cambiar el techo del horno y reconstruirle el diafragma en reparaciones anteriores.

⇒ **Es necesario generar vapor a tres niveles de presiones, y dos de ellas por debajo de las presiones nominales de operación de los GV**, esto es debido a la no coincidencia de los parámetros nominales de generación de vapor con los de entrada de los turbogeneradores. El GV 3 es el único que opera a sus parámetros nominales.

⇒ **Equipamiento incompleto en la instrumentación de los GV**, En 1997, se realizó la inversión del Sistema Supervisorio y Control encargado del monitoreo, registro y control de la operación del bloque energético y de los GV Retal. Se implementaron los lazos de control de la combustión (aire - combustible), de vacío en el horno, y del nivel de agua en el domo superior; trabajando en régimen totalmente automático, permitiendo realizar ajustes en la operación hasta obtener una explotación eficiente de los GV. Actualmente de los tres lazos de control, solo se encuentra funcionando y trabajando de manera excelente el de nivel de agua en el domo superior, mientras los lazos de control automáticos de vacío en el horno y de control de la combustión se operan manualmente, repercutiendo negativamente en la explotación de los GV.

⇒ **Baja disponibilidad técnica de los turbogeneradores.** Esto se debe fundamentalmente al elevado costo de piezas de repuesto necesarias para acometer una buena reparación capital, así como su operación a parámetros diferentes a los de diseño, además de los años y régimen inestable de explotación a los que se han operado estas máquinas. Resulta evidente comprender que las condiciones en las cuales se encuentran trabajando no son las mejores, impidiendo el mejor aprovechamiento de sus capacidades instaladas y eficiencia en la operación.

Fig. 2 % de Disponibilidad de turbogeneradores.



En fig. 2 se representa el % de disponibilidad de los turbogeneradores, estimado a partir de un estudio del comportamiento de los mismos por turnos de 8 horas para molidas superiores al 85 % de la norma potencial, durante las zafras 2005-2006. Donde se observo que la baja disponibilidad de los turbogeneradores (73 %) está sujeta, además de la obsolescencia y las condiciones de operación, también al déficit en la retroalimentación de bagazo. En el caso del turbogenerador 5 (de 4 MW), con la operación en bloque, el GV que suministra el vapor a este turbo, es el último en la alimentación de bagazo, dificultando su máxima generación eléctrica.

⇒ **Elevado consumo específico de vapor de los turbogeneradores,** provoca que la necesidad de vapor para lograr la generación nominal en planta eléctrica sea superior al consumo de vapor en proceso, siendo

[2] Consiste en una estera recibidora de centro de acopio modificada para manipular bagazo.
[3] Según el Manual de operaciones de Planta de Vapor, la retroalimentación debe estar entre un 15 y un 20 %

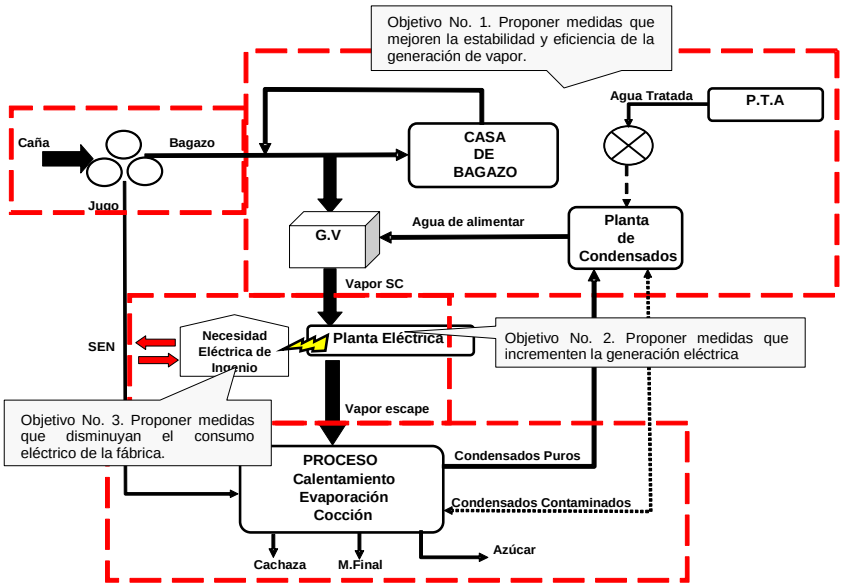
necesario enviar el excedente a un condensador (tacho condensador) con el objetivo de recuperar parte de los condensados puros. Esto además implica perdidas de energía térmica y un consumo innecesario de bagazo.

2. Medidas para el incremento del aporte de energía eléctrica al SEN.

2.1. Estrategia de análisis para la toma de medidas.

Unido a la Proyección Ministerial Energética de la TAR II [MINAZ 2005], los principales problemas descritos del bloque energético y las consultas realizadas al personal técnico y de operación de la fábrica, permitieron identificar donde se hace necesario introducir mejoras, siendo consecuente con el funcionamiento del bloque energético y evitando el análisis de manera aislada [Gozá 1996]. Resultando como estrategia de análisis para la toma de medidas el siguiente esquema:

Fig. 3. Estrategia de análisis para la toma de medidas encaminadas a incrementar el aporte de energía eléctrica al SEN.



Según la Fig. 3, las medidas quedan distribuidas en los siguientes grupos:

Primer Grupo: Medidas para el incremento de la estabilidad y la eficiencia de la generación de vapor.

Segundo Grupo: Medidas para el Incremento de la generación eléctrica.

Tercer Grupo: Medidas para la reducción del consumo de electricidad en la fábrica.

2.2. Descripción y análisis de las medidas.

2.2.1. Medidas para el incremento de la estabilidad y la eficiencia en la generación de vapor.

Una generación de vapor inestable e ineficiente provoca afectaciones en el proceso, aumenta el tiempo de retención; la fábrica se desbalancea energéticamente; aumenta el consumo de combustible y no garantiza la máxima generación eléctrica, y por tanto se necesita consumir energía eléctrica del SEN.

⇒ Casa de bagazo mecanizada.

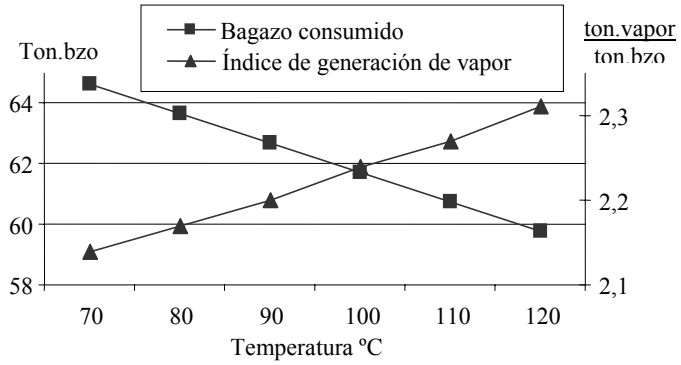
La Casa de Bagazo actual no garantiza la estabilidad en la retroalimentación de bagazo a los generadores de vapor, impidiendo un trabajo seguro del mismo. Esta medida permitirá:

- Garantizar la estabilidad de la fábrica cuando se interrumpa la operación en el tandem, o exista una baja molida.
- Que el bloque energético mantenga los parámetros de operación, la electricidad se genere establemente, y se entregue un excedente al SEN.
- Disminuir las interrupciones operativas por baja presión de vapor.
- Aumentar el tiempo de vida útil de los GV.

- Disminuir los costos de mantenimiento de los GV

⇒ **Presurización del sistemas de recuperación de condensados.** [Polledo 2000]
El sistema de recolección de condensados actual es abierto a la atmósfera, teniendo una pérdida por flasheo del 5 % y una temperatura máxima alcanzable durante la operación de 95 ºC. Con este proyecto[4] se trabajará a 120 ºC a la entrada del economizador, mejorando el índice de generación de vapor e incrementando el sobrante de bagazo.

Fig. 4 Variación del índice de generación y el consumo de bagazo, al incrementar la temperatura del AA.



En la Fig. 4, determinada a partir de la simulación con Termoazúcar, se observa la incidencia de la temperatura del agua de alimentar en el consumo de bagazo, se ahorra casi 1 t de bagazo por cada 10 ºC. Incrementar la temperatura desde 95 ºC hasta 120 ºC representa **2.42 t/h** más de bagazo sobrante**.**

⇒ **Completamiento del equipamiento de instrumentación de los GV.**
Para restablecer completamente la operación automática de los lazos de control de los GV, es preciso la compra de tres variadores de frecuencia de 22 KW, uno por generador, que permitirán el control automático de la combustión, este lazo regula la alimentación del combustible (velocidad del tambor dosificador) en función de la demanda de vapor (presión en el colector) y el suministro de aire primario en función del bagazo necesario. Es necesario también otro variador de 22 KW para regular la velocidad de la mesa alimentadora de bagazo.

2.2.2. Medida para el Incremento de la generación eléctrica.

⇒ **Instalación de dos turbogeneradores soviéticos de 4 MW.**
Con el fin de mejorar el desempeño del bloque energético la dirección técnica de la fábrica de azúcar, en coordinación con el Programa Ministerial de reubicación de los turbogeneradores que quedaron en los centrales desactivados, como parte de la Tarea Álvaro Reynoso I [MINAZ 2002], decidieron la instalación de una planta eléctrica nueva, formada por dos turbogeneradores soviéticos de 4 MW y la reubicación del turbogenerador inglés Allen de igual potencia que se encuentra en operación actualmente, quedando fuera de explotación los turbogeneradores 1, 2, 3 y 4. Esta medida permite incrementar hasta 12 MW la capacidad de generación nominal de la planta y entregar al SEN un excedente de 2.5 MW. Además, todos los GV generaran a un mismo cabezal y a sus parámetros de diseño, 19 kg/cm^2 y 320 ºC. En la tabla I se comparan los principales resultados obtenidos de la simulación [Pérez 1989 y otros], [Pérez 1995 y otros], [Gozá 2004 y otros], [Santos y otros 1995] del caso actual y la variante, destacándose las siguientes ventajas:
- Se compacta la planta eléctrica.
- Incrementa hasta 41.74 kWh/tonc el índice de generación eléctrica.
- Disminuye el consumo específico de vapor en 3.17 kg/kWh menos, para generar la potencia nominal.

[4] El proyecto fue entregado por el IPROYAZ a la Administración de la Fábrica en noviembre del 2004.

- Incrementa el % de bagazo sobrante en 7.85 t/h más que el caso actual.
- Se alcanzar el equilibrio entre la necesidad de vapor para generar la electricidad nominal y el vapor de escape que demanda el proceso, eliminándose el sobrante de vapor al tacho condensador.

Tabla I. Principales resultados obtenidos y comparación con el caso actual.

Índices Globales	Caso Actual	Variante	Rango
Bagazo consumido (t/h)	70,06	62,61	-
Bagazo sobrante (t/h)	11,97	19,82	-
% Bagazo sobrante (%)	14.60	24.16	15 – 30
Cons. de vapor en fábrica % en caña (%)	53.96	48.03	35 – 48
Sobrante de vapor de escape (t/h)	23.56	0.00	0
% Vapor por reductora a escape (%)	0.00	4.48	0 – 5
Producción eléctrica de la fábrica (kWh/t de caña)	**29.20**[5]	**41.74**	>33.04(DE)
Generación de Vapor			
% Consumo de la generación nominal de vapor	94	84	> 75
Índice de generación (tv/tb)	2.21	2.22	2 – 2.7
Planta Eléctrica			
Potencia eléctrica nominal generada (MW)	11.5	12	-
Consumo especifico de vapor (kg/kWh)	14.01	10.84	5.2 –12.5

2.2.3. Medidas para la reducción del consumo eléctrico en la fábrica.

Los valores nominales de entrega al SEN planteados hasta el momento, son los mínimos posibles, puesto que la fábrica posee reservas de ahorro eléctrico. Apoyándonos en las recomendaciones planteadas en el documento del Programa Energético de la TAR II [MINAZ 2005] y teniendo en cuenta las áreas y problemas de mayor consumo eléctrico del ingenio, se proponen las siguientes medidas:

⇒ **Modificación a condensadores**. Los instalados actualmente en la fábrica, son del tipo Meca 600, por su diseño deben operar con un consumo específico entre 50 a 52 lb_{agua}/lb_{vapor}[6], pero las malas condiciones del equipamiento de inyección elevan el consumo de agua para estos equipos.

Actualmente, para la operación del sistema de inyección en el manejo de agua a condensadores, se utilizan tres bombas, dos de 10 000 gpm y una de 8 000 gpm, para condensar 179 067 lb/h de vapor (simulación con el Termoazúcar) y esto equivale a un consumo especifico de 78,18 lb_{agua}/lb_{vapor}, es decir, un sobre manejo de 26 lb_{agua}/lb_{vapor}. Lo anterior implica un excedente de 9 311,48 gpm de agua que puede ser determinante para prescindir de una bomba. Este exceso no es solamente inducido por el mal estado de los condensadores, sino también por la elevada temperatura de las aguas de inyección proveniente del enfriadero.

Con la modificación a condensadores más eficientes se lograría disminuir el consumo específico de agua de inyección en 10 unidades[7] (68.18 lb_{agua}/lb_{vapor}), requiriéndose 24 416,79 gpm de agua, no determinándose aún la operación con dos bombas de inyección.

⇒ **Remodelación del enfriadero**. Existe una demanda de 560 kWh en el sistema de inyección y rechazo solamente por el manejo de agua a condensadores, que aun después de su remodelación persiste un elevado consumo específico de agua de inyección, inducido principalmente por la baja eficiencia de los enfriaderos.

[5] La producción eléctrica actual esta en base a la real según el % de disponibilidad de los turbos, explicado anteriormente.

[6] Datos obtenidos según, mejoras del equipamiento del proceso tecnológico, Tomo III, junio del 2001.

[7] Datos obtenidos para condensadores 8 PM, según mejoras del equipamiento del proceso tecnológico, Tomo III, junio del 2001.

Para situaciones climáticas promedio de los meses de Marzo-Abril en horario de 11:00 AM a 3:00 PM, la eficiencia del enfriadero resultó de 36.8 %, con temperatura de bulbo seco de 29,25 ºC, 22,8 ºC de bulbo húmedo y 58 % humedad relativa; al tomar como 50 ºC el agua de rechazo y visualizar 40 ºC en la tubería de agua de inyección.

Introduciendo algunas mejoras en el enfriadero, como: aumentar el tiempo de residencia del agua, utilización de ramilletes con 4 brazos, disponer de un sistema de doble rejilla en la succión del enfriadero para que pueda ser limpiada y evitar la deposición de materias extrañas que puedan obstruir los atomizadores, entre otras, es posible obtener un 60 % de eficiencia que se corresponde con 34 ºC en el agua de inyección. En estas condiciones el consumo específico de agua será 42,61 lb_{agua}/lb_{vapor}, que equivale a un volumen de agua de inyección de 15 259,60 gpm, esta cantidad de agua es manejada por dos bombas.

La aplicación conjunta de modificación a condensadores más eficientes y el incremento de la eficiencia en el enfriadero, implican un ahorro de **200 kW.**

⇒ **Adquisición de un motor de 250 kW,** para ser acoplado al sistema de alimentación de agua a los generadores de vapor. En la actualidad para garantizar la alimentación de agua a los GV, es necesario el funcionamiento de dos bombas accionadas por motores de 185 kW. Desde hace un año se cuenta con una bomba de 170 m^3/h a 28 kgf/cm^2, la cual ya ha sido situada en el bloque de alimentar, pero requiere del motor de 250 kW y su compensador de arranque para su funcionamiento. De esta forma se eliminarían dos motores de 185 kW, representando un ahorro de **96 kW** de demanda eléctrica.

⇒ **Instalación de variadores de frecuencia en los ventiladores de los GV.** Actualmente la regulación del caudal de aire primario y el caudal de gases de la combustión, se realiza por medio de compuertas con dampers situadas a la succión de los ventiladores. Esta regulación realmente es efectiva, pero no eficiente, ya que no actúa sobre las rpm del impelente del ventilador. De esta forma se logra una disminución del 30 %[MINAZ 2005] de la demanda eléctrica en esta área (1.16 MW), lo que representa un ahorro estimado en **348 kW**.

⇒ **Reinstalación de variadores de velocidad en la estera de caña 1 y 2.** En esta área existen motores sobredimensionados que operan de manera discontinua, provocando elevados picos de consumo eléctrico; con la instalación de dos variadores de velocidad de 75 kW, se disminuyen estos picos y se estabiliza un flujo constante en la entrega de caña a las cuchillas, y posteriormente al área de molinos. La disminución de potencia estimada es de **80 kW** [MINAZ 2005].

Instalación de bancos de capacitores. Se propone instalar dos bancos capacitores de 1500 kVAR uno de 6300 kV y otro de 480 kV con el objetivo de mejorar el factor de potencia (FP) que en la pasada zafra fue de 0,71[Peréz-J 206] debido a averías en los bancos que estaban instalados, obteniéndose una corriente reactiva de 1068.250 MVARh. El FP debe encontrarse por encima de 0.9 para disminuir el consumo de potencia reactiva y hacer más eficiente los motores eléctricos, además de balancear la potencia reactiva con respecto al SEN Corrientes reactivas superiores a 550.7 MVARh, obtenida con un factor de potencia menor, es penalizado por una multa de 225 $/MVARh (que en la pasada zafra representó **$ 116 448.75**). El ahorro estimado (programa energético TAR II) es de **10.79 kW**.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. Valoración económica del estimado de producción eléctrica y reducción del consumo eléctrico.

Base de cálculo asumida.

- Molida: 6900 $t_{caña}$/ día ⟶ 287,5 $t_{caña}$/h
- Días efectivos de zafra: 75 días [MINAZ 2005]
- Precio del bagazo a granel: 16,5 $ / t.
- Precio de la electricidad: 0,036 $ / kWh.
- Costo de la electricidad[8]: 0,09 $ / kWh.

Para obtener el bagazo sobrante posible a vender, se estimó 1h diaria para cubrir cualquier imprevisto, manteniendo la generación de vapor total.

3.1.1. Ahorro estimado con las medidas para el incremento de la generación eléctrica.

Para calcular el ahorro estimado de la variante es utilizada la demanda eléctrica actual de la fábrica en zafra, sin tener en cuenta la disminución del consumo eléctrico al implementar el grupo de medidas propuestas para tal fin.

Demanda eléctrica anual (DE):

$$DE(MW/año) = 9.5MW \times 24\frac{h}{días} \times 75\frac{días}{zafra} \times 1\frac{zafra}{año} = 17100 \qquad (1)$$

En la tabla II se comparan los resultados económicos con respecto al caso actual.

Tabla II. Resumen del ahorro estimado con la implementación de la medida para incrementar la GE.

Casos	GE (MW/año)	Elect. SEN (MW/año)		Monto Elect. ($/año)		% Bzo en Venta[9]	Monto Bzo ($/año)		Ingresos Totales ($/año)
		Entrega	Consumo	Ingresos	Egresos		Ingresos	Egresos	
C.A	15 111	-	1 989[10]	-	179 010	75	266 706	-	**87 696**
V	21 600[11]	4 500	-	162 000	-	86	506 088	-	**668 088**

3.1.2. Ahorro estimado de las medidas para el incremento de la estabilidad y la eficiencia de la generación de vapor.

⇒ **Remodelación de la casa de bagazo a tipo ingenio nuevo y completamiento de la Instrumentación de control en los GV.**

Estas medidas son de apoyo para garantizar el máximo aporte de generación eléctrica, sin la implementación de ellas, se estima un 85 % de aprovechamiento de la potencia nominal instalada en planta eléctrica. La electricidad e ingresos que se dejaría de generar en los turbogeneradores sería:

12 MW *(1- 0,85) = 1,80 MW (**3 240** MWh/zafra) ⟶ **116 640.00 $ / año**

---

[8] Los datos del precio y el costo de la electricidad se obtuvieron de las fichas de costo en la Subdirección Económica de la Empresa [Milián 2006]. Su valor es el resultado de un promedio ponderado que tiene en cuenta los diferentes horarios.

[9] Obtenidos de la tabla I, para un tiempo perdido estimado de 1h.

[10] Producto a la baja la baja disponibilidad operacional de los turbos (73%), que implica comprar electricidad al SEN.

[11] Se garantiza el 100% de la PNI con las nuevas variantes, a partir de la estabilidad en la generación de vapor.

⇒ **Presurización del sistema de recuperación de condensados.**
Incide significativamente en el aumento del índice de generación de vapor, con incrementos de **2.42 t/h** (5 324 lb/h) en el bagazo sobrante, 4 356 t de bagazo en zafra que representa: **58 806.00 $/año.**

3.1.3. Ahorro estimado de las medidas para la reducción del consumo de electricidad en la fábrica.

Tabla III. Resumen del efecto económico de las medidas para la reducción del CE.

Medidas	Ahorro Estimado		Ingresos ($/año)
	kWh	MWh/año	
Remodelación de enfriadero y condensadores	200	360	12 960
Adquisición motor de 250 KW para sistema de AA a los GV	96	173	6 221
Instalación de variadores de frecuencia en ventiladores de los GV	348	626,4	22 550
Reinstalación de variadores de velocidad en esteras de caña 1 y 2	80	144	5 184
Instalación de dos bancos de capacitores	10,79[12]	19,42	699,19
Ahorro Total	**734,79**	**1 322,82**	**47 614,19**

4. Análisis de la factibilidad económica de la implementación del grupo de medidas.

Se utilizó un gran número de información: resultados obtenidos de la simulación, costos de adquisición y montaje[13], efecto económico de las medidas (epígrafe 3), proyección cañera[14], etc. Toda esta información se introdujo en una hoja de cálculo de Excel [Gozá 2005], [Pérez-O 2003], adaptada para determinar el VAN, TIR, PRC y PRCD para diferentes períodos o grupos de implementación de las medidas. Se consideró una vida útil de 5 años y una tasa de interés del 12 %. El monto total de inversión es: **$ 1 796 620.**
Debido al elevado costo de las medidas, la complejidad en el montaje y la situación actual caracterizada por la baja producción cañera, sería muy difícil e ilógico la aplicación de todas en el mismo período de reparaciones de la fábrica; basado en esto se creó la siguiente estrategia de implementación para diferentes etapas favoreciendo los resultados económicos (tabla IV).

Tabla IV. Estrategia de implementación de las medidas.

Grupos	Descripción de las medidas a implementar	Etapas				
		0	1	2	3	4
I	Remodelación Casa de bagazo.		■			
	Sistema Presurización de condensados.			■		
	4 Variadores de frecuencia (Alimentadores) (22kW)		■			
II	Montaje de 2 Turbos de 4MW.	■				
III	Remodelación del enfriadero y condensadores.			■		
	2 Variadores de velocidad. (75kW)				■	
	Variadores de frecuencia para ventiladores del GV.			■		
	2 Bancos de capacitores uno de 6300 kV y de 480 kV.				■	
	Motor de 250 kW , 1750 rpm con su arranque.					■

En la tabla IV se observa como prioridad de implementación, el montaje de los turbogeneradores, producto a su bajo % de disponibilidad, además se tuvo en cuenta el estado actual de inversión de los dos

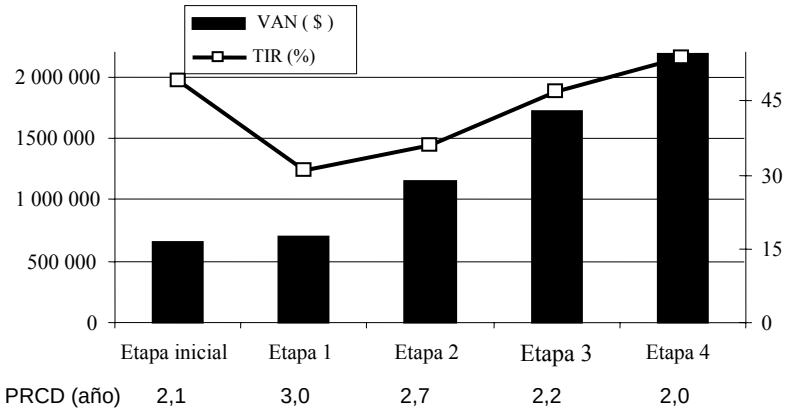
[12] Se lleva el factor de potencia hasta 0.92 y se elimina el costo de la multa.

[13] Los costos de adquisición y montaje fueron obtenidos de estudios realizados en la empresa, proyectos del ICINAZ y documentos del Programa Energético TAR II.

[14] Los datos de disponibilidad de caña por años fueron obtenidos de la estrategia de recuperación cañera trazada por la Dirección Agrícola de la empresa de conjunto con los institutos de investigación y proyectos del MINAZ.

turbogeneradores soviéticos[15]. Posteriormente se proyectan las medidas de apoyo a la generación eléctrica, garantizando la estabilidad en la retroalimentación de bagazo y la eficiencia en la generación de vapor, para obtener el máximo de electricidad. Con estos dos objetivos garantizados se puede aplicar las medidas orientadas a la disminución del consumo eléctrico teniendo en cuenta el costo de inversión de cada una y la mejor contribución al análisis económico. De esta forma en la etapa 4, quedan implementadas la totalidad de las inversiones propuestas.

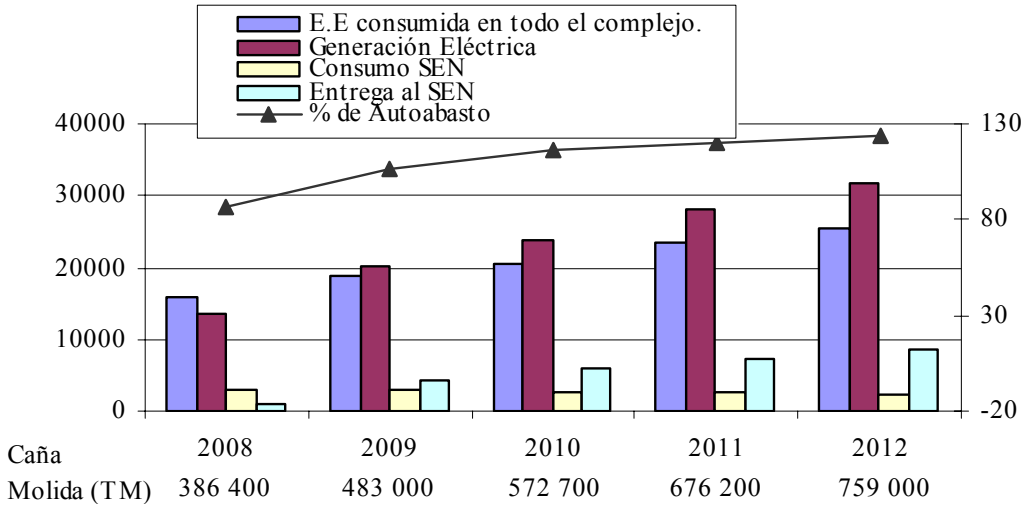
Fig. 5. Resultado de la evaluación económica.



En la Fig, 5 se manifiestan incrementos en la efectividad económica de las inversiones simultáneamente con la ejecución de las medidas y el aumento de los días de zafras, teniendo en cuenta la proyección cañera de la empresa. Si se ejecutan las medidas según la propuesta establecida, la inversión se recuperaría (PRCD) en un periodo de dos años, con un Valor Actual Neto de $ 2 179 845. y una Tasa Interna de Rendimiento de 54 %.

En la figura 7, se representa el comportamiento esperado de la generación eléctrica, consumo y entrega al SEN, con la ejecución del grupo de medidas. Se puede concluir que a partir de la implementación de la medida para el incremento de la GE en conjunto con las medidas de apoyo a esta, manteniendo la estabilidad en la GV (año 2009), se alcanza el autoabastecimiento de la empresa y la entrega sostenida de electricidad al SEN, incrementándose con la disminución de la demanda eléctrica en la fabrica.

Fig. 7 Comportamiento de la generación eléctrica, consumo y entrega al SEN, con la implementación del grupo de medidas para la proyección cañera 2007 – 2012.



[15] La obra civil se encuentra al 30 % (una base fundida y parte de las paredes)

CONCLUSIONES

1. Se cumplieron los objetivos que motivaron la realización de este trabajo.
2. Se comprobó que la toma de medidas aisladas en años anteriores, no posibilitó el balance favorable eléctrico anual de la empresa con el SEN.
3. Se definieron los puntos débiles ó problemas en las principales áreas energéticas de la fábrica, que sirvieron de base para el desarrollo de una estrategia para incrementar la entrega de energía al SEN y lograr la competitividad de la fábrica.
4. Se estableció un orden de implementación de medidas teniendo en cuenta la efectividad técnica y económica de las medidas propuestas.
5. Se Alcanza el autoabasto anual de la Empresa y la obtención de un excedente de electricidad para ser entregado al SEN con la ejecución del grupo de medidas.

RECOMENDACIONES

1. Ejecutar el Plan de Medidas propuesto, insertado en un Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía, que permita armonizar y jerarquizar las acciones a tomar.
2. Estudiar las posibilidades de aplicación de nuevas medidas para la disminución de la demanda eléctrica, aplicando la metodología de análisis propuesta.
3. Mantener el control y mejoramiento de las medidas implementadas.
4. Analizar la implementación de un turbo de extracción condensación, generando electricidad fuera de zafra con combustible alternativo (RAC, caña energética etc.).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

▪ [González 2004] González, Y.; "Evaluación del Sistema Termoenergético de un Central de Azúcar Crudo", Proyecto de la asignatura IP4, ISPJAE 2004.
▪ [Gozá 1996] Gozá, O.; "Estrategia de análisis para lograr un uso más eficiente de la energía en los centrales azucareros", Tesis de Doctorado Facultad de Ingeniería Química. Noviembre de 1996
▪ [Gozá 2004 y otros] Gozá, O.; Pérez de Alejo, H. E.; Frómeta Ortiz, J. ; Fardales Pérez, J. "Simulación orientada al análisis del uso de la energía en centrales azucareros". Facultad Ingeniería Química, ISPJAE, C. Habana, 2004.
▪ [Gozá 2005] Gozá, O. "Evaluación Económica Proyecto IP5". Hojas de Excel preparadas para cálculos de evaluación económica. Facultad Ingeniería Química, ISPJAE; Ciudad de la Habana; 2005.
▪ [Milián 2006] Milián D. E.; "Análisis Económico anual de la Empresa"; Comunicación personal; Central H.M 2006.
▪ [MINAZ 1995] MINAZ. Ed.; "Situación actual y proyección del programa de desarrollo de las fuentes nacionales de energía en la agroindustria azucarera. Ministerio del azúcar". La Habana. Octubre. 1995.
▪ [MINAZ 2002] MINAZ. Ed; "Programa Energético Tarea Alvaro Reinoso I". Ministerio del Azúcar. La Habana. 2002.
▪ [MINAZ 2005] MINAZ. Ed; "Programa Energético Tarea Alvaro Reinoso II". Ministerio del Azúcar. La Habana. 2005.
▪ [PAEC 2003] Programa de Ahorro Energético en Cuba. "La Energía eléctrica y su ahorro".Abril 2003.
▪ [Pérez 1989 y otros] Pérez de Alejo, H. E., Pretus, J., Leyva E., Gozá, O., Castellanos, J., Jiménez, O., Pérez, A., Marques, A. M., Tabeada, J.; "Sistema de Simulación de Centrales Azucareros TERMOAZUCAR". Manual de Usuario. Departamento de Información Científico Técnica, ISTC, 1989.
▪ [Pérez 1995 y otros] Pérez de Alejo, H. E.; Gozá, O; "Manual de Usuario del Programa Termoazúcar", Ciudad de la Habana, 1995.

▪ [Pérez 1998] Pérez de Alejo, H. E.; "Algunos Principios que Apoyan la Búsqueda Inicial de Problemas de Operación y Diseño y sus Soluciones Teniendo en Cuenta el Carácter Casuístico de estos en la Producción de Azúcar Crudo". Ciudad de la Habana, 1998.
▪ [Pérez-O 2003] Pérez, O.; "ANALECON". Hojas de cálculo de Excel para la realización de análisis económicos. Facultad Ingeniería Química, ISPJAE; Ciudad de la Habana; 2003.
▪ [Polledo 2000] Polledo, F.; "Proyecto de Cogeneración en el CAI H. Molina". Tesis de Diploma. La Habana, 2000.
▪ [Polledo 2003] Polledo, F. N.; "Informe sobre la Relación: Disponibilidad Absoluta de Caña y Electricidad Posible de Generar"; Central Héctor Molina, 2003.
▪ [Polledo 2004] Polledo, F. N.; "Apuntes para un Diplomado de Gerencia Empresarial", Central: H. Molina, Habana, 2004.
▪ [Santos 1995 y otros] Santos, L.; Romero, L., Pérez de Alejo, H.; "TERMOAZUCAR V3.1 La nueva Versión del Sistema de Simulación Modular de los Sistemas Termoenergéticos Azucareros" I Conferencia Internacional Sobre Ahorro de Energía (CIAE-95); Universidad de Matanzas, 1995
▪ [Peréz-J 2006] Pérez, J. R.; "Registro del comportamiento eléctrico en la Fábrica H. Molina"; Comunicación personal; Central Héctor Molina 2006.

AHORRO DE ENERGIA EN LOS MOLINOS

José Barreiro Echemendia.

Empresa de Servicios Técnicos - MINAZ - Santiago de Cuba.
Dirección Particular: José A. Saco 206, Apto. 6, entre Félix Pena y Corona.
Santiago de Cuba 90100, Teléfono 22-654917
rigo@fa.uo.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo resume el estudio realizado en cada una de las plantas cubanas de moler caña de azúcar con vistas a reducir su consumo de energía, para contribuir al autoabastecimiento electrico del Central o para que sea entregada a la Red Nacional**.** El análisis detallado de las instalaciones recoge las propuestas de modificaciones a realizar, bien sea disminuyendo la velocidad de operación, sustituyendo equipos primarios de vapor por motores eléctricos o suprimiendo unidades de molida. Se concluye que el ahorro a obtener solamente en los molinos puede conducir a una disminución en el consumo nacional del orden de los 83.8 GW-hr (22.4 millones USD) contando con disponibilidad de caña para 100 días, moliendo 20 horas/día.

La determinación de los recursos necesarios conllevaría a la confección de Planes Directores de Ahorro Energético que dirigirían las acciones en todos los niveles según las posibilidades para su ejecución. Se adjuntan ejemplos de los ahorros ya conseguidos, consolidación nacional de los posibles ahorros a obtener y un ejemplo ilustrativo del método de cálculo.

Palabras Clave: Ahorro de energía en molinos.

ABSTRACT

Present work comprises the study carried out in all the Cuban sugar cane milling plants in order to decrease the energy consumption, to make the factories able to stop buying electricity from or to sell it to the public service. The detailed analysis of the equipment shows the proposed modifications. (decreasing the speed of mill rollers, operating the milling plant with a reasonable sequence of hydraulic pressures, replacing steam prime movers by electric motors or decreasing the number of crushing units)**.**

Calculations arrive to conclude that national energy savings, only in the mills, can reach 83.8 GW-hr (22.4 millions USD at current prices of fuel-oil) in a 100 days crop, crushing 20 hours per day.

From the determination of necessary equipment, Guide Plans can be established for all factories to direct actions at the different levels according to the possibilities of execution Information about savings already obtained, possible national energy savings and an example showing method of calculations are included.

Key Words: Energy savings in mills.

1.0.- INTRODUCCIÓN

Después de generalizados los trabajos para mejorar la alimentación de caña a los molinos (molinos desmenuzadores alimentados por tolvas, mazas alimentadoras, conductores de arrastre y aspereza en las mazas por soldadura) se evidencia la posibilidad de procesar razones de molida mucho mayores con el mismo equipamiento instalado o de moler lo mismo con velocidades mucho menores que las hasta hoy consideradas como necesarias. Esto entraña un considerable ahorro en el área que mas energía demanda.

En los análisis realizados en cada una de las plantas de moler, conciliados con los GEA y las Empresas Azucareras, la disminución de los requerimientos de energía se ha basado en la reducción de las velocidades de las mazas, en la aplicación de un racional régimen de presiones hidráulicas y, de ser posible, en la supresión de unidades de molida. Otros factores también inciden, pero dependen de un buen mantenimiento.

2.0.- DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE POTENCIA DE UN MOLINO

Se ha utilizado la expresión: [1]

$$HP = \frac{V^{1.219}\ T^{0.918}}{71.888} C$$

Aquí : HP = Potencia consumida, medida en los terminales de un motor eléctrico
V = Velocidad Tangencial de las mazas, pie/min.
T = Toneladas Totales de Presión Hidráulica aplicadas, ton cortas inglesas
C = Factor de Corteza.

Esta expresión es el resultado estadístico de más de 700 mediciones de potencia consumida por los molinos operando bajo diferentes condiciones, y ha sido probada exhaustivamente durante años con resultados satisfactorios. Sus respuestas son el reflejo de las influencias promedio de las diferentes fuentes de consumo de energía del molino durante el trabajo, propias para análisis de este tipo. Se advierte, por tanto, que si un molino cuenta con adecuados recursos para su alimentación y su relación Entrada / Salida dinámica es disminuida, el consumo de la potencia que se mida lógicamente diferirá de la respuesta aquí obtenida.

De la observación de la anterior expresión matemática se desprende que el consumo de potencia de un molino esta definitivamente influenciado por la velocidad de operación, por la presión hidráulica que se le aplique y por el grado de preparación de la caña que recibe.

3.0.- CONSIDERACIONES SOBRE LOS DIFERENTES FACTORES PARA REDUCIR EL CONSUMO DE POTENCIA DE LOS MOLINOS

3.1.- Preparación de la caña. [2]

Aquí influye el Factor de Corteza C, que disminuye en función inversa al valor del Índice de Preparación. Es un factor decisivo para un menor consumo de potencia en los molinos y para una mayor capacidad de molida sin afectar la velocidad. Al preparar el trabajo para el primer molino, mejora la extracción del tandem, el cumplimiento del RPC y se paga un justo precio por la caña.

La potencia empleada en preparación se recupera en el resto del tandem, con la ventaja de que la rotura de celdas que se consigue se obtiene sin la concurrencia de todas las otras fuentes de consumo de potencia, recursos materiales y tiempo perdido propias de los molinos.

3.2.- Adecuados Ajustes de los Molinos.

El consumo energético resulta muy influenciado por los ajustes entre las mazas y de la cuchilla central, para comprimir debidamente el colchón que se recibe pero facilitando el drenaje de jugo y evitando indebidas perdidas por fricción. Debe considerarse lo siguiente:

- ✓ La abertura de trabajo de salida debe ser tal que, operando para la razón de molida requerida y con la presión hidráulica que corresponda a ese molino, haga que la maza superior flote entre 6 y 10 mm.
- ✓ La relación Entrada / Salida dinámica del molino debe ser tal que facilite al máximo el drenaje de jugo, con una extracción relativa en la maza cañera de 60-70%.
- ✓ La separación correcta entre la maza superior y la cuchilla central evitara considerables pérdidas por fricción al deslizarse el bagazo sobre ella. Una indicación de esto se tiene por las zanjas que se observan en la superficie superior de la cuchilla una vez terminada la zafra.

3.3.- Posición de las Mazas en el Molino.

- ✓ La maza superior del molino debe estar en línea con su correspondiente eje de salida del tren de engranes y situada en un nivel inferior (desnivel entre cuadrados) en una magnitud igual a la flotación normal que se espera en ese molino durante la operación.
- ✓ A la hora de trazar el molino, debe asegurarse que su ángulo central (ángulo entre las líneas que unen los centros de las mazas superior-cañera y superior-bagacera) tenga el mínimo valor posible para evitar cuchillas muy anchas y para disminuir la acción de la resultante de las fuerzas del molino que empuja la chumacera superior contra las paredes de la quijada superior lado cañero de la virgen.

3.4.- Razón de Molida Diaria (M)

En cada Empresa se han considerado las posibles razones de molida de los próximos años para no impedir procesar niveles superiores a los actuales al reducir la velocidad.

3.5.- Velocidad Tangencial de las Mazas. (V)

Este parámetro es el que más incide en el consumo. Las pérdidas de potencia por fricción son función directa de ella, encontrándose presentes en todos los componentes del molino. (Cuchillas Centrales, Raspadoras, Cojinetes, Reductores, Engranes, Coronas, etc.)

Para conseguir el mínimo consumo de energía se ha reducido la velocidad de las mazas, estableciéndose un compromiso entre esta y la razón de molida, que estará regido por el Factor de Grueso del Colchón. [3]
Se ha tenido en cuenta, al reducir velocidad en los molinos, el realizar las comprobaciones de resistencia mecánica (resistencia, durabilidad y máxima perforación admisible) en engranes y reductores.[4, 5]

Para disminuir velocidad se ha analizado la posibilidad de utilizar los motores electricos de menos RPM y/o los reductores y engranes con mayor razón de reducción actualmente existentes en el País.

3.6.- Factor de Grueso de Colchón . (G). [3].

Es un parámetro unitario que indica el nivel de carga con que opera un molino. Permite establecer comparaciones entre distintos molinos. Se determina como sigue

$$G = \frac{M \times f}{24 \times L \times V}$$

donde G = Factor de Grueso de Colchón, @ fibra-hr / pie^2 – min.
M = Razón de Molida, @/día
f = Contenido de fibra en la caña, por unidad
L = Largo de las Mazas, pie
V = Velocidad Tangencial de las Mazas, pie / min.

A diferencia de los valores de G de 6-7 utilizados hasta ahora en nuestro País y recomendados por acreditadas firmas productoras de la época [6], con los recursos actuales de alimentación y setting adecuados ya se utilizan los G de 10-12 [7] con plena confianza. Al analizar la formula se infiere la dependencia entre G, M y V. La premisa ha sido tratar de no mantener en ningún caso colchones inferiores a 10.

3.7.- Razón de Molida Diaria (M).

En cada Empresa se han considerado las razones de molida esperadas en los próximos años para no impedir procesar niveles superiores a los actuales al reducir la velocidad.

3.8.- Presión Hidráulica Total Aplicada (T) [8]

Una secuencia de presiones que conjuga buenos resultados de extracción y ahorro de energía es la aplicación de 70 ton / pie de maza al primer molino, 60-65 a los molinos intermedios y 65-70 al último, apoyados en la mejor preparación inicial de caña de que se pueda disponer y en un eficiente sistema de imbibición compuesta.

4.0.- SUPRESION DE UNIDADES DE MOLIDA

Es conveniente eliminar las desmenuzadoras debido a la menor presión hidráulica con que operan por las dificultades para alimentarlas .Esto favorece el mantenimiento, el consumo de energía, la extracción, el cumplimiento del RPC y el pago de la caña.

Se ha recomendado eliminar un molino en los tandems que cuentan con mas molinos que otros que, con menos unidades, consiguen con estabilidad buenos resultados. Inicialmente se ha orientado puntearlos, no eliminarlos hasta tanto no se haya consolidado una operación eficiente.

5.0.- SUSTITUCION DE TURBINAS DE VAPOR POR MOTORES ELECTRICOS

La ejecución del programa de electrificación de los tandems contribuye a incrementar las posibilidades de entrega de energía, debido al menor consumo específico de vapor que tienen las turbinas de la planta eléctrica con respecto a las de los molinos. [9, 10, 11]

6.0.- VALORACION ECONOMICA

La entrega de 83.8 Gw-hr procedentes de bagazo en una zafra de 100 días significa ahorrar 26926 toneladas de fuel-oíl y 22.4 millones USD solo en las Plantas de Moler. [12]

7.0.- CONCLUSIONES

- ✓ Algunas de las modificaciones ya realizadas han arrojado los siguientes resultados:

  - Empresa 30 de Noviembre – 6900 tcd (Pinar del Río) Ahorra entre 700 y 850 KW. Esto debe permitir asimilar con la generaron propia el consumo de la refinería de azúcar próxima a instalar. Se sustituyeron motores, engranes de los reductores y piñones. Todavía quedan pendientes de realizar trabajos de reducción de consumo en cinco molinos
  - Empresa Urbano Noris – 6900 tcd (Holguín) Ahorra entre 650 y 800 Kw. Falta un molino por sustituir el motor de 900 por otro de 600 RPM.
  - Empresa Julio A. Mella – 5750 tcd (Santiago de Cuba) Ahorra 800-1000 KW. Permite el autoabastecimiento eléctrico con la refinería de azúcar en operación. Se eliminaron dos molinos. Se sustituyeron los piñones de 33 por 30 dientes y todos los motores de 900 por 600 RPM.
  - Empresa Grito de Yara – 6900 tcd – (Granma) Ahorra entre 800 y 1000 Kw. Se sustituyeron los piñones de 36 por 26 y 28 dientes.
  - Otros buenos ejemplos ya modificados: Dos Ríos, América Libre, Melanio Hernández, Héctor Rodriguez, Méjico, etc.

- ✓ La supresión de un molino (si la Pol en bagazo permanece dentro de valores aceptables) contribuiría, además, a tener existencia de bagazo (cuestión de suma importancia) y a reducir el consumo adicional de combustible por el transporte que trasiega bagazo entre ingenios. Los molinos que no van a trabajar serian solo puenteados, no eliminados, hasta tanto no se consolide una operación eficiente como ya ha sido demostrado en varias plantas de moler del país.**8.0.-**

8.0.- RECOMENDACIONES

- ✓ Extender estas modificaciones a todas las Plantas de Moler del País.
- ✓ Obtener información sobre tandems de otros países que operan con Colchones iguales o superiores a 13-14.
- ✓ Incursionar sobre nuevas tecnologías de accionamiento de molinos que disminuyan las perdidas de energía actuales.
- ✓ Al suprimir una unidad de molida, es imperativo apoyarse en buena preparación de caña, eficiente imbibición y esmerada operación.
- ✓ Al evaluar las cualidades comerciales de la caña a moler (época de madurez, rendimiento, resistencia a las enfermedades, etc.), tener también presente que la caña es el combustible del central, que esta cualidad cobra cada día mas importancia y que también debe ser considerado el comportamiento de su fibra en la combustión. Todavía hay serios conflictos entre preparación y combustión.
- ✓ Una vez hecho el estudio de las modificaciones necesarias:
  1) Confeccionar un Plan Director de Ahorro Energético del tandem, a cumplir según la disponibilidad de recursos pero con la agresividad requerida.
  2) Evaluar nacionalmente las necesidades que surjan de estos Planes Directores de Ahorro Energético para establecer políticas de compra de recursos, adquisición de nuevas tecnologías, etc. (Compra de determinados tipos de motores eléctricos o reparación de otros, construcción de piñones, etc.)
- ✓ Realizar inventario nacional de piñones y catalinas de molinos sin instalar.
- ✓ Detener el envío a materia prima de piñones y catalinas de molinos.

RESUMEN NACIONAL DEL ESTUDIO PARA AHORRAR ENERGIA EN LOS MOLINOS

EMPRESA	Tiempo de Zafra (días)	AHORRO				
		Potencia (Kw)	En un día a 20 hr/día (Mwhr /dia)	En una Zafra (Mwhr/Z)	ton Fuel / Z (0,3213 ton / Mwhr)	USD / Zafra (830.58USD / ton Fuel)
Harlem	100	189	3.78	378	121	100875
30 de Noviembre	100	1271	25.42	2542	817	678372
PINAR DEL RIO		**1460**	**29.2**	**2920**	**938**	**779247**
Abraham Lincoln	100	296	5.92	592	190	157984
Manuel Fajardo	100	87	1.74	174	56	46435
Hector Molina	100	156	3.12	312	100	83262
Boris L. Sta. Coloma	100	470	9.4	940	302	250853
LA HABANA		**1009**	**20.18**	**2018**	**648**	**538534**
Mejico	100	138	2.76	276	89	73655
Cuba Libre	100	1097	21.94	2194	705	585503
Jesus Rabi	100	0	0	0	0	0
Rene Fraga	100	151	3.02	302	97	80593
Mario Muñoz	100	825	16.5	1650	530	440328
MATANZAS		**2211**	**44.22**	**4422**	**1421**	**1’180079**
Heriberto Duquesne	100	267	5.34	534	172	142506
Abel Santamaria	100	171	3.42	342	110	91268
Jose Maria Perez	100	845	16.9	1690	543	451002
Perucho Figueredo	100	457	9.14	914	294	243915
Quintin Banderas	100	544	10.88	1088	350	290350
Panchito Gomez Toro	100	897	17.94	1794	576	478756
Efrain Alfonso	100	542	10.84	1084	348	289282
Hector Rodriguez	100	17	0.34	34	11	9073
Carlos Baliño	100	434	8.68	868	279	231639
George Washington	100	683	13.66	1366	439	364538
VILLACLARA		**4857**	**97.14**	**9714**	**3122**	**2’592329**
Ciudad Caracas	100	506	10.12	1012	325	270068
Antonio Sanchez	100	424	8.48	848	272	226302
14 de Julio	100	1053	21.06	2106	677	562018
Elpidio Gomez	100	252	5.04	504	162	134500
5 de Septiembre	100	820	16.4	1640	527	437659
CIENFUEGOS		**3055**	**61.10**	**6110**	**1963**	**1’630547**
Melanio Hernandez	100	73	1.46	146	47	38962
Uruguay	100	0	0	0	0	0
SANCTI-SPIRITUS		**73**	**1.46**	**146**	**47**	**38962**
Enrique Varona	100	1590	31.8	3180	1022	848632
Ecuador	100	851	17.02	1702	547	454205
Ciro Redondo	100	1108	22.16	2216	712	591374
Primero de Enero	100	1836	36.72	3672	1180	979930
CIEGO DE AVILA		**5385**	**107.7**	**10770**	**3461**	**2’874141**

RESUMEN NACIONAL DEL ESTUDIO PARA AHORRAR ENERGIA EN LOS MOLINOS

EMPRESA	Tiempo de Zafra (dias)	AHORRO				
		Potencia (Kw)	En un día a 20 hr/día (Mwhr/dia)	En una Zafra (Mwhr /Z)	ton Fuel / Z (0,3213 ton / Mwhr)	USD / Zafra (830.58USD / ton Fuel)
Ignacio Agramonte	100	1514	30.28	3028	973	808068
Carlos M. de Cespedes	100	829	16.58	1658	533	442463
Argentina	100	378	7.56	756	243	201750
Brasil	100	0	0	0	0	0
Candido Gonzalez	100	433	8.66	866	278	231105
Siboney	100	70	1.4	140	45	37361
Panama	100	669	13.38	1338	430	357066
Bat. de Las Guasimas	100	1411	28.22	2822	907	753094
CAMAGUEY		**5304**	**106.08**	**10608**	**3409**	**2’830907**
Colombia	100	555	11.1	1110	357	296221
Amancio Rodriguez	100	778	15.56	1556	500	415242
Antonio Guiteras	100	1924	38.48	3848	1236	1026898
Majibacoa	100	1066	21.32	2132	685	568957
LAS TUNAS		**4323**	**86.46**	**8646**	**2778**	**2’307318**
Loynaz Hechavarria	100	1143	22.86	2286	734	610054
Lopez-Peña	100	255	5.10	510	164	136101
Cristino Naranjo	100	311	6.22	622	200	165990
Urbano Noris	100	921	18.42	1842	592	491566
Fernando de Dios	100	822	16.44	1644	528	438727
HOLGUIN		**3452**	**69.04**	**6904**	**2218**	**1’842438**
Bartolome Maso	100	439	8.78	878	282	234308
Arquimedes Colina	100	377	7.54	754	242	201216
Roberto Ramirez	100	459	9.18	918	295	244982
Enidio Diaz	100	381	7.62	762	245	203351
Grito de Yara	100	946	18.92	1892	608	504909
GRANMA		**2602**	**52.04**	**5204**	**1672**	**1’388766**
America Libre	100	314	6.28	628	202	167591
Paquito Rosales	100	347	6.94	694	223	185205
Julio A. Mella	100	3631	72.62	7262	2333	1937976
Dos Rios	100	2900	58.00	5800	1864	1547819
Chile	100	704	14.08	1408	452	375746
SANTIAGO DE CUBA		**7896**	**157.92**	**15792**	**5074**	**4’214337**
Argeo Martinez	100	179	3.58	358	115	95538
Manuel Tames	100	95	1.90	190	61	50704
GUANTANAMO		**274**	**5.48**	**548**	**176**	**146242**
TOTAL NACIONAL		**41901**	**838.02**	**83802**	**26926**	**22’363850**

830.58 USD / Ton de Fuel Oil - Sala de Control y Análisis - MINAZ - Org. Central - 22/04/08

RACIONALIZACION DEL CONSUMO DE ENERGIA EN LOS MOLINOS DE UN INGENIO NUEVO							
Tandem: 30 de Noviembre		**Fecha: Septiembre 25 / 07**			**Hecho por: Jose Barreiro**		
							Hoja No. 1 de 2
Molino No.		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
SITUACION ACTUAL							
MOTORES PRIMARIOS							
Motores Electricos							
Potencia	KW	**630**	**630**	**630**	**630**	**630**	**630**
Velocidad	RPM	**885**	**885**	**885**	**885**	**885**	**885**
Tension	volt	6300	6300	6300	6300	6300	6300
REDUCTORES DE VELOCIDAD							
Fabricante		Flender	Flender	Flender	Flender	Flender	Flender
Tipo		SDN710	SDN710	SDN710	SDN710	SDN710	SDN710
Capacidad Nominal	KW	630	630	630	630	630	630
Velocidad Nomin. de Entrada	RPM	885	885	885	885	885	885
Velocidad Real de Entrada	RPM	885	885	885	885	885	885
Capacidad Real	KW	630	630	630	630	630	630
Razón de Reducción		**28.207**	**28.207**	**28.207**	**28.207**	**28.207**	**28.207**
TREN DE ENGRANES							
No. de Dientes Piñón		**36**	**36**	**36**	**36**	**36**	**36**
No. de Dientes Catalina		**154**	**154**	**154**	**154**	**154**	**154**
VELOCIDADES							
Reducción Total Trasmisión		120.66	120.66	120.66	120.66	120.66	120.66
Velocidad Maza Superior	RPM	**7.33**	**7.33**	**7.33**	**7.33**	**7.33**	**7.33**
Diámetro Ext. Maza Superior	pulg	42.0000	42.0000	42.0000	42.0000	42.0000	42.0000
Prof. Rayado Maza Superior	pulg	3.1875	3.1875	3.1875	1.4375	1.4375	1.4375
Diám. Medio Maza Superior	pulg	38.81	38.81	38.81	40.56	40.56	40.56
Velocidad Maza Superior	pie/min	**74.53**	**74.53**	**74.53**	**77.89**	**77.89**	**77.89**
FACTORES DE GRUESO DEL COLCHON							
Razon de Molida	TMD	**7245**	**7245**	**7245**	**7245**	**7245**	**7245**
Razón de Molida	´@/día	**630000**	**630000**	**630000**	**630000**	**630000**	**630000**
Fibra en Caña		**0.14**	**0.14**	**0.14**	**0.14**	**0.14**	**0.14**
Largo de las Mazas	pie	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
Factor Grueso del Colchón	(@f/h)/(pc/min)	**7.04**	**7.04**	**7.04**	**6.74**	**6.74**	**6.74**
CONSUMO DE POTENCIA							
Presión Hidráulica Total	ton corta	500	460	420	420	420	500
Presión Hidr, / pie de Maza	ton corta/pie	**71**	**66**	**60**	**60**	**60**	**71**
Factor de Corteza		1.50	1.15	1.00	1.00	1.00	1.00
Consumo por Molino	KW	**896**	**636**	**509**	**537**	**537**	**630**
Capac. de los Reductores	KW	**630**	**630**	**630**	**630**	**630**	**630**
Consumo por Motor	KW	**896**	**636**	**509**	**537**	**537**	**630**
Potencia Instalada	KW	**630**	**630**	**630**	**630**	**630**	**630**
Aprovechamiento del Motor	%	**142.2**	**101.0**	**80.8**	**85.2**	**85.2**	**100.0**
CONSUMO TOTAL	KW	**3745**					

RACIONALIZACION DEL CONSUMO DE ENERGIA EN LOS MOLINOS DE UN INGENIO NUEVO							
Tandem: 30 de Noviembre		**Fecha: Septiembre 25 / 07**			**Hecho por: Jose Barreiro**		
							Hoja No. 2 de 2
Molino No.		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
SOLUCION FUTURA							
MOTORES PRIMARIOS							
Motores Electricos							
Potencia	KW	**630**	**500**	**500**	**500**	**500**	**500**
Velocidad	RPM	**885**	**885**	**885**	**885**	**885**	**885**
Tension	volt	6300	6300	6300	6300	6300	6300
REDUCTORES DE VELOCIDAD							
Fabricante		Flender	Flender	Flender	Flender	Flender	Flender
Tipo		SDN710	SDN710	SDN710	SDN710	SDN710	SDN710
Capacidad Nominal	KW	630	630	630	630	630	630
Velocidad Nomin. de Entrada	RPM	885	885	885	885	885	885
Velocidad Real de Entrada	RPM	885	885	885	885	885	885
Capacidad Real	KW	630	630	630	630	630	630
Razón de Reducción		**40.000**	**40.000**	**40.000**	**40.000**	**40.000**	**40.000**
TREN DE ENGRANES							
No. de Dientes Piñón		**32**	**32**	**32**	**32**	**32**	**32**
No. de Dientes Catalina		**154**	**154**	**154**	**154**	**154**	**154**
VELOCIDADES							
Reducción Total Trasmisión		192.50	192.50	192.50	192.50	192.50	192.50
Velocidad Maza Superior	RPM	**4.60**	**4.60**	**4.60**	**4.60**	**4.60**	**4.60**
Diámetro Ext. Maza Superior	pulg	42.0000	42.0000	42.0000	42.0000	42.0000	42.0000
Prof. Rayado Maza Superior	pulg	3.1875	3.1875	3.1875	1.4375	1.4375	1.4375
Diám. Medio Maza Superior	pulg	38.81	38.81	38.81	40.56	40.56	40.56
Velocidad Maza Superior	pie/min	**46.71**	**46.71**	**46.71**	**48.82**	**48.82**	**48.82**
FACTORES DE GRUESO DEL COLCHON							
Razón de Molida	TMD	**7245**	**7245**	**7245**	**7245**	**7245**	**7245**
Razón de Molida	´@/día	**630000**	**630000**	**630000**	**630000**	**630000**	**630000**
Fibra en Caña		**0.14**	**0.14**	**0.14**	**0.14**	**0.14**	**0.14**
Largo de las Mazas	pie	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
Factpr Grueso del Colchón	(@f/h)/(pc/min)	**11.24**	**11.24**	**11.24**	**10.75**	**10.75**	**10.75**
CONSUMO DE POTENCIA							
Presión Hidráulica Total	ton corta	500	460	420	420	420	500
Presión Hidr. / pie de Maza	ton corta/pie	**71**	**66**	**60**	**60**	**60**	**71**
Factor de Corteza		1.50	1.15	1.00	1.00	1.00	1.00
Consumo por Molino	KW	**507**	**360**	**288**	**304**	**304**	**357**
Capac. de los Reductores	KW	**630**	**630**	**630**	**630**	**630**	**630**
Consumo por Motor	KW	**507**	**360**	**288**	**304**	**304**	**357**
Potencia Instalada	KW	**630**	**500**	**500**	**500**	**500**	**500**
Aprovechamiento del Motor	%	**80.5**	**72.0**	**57.6**	**60.8**	**60.8**	**71.3**
CONSUMO TOTAL	KW	**2119**					
BENEFICIO ENERGETICO							
AHORRO DE ENERGIA	KW	**1626**					
Ahorro en100 días-20 hr/día	MW-hr	**3251**					

9.0.- BIBLIOGRAFÍA

[1] BARREIRO, J., "Determinación del Consumo de Potencia de un molino de tres mazas para caña de Azúcar", Trabajo de Diploma, Universidad de Oriente, 1976.

[2] Colectivo de Autores, "Manual de Operaciones de la Planta Moledora", Ed. MINAZ, La Habana, 1996, pp.7-21 y 57.

[3] Ibíd., p. 67.

[4] Philadelphia Gears Works, Inc., Boletín G – 655, Philadelphia, Pen., EUA, 1955, pp. 18-20.

[5] BARREIRO, J., "Consecuencias de la disminución de las RPM de entrada a una caja reductora de Velocidad para mover molinos de caña de azúcar", XI Encuentro de Jefes de Maquinaria Industrial, La Habana, 1997.

[6] FARREL BIRMINGHAM COMPANY, INC., Boletin No. 312, Ansonia, Conn., EUA, 1958, p. 31.

[7] Colectivo de Autores, "Manual de Operaciones de la Planta Moledora", Ed. MINAZ, La Habana, 1996, p 68.

[8] Ibid, p. 27.

[9] "Tablas y Curvas para determinar los Consumos Específicos de Vapor Teóricos y Reales en Motores Primarios" Dpto. de Energética y Automatización, MINAZ, 1980.

[10] "Curvas Características de Consumo de Vapor contra Carga para distintos Motores Primarios", Dpto. de Energética y Automatización, MINAZ, 1980

[11] Líneas de Willans de las Turbinas de Vapor Worthington del Central Dos Ríos.

[12] Precio y Equivalencia Energética de Fuel Oil, Sala de Control y Análisis, MINAZ, Organismo Central, La Habana, abril 22, 2008.

[13] BARREIRO, J.,"Realidades y Perspectivas de las Plantas de Moler Caña de Azúcar con las Tolvas de Alimentación", Trabajo Relevante, IX Forum Nacional de Ciencia y Técnica, La Habana, 1994.

LA BIOMASA AZUCARERA COMO FUENTE DE INCREMENTO DEL VALOR AGREGADO A LA PRODUCCION AZUCARERA

Antonio Valdés Delgado

Centro Gerencia Programas y Proyectos Priorizados
avaldes@geprop.cu

RESUMEN

Entre las biomasas, disponibles comercialmente hoy en día, la caña de azúcar ocupa un destacado lugar. Su capacidad de fotosíntesis hace de ella, una de las plantas de mayor rendimiento agrícola. El rendimiento en materia seca de la caña de azúcar, oscila desde 27 hasta 90 tm por ha-año, en dependencia del regadío, fertilización, métodos de cosecha, cultivo, etc, con un contenido de fibra que alcanza 12-18 % en caña molible.

El bagazo, los residuos agrícolas de la cosecha (RAC), la cachaza y los residuales líquidos de las producciones de azúcar y alcohol son fuentes de combustibles y energía posibles de obtener de esta biomasa. El bagazo se usa como combustible para satisfacer las necesidades de la producción de azúcar crudo o blanco directo y los residuos agrícolas son un potencial por explotar. La producción combinada de azúcar-alcohol-energía implica el aumento del valor agregado de la producción de azúcar realizando a su vez una contribución a la protección del medio ambiente.

La producción de azúcar crudo o blanco directo indica la necesidad de sembrar, cosechar y procesar industrialmente la caña de azúcar, en este ciclo se obtienen importantes combustibles. La utilización de la biomasa azucarera como fuente de combustible sólido para la generación de energía térmica y/o eléctrica se alcanza al procesarse la caña, siendo el bagazo el principal combustible que se obtiene de esta producción.

Palabras clave: bagazo, azúcar, energía, combustibles, biogás

Summary

Among the biomasses, available commercially today, the sugar cane occupies an outstanding place. Its photosynthesis capacity makes this plant, one of the plants with the highest agricultural yield. The yield in dry matter content of the sugar cane , oscillates from 27 up to 90 tm per hectar-year, in dependence of its irrigation, fertilization, crop methods, cultivation, etc, with a fibre content that reaches 12-18% in cane stalk.

The bagasse, the agricultural residuals of the crop (RAC), the filter muds and the liquids residuals of the productions of sugar and alcohol are sources of fuels and energy possible to obtain of this biomass. The bagasse is used as fuel to satisfy the necessities of the production of direct raw or white sugar and the agricultural residuals are a potential to explode. The combined production of sugar-alcohol-energy implies the increase of the added value of sugar production carrying out a contribution in Environment. Protection.

The production of direct raw or white sugar indicates the necessity to sow, to harvest and to process the sugar cane at the factories, in this cycle, an important solid fuel is obtained. The use of the sugar cane biomass as

source of solid fuel for the generation of electric or thermal energy is reached when cane is processed, being the bagasse the main fuel that is obtained from this production.

Key words: bagasse, sugar, energy, fuel ,biogas

Introducción

La caña de azúcar -genero Saccharum - planta originaria de la India y de las Islas del Sur del Océano Pacifico, constituye la gramínea que permite la mayor utilización industrial de los principales componentes que la integran: la fibra, el agua y los azucares. Esta biomasa esta constituida por hojas verdes, hojas secas, cogollo, tallo verde y raíces, estando los azucares utilizables industrialmente en el tallo verde.

Las mayores utilizaciones de la Energía Solar podemos encontrarla en su incidencia sobre el crecimiento vegetativo de esta planta, que produce anualmente entre 15-90 toneladas por hectáreas por año de materia seca. *Hudson J. (1975)* . Un ciclo de 7 años de utilización de una caña sembrada con un rendimiento de 10 ton/año indica un consumo de 6 kg fuel-oil/ ton de caña o sea el equivalente al 5% del valor calórico de su materia seca. *López P. (1980)* Su comparación con otros cultivos indica que esta entrega 20 veces más energía que la empleada en su producción mientras que la madera ofrece un índice de 5:1; el maíz de 2.8-4.4 : 1. *De Armas C.; González (1980)* Los rendimientos agrícolas de la caña son variables, siendo sensibles a la irrigación, la aplicación de fertilizantes, a los suelos empleados y a la limpieza de las malas hierbas, entre otras; existiendo variaciones de un país a otro en relación con la cantidad de caña y azúcar que se obtiene por unidad de superficie agrícola cultivada

En el mundo se utilizan unos 13-15 millones de hectáreas para el cultivo de la caña de azúcar, unos ocho millones corresponden a América Latina. En el año 1990 se produjeron en el mundo unos 763 millones de toneladas de caña correspondiendo el 60% a América Latina. Estas cifras indican alrededor de 213 millones de toneladas de bagazo y 190 millones de toneladas de residuos agrícolas que equivalen a unos 74 millones de toneladas de un combustible fósil.

El bagazo es utilizable para la producción de papel, de alimento animal, de furfural, de material filtrante y de tableros de partículas, entre otros. La cachaza es materia prima para la producción de ceras y fármacos y biogás, de biofertilizantes y de alimento animal. Los residuos de la cosecha son fuentes para alimento animal y mejoramiento de suelos.

Las producciones del azúcar crudo se realiza sin el uso del combustible externo, efectuándose, inclusive, una utilización del 8-10% del bagazo para la alimentación animal y la filtración de los jugos. Anteriormente la combustión del bagazo se realizaba ineficientemente con el objetivo de disponer de solo la energía necesaria para el proceso tecnológico de la fábrica. No es el caso del desarrollo de esta industria y sus derivados en que esta biomasa presenta múltiples usos y requerimientos energéticos p. e. en Brasil cada año se comercializa mas de un millón de toneladas de bagazo como combustible, entre ello para la industria del procesamiento de los cítricos. *Stupielo J. (1991)*

Es por ello la importancia actual de alcanzar los mayores índices de eficiencia para lograr altos niveles de sobrante de bagazo, para emplear los residuos agrícolas de la cosecha y para cogenerar las mayores cantidades de energía eléctrica, en correspondencia con las características especificas de cada fabrica y la cantidad de caña procesada. Es en las áreas de generación y uso del vapor donde se definen los niveles alcanzables del sobrante del principal combustible de esta industria: EL BAGAZO. *Valdés A. (1992)*

1. Constitución de la caña de azúcar y principales productos y subproductos

En la Tabla I se señalan estas proporciones así como los principales productos y subproductos directos que se obtienen.

Tabla I Constitución de la caña de azúcar y principales productos y subproductos obtenidos directamente

Elementos	Proporción en peso (ton)
Caña integral	133
Residuos Agrícolas	33
Hojas verdes	13
Hojas secas	10
Cogollo	10
Tallo verde	100
Sacarosa	13
Fibra	13
Agua	74
Bagazo	25
Cachaza	3
Miel Final	3
Azúcar	12

El Bagazo y los RAC (hojas secas, hojas verde y cogollo) son las principales fuentes de biomasa sólida combustible obtenida de la producción del azúcar de caña. En sentido general todos los combustibles requieren de su preparación, transportación y almacenamiento para su uso social, industrial o domestico; en estos casos ambos pueden ser utilizados directamente de la cosecha de la caña o almacenado para su posterior utilización.

2. Combustibles sólidos

2.1 Bagazo de caña

En el caso del bagazo de la caña podemos definirlo como el combustible natural del proceso de producción de azúcar; su combustión puede realizarse en forma directa del proceso de producción sin algún tipo de acondicionamiento, o sea, que la materia prima - la caña - trae su propio combustible, en magnitudes tales que satisface planamente los requerimientos termo-energéticos del proceso tecnológico. Las principales características del bagazo se resumen en la Tabla II.

Tabla II. Características el bagazo de caña.

Componentes	Proporciones %
Fibras	45-48
Sólidos solubles	2-4
Agua	48-52
Composición Química	
Carbono	47.0
Hidrogeno	6.5
Oxigeno	44.0
Cenizas	2.5

El incremento en la eficiencia de generación y uso del vapor así como los esquemas tecnológicos empleados para la producción de alcohol y de alimento animal, permite lograr altos sobrantes de este combustible que puede ser usado tanto para incrementar la producción de energía como para realizar diferentes tipos de producciones (papel, tableros de partículas, furfural, alimento animal ,etc.)

2.2 Residuos agrícola de la cosecha cañera (RAC)

En el caso de los residuos agrícolas, estos están formados por cogollo o puntas, hojas verdes y hojas secas; se estiman valores de un 25% en peso de la caña. Sistemas de cosecha empleado en Cuba, presenta dos vías principales de suministro de caña a la fabrica el corte por maquina combinada y su envió directo a la fabrica y el corte manual o de combinada, su envió a los centros de limpieza en seco y de estos a la fabrica. En ambos casos no se realiza una separación total de estos residuos, denominándose como materias extrañas aquellos que llegan al central. Un balance de estos sistemas se indican en la Tabla III. *Casanova E. (1982)*

Tabla III Contenido de materias extrañas entrando al central por esquemas de cosecha.

Esquema	Materias extrañas			
	Hojas secas	Hojas verdes	Cogollo	Total
Manual quemada: Tiro directo	0.9	1.4	2.0	4.3
Manual verde: Centro Acopio	0.3	1.2	3.2	4.7
Manual verde: Tiro directo	1.0	2.4	3.5	6.9
Combinada: Centro Acopio	0.2	1.9	5.8	7.9
Combinada: Tiro Directo	0.5	3.5	6.5	10.5

Las características de estos residuos se señalan en la Tabla IV. *Ripoli y otros (1991)*

Tabla IV Características de los residuos agrícola.

Parámetro	Cogollo	Hojas verde	Hojas seca
Carbono	42.1	43.4	41.8
Humedad	6.3	6.4	6.3
Humedad	76.8	66.2	8.3

El contenido de cenizas es del orden del 6-7%.

La utilización de las hojas verdes y secas resultan ventajosas desde el punto de vista energético al aumentarse los niveles de combustible hasta cifras de 40-45% del peso de la caña. Sin embargo se afecta la capacidad de transportación y de molida de la caña. Dos experiencias realizadas indicaron que procesando la caña integral desde el campo, se disminuye la capacidad de las carretas en un 50% la capacidad de molida en un 22% y se aumenta la cantidad de bagazo en un 32% *Valdés A. y otros (1982).*

La otra experiencia consistió en no separar los residuos en los centros de limpieza ; ello implico una disminución en el consumo de energía de 102 kw-hr, se disminuyo la capacidad de transportación en un 25% y la capacidad de molida en un 9%. *Casanova y otros (1992)*

Otras alternativas utilizada consiste en el traslado de los residuos separados en los centros de limpieza hacia la fabrica para su alimentación a los hornos mezclados con el bagazo. En estos casos existen variantes de su transportación en forma natural o picados en el central o en los centros de limpieza; los estudios realizados indicaron una energía neta disponible del 68-93% en correspondencia con el sistema utilizado *Valdés A. (1994)*

3.- Transformación Termoquímica de la Biomasa Cañera

3.-1 La combustión de la biomasa

La combustión permite la generación de vapor para los requerimientos energéticos y tecnológicos, existiendo diferentes tipos de hornos para su combustión: herradura, parrilla, torbellino y lecho fluidizado con eficiencias que pueden ir del 65-85%.

Esta biomasa puede combustionarse sin algún tipo de preparación previa - como es el caso del fuel-oil que se necesita calentar previamente a su inyección a los quemadores-. Sin embargo y con el propósito de aumentar su valor calórico se puede disminuir su humedad hasta valores de 35-40% hecho este que implica una menor cantidad de exceso de aire por la combustión disminuyéndose las perdidas en los gases de escape a la atmósfera. En la Tabla V se muestra el efecto al disminuirse la humedad del bagazo.

Tabla V Variaciones en peso y valor calórico del bagazo al disminuir su humedad

Humedad	Peso (kg)	Valor calórico (kcal/kg)	Calor Total (kcal)
50	1.00	1825	1825
35	0.77	2552	1965
25	0.67	3038	2023

Existen dos vías posibles para disminuir la humedad al bagazo: en forma directa del proceso usando los gases de escape o de combustión con los que se pueden lograr aumentos en la eficiencia del orden del 10% que significa ahorros de bagazo de iguales magnitudes *Friedman P. (1988)* .

La otra forma de secado es en su almacenamiento- generalmente en forma de pacas- siendo la vía biológica una alternativa atractiva al disminuirse las perdidas y lograrse en periodos de 20-30 días valores de 20-30% de humedad. *Serrano P. (1993)*
Otras alternativas para aumentar la eficiencia de la combustión al disminuirse las perdidas de calor en los gases de escape se corresponde con el empleo de superficies recuperativas de calor como son los economizadores y los calentadores del aire, para ello pueden existir diferentes arreglos, siendo económico un sistema que emplee en serie un primer calentador de aire, un economizador y un segundo calentador de aire. *Garay L. (1988)* En la Tabla VI se muestra el efecto - sobre el índice de generación de vapor - de la utilización de estos equipos auxiliares.

Tabla VI.- Incremento en la generación de vapor al utilizarse diferentes equipos recuperadores de calor

Equipo	Índice de generación de vapor (kg vapor/kg bagazo)	Incremento (%)
-Caldera sin S.R.C.	1.9	---
-Economizador	2.0	5.3
-Calentador de aire	2.2	15.7
-Economizador- calentador de aire	2.3	21.0
-Secado a 30%	3.0	57.8
-Secado a 15%	4.3	126.3

S.R.C. -Superficie Recuperativa de Calor

3.2- La pirolisis de la biomasa: . Obtención de carbón, liquido y gas.

La pirolisis de la biomasa se define como la degradación térmica de la biomasa sin empleo de oxigeno o con una cantidad limitada tal que no se produce una apreciable gasificación. Ello se efectúa a bajas temperaturas 400-800°C y se producen tres componentes: gas, liquido y carbón, siendo sus proporciones en correspondencia con el método de pirolisis empleado. Se puedan denominar como: *Bridgewater A.; Cotton M. (1992)*

-Pirolisis lenta: Se produce a bajas temperaturas y largo tiempo de reacción, se maximiza la producción de carbón con un 30% en peso.

-Flash pirolisis: a) Se producen entre 500°C-650°C maximizándose los líquidos con un 80% en peso. b) Se produce a mayores temperaturas que 700^{o}C maximizándose la producción de gas que representa 80% en peso.

-Pirólisis convencional: Se produce a temperaturas moderadas- 600^{o}C obteniéndose los tres componentes enyúgales proporciones.

En sentido general un calentamiento rápido aumenta la producción de gas y disminuye el carbón; igualmente un aumento de temperatura aumenta la producción de gas y disminuye la del liquido. Los resultados de una pirolisis rápida a 850^{o}C se muestra en la Tabla VII.

Tabla VII Producciones obtenidas de una pirolisis rápida. *Zanzi R. (1993)*

Producciones	Bagazo	Bagazo
Gas (%)	72.6	63.0
Alquitrán (%)	0.7	1.0
Carbón (%)	5.0	11.4
Cenizas en el carbón (%)	19.5	39.0

La composición del gas que se obtuvo en la anterior experimentación se muestra en la Tabla 8.

Tabla VIII Composición del gas de una pirolisis a 850 ^{0}C

Gases	Bagazo	RAC
CO_2	9.0	12.4
CH_4	12.0	14.5
H_2	15.7	12.7
CO	56.2	53.0
Otros	7.1	7.4

3.3. Gasificación de la biomasa azucarera

La gasificación es la obtención de un gas combustible a partir del suministro de una cantidad tal de oxigeno que no se produzca la combustión de la biomasa; este gas se denomina como gas pobre debido a que presenta un valor calórico de 1500-1800 kcal/kg. El gas combustible tiene un valor calórico de 6000 kcal/kg. A presión atmosférica el gas pobre tiene diversos usos.

Tabla IX Usos del gas pobre

- Generación de electricidad
- Bombeo de agua de pozos
- Secado de productos agrícolas
- Control de temperaturas para el aire de invernaderos
- Equipos automotores
- Cocción de alimentos
- Calderas para vapor
- Hornos para industria de cerámica

En un gasificador la biomasa se seca, se calienta, se piroliza, se reduce y combustiona. En un gasificador del tipo de flujo descendente el gas sale prácticamente sin contenido de alquitranes.La aparición de combustibles fósiles como la gasolina, el diesel, el alcohol y el gas, incidió en la disminución del uso de este tipo de combustible: existen gasificadores de 3.5-100 kw pudiéndose también usar el gas como un segundo combustible sustituyendo un litro de diesel por 3.5 kg de biomasa*Anku (1994)*

3.4- Uso de la energía térmica en la industria.

3.4.1 La generación de vapor

El vapor producido por la combustión de la biomasa cañera se destina hacia objetivos energéticos y productivos: la producción de energía mecánica o eléctrica y la energía térmica para los requerimientos del proceso tecnológico de la producción del azúcar o alcohol u otros derivados.

3.4.2 Consumo de vapor en el proceso tecnológico.

La producción del azúcar de caña requiere de diferentes procesos tecnológicos para obtener el azúcar cristalino. En la etapa de extracción y purificación de los jugos se necesita realizar el calentamiento de los jugos; en la etapa de evaporación se necesita concentrar el contenido de la sacarosa , al igual que en

las etapas de cristalización. El consumo de vapor para todo estos procesos indican valores que van desde 500-550 hasta 380-390 kg/ton de caña en dependencia del esquema térmico que se utilice. En consecuencia ello define el consumo de bagazo necesario para satisfacer sus necesidades energéticas, o sea, la demanda de vapor en el proceso tecnológico condiciona las capacidades instaladas en el área de generación de vapor. En la Tabla X se muestra el consumo de vapor en la fabricación de azúcar para diferentes esquemas de su utilización.

Tabla X. Consumo de vapor en la fabricación de azúcar según diferentes esquemas de su utilización.

Esquema	Consumo % caña	Diferencia (%)
Preevaporador y cuádruple efecto	50	---
Quíntuple efecto	48	4
Quíntuple efecto con extracción en vaso 1,2,3	39	22
Quíntuple efecto con extracción en vaso 1,2,3,4	37	26

Un esquema con optimo aprovechamiento del vapor permite lograr sobrantes de bagazo del orden del 20-25% y disminuir el consumo a valores de 38% caña *Leal D.; Valdes A.; Friedman P. (1987)*

3.4.3.- Generación y cogeneración de energía eléctrica

El proceso tecnológico para la producción de azúcar requiere del uso de energía mecánica para realizar la extracción de la sacarosa al jugo de la caña sea mediante un sistema de molinos o de difusión; para ello se emplean motores eléctricos, turbinas o maquinas de vapor. El bajo consumo de energía mecánica en comparación con las necesidades de energía térmica y su empleo a bajas presiones determinan la posibilidad de implementar un sistema de cogeneración de energía eléctrica. El consumo de energía eléctrica para los equipos motrices de la fabrica es del orden de los 15-25 kw-kr/ton caña.

La demanda de vapor en el proceso de producción del azúcar condiciona las capacidades directas de producción de energía eléctrica, un esquema térmico eficiente en el uso de vapor indica una menor generación de energía eléctrica, pero permite sobrantes de bagazo para generar una mayor cantidad de esta energía o emplearse como materia prima en otras producciones o como sustituto de combustible fósil en otras producciones. El esquema térmico de una fabrica de azúcar consiste en balancear el consumo de bagazo para que sea el suficiente para la producción de azúcar y el empleo de un sistema de contrapresion en el turbogenerador para producir una generación tal que satisfaga las necesidades de energía eléctrica y en algunos casos obtener determinadas cantidades de energía eléctrica sobrante. La presión de generación tiene un valor significativo en la producción de energía eléctrica , en el ahorro de fuel oil y en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero. ver Tabla XI.

Tabla XI Presión de generación de vapor, producción de energía eléctrica, ahorro de fuel oil y reducción de la emisión de gases de efecto invernadero

Presion vapor (kg/cm^2)	Indice Generacion (kg vapor/ kWhr)	Energia electrica generada (kWhr/tcaña)	Fuel oil Evitado (kg/h)	CO_2 Evitado (kg/h)
18	14.0	39.9	466	1468
28	9.7	57.6	672	2117
42	8.0	69.9	815	2567
56	7.4	75.6	881	2775
84	6.5	86.0	1004	3163

Existen fabricas de azúcar que operan durante 330 días \ año como son los casos de Perú y Colombia, pero en sentido general la cosecha de la caña se realiza en periodos de 5-6 meses en épocas especificas del año al estar condicionada su recolección a los periodos de lluvia. En los casos en que se opera durante todo el año se puede- mediante el uso de turbogeneradores de extracción-condensación- aumentar la cantidad unitaria de energía eléctrica generada. Al realizarse la condensación de los vapores a la salida de la turbina se operan dos sistemas el de cogeneración y el de generación, siendo la etapa de generación - la etapa de condensación - donde se produce mas del 30% de la energía total producida.

En los otros casos en que el periodo de cosecha se limita a una parte del año -150 a 180 días- no es atractivo económicamente realizar una instalación de este tipo a no ser que se utilice un segundo combustible -fuel-oil, carbón, gas natural, bagazo o RAC almacenados- de forma tal que se pueda operar durante todo el año. Existen experiencias de este sistema en Hawaii, Brasil, Isla Reunión, Mauricio y la Isla Guadalupe. En estos casos se genera el vapor a presiones de 60-80 atmósferas, con el objetivo de aumentar el índice de generación de electricidad; se reportan valores de 90-110 kw-hr generado por tonelada de caña con inversiones del orden de los 1650 USD/kw-hr.

En los últimos años se han propuesto esquemas teóricos del empleo de la gasificación del bagazo y los residuos agrícolas de la cosecha cañera con el objetivo de su suministro a una turbina de gas para la generación de electricidad; estudios posteriores indican el uso de ciclos combinados gas-vapor para aprovechar el calor sensible del gas que sale de la turbina para generar vapor en una caldera y por consiguiente generar una mayor cantidad unitaria de energía eléctrica.

Estos nuevos esquemas presentan situaciones tecnológicas por resolver como es la alimentación del bagazo a un sistema de gasificación a presión y la limpieza total de los gases para evitar la destrucción de los alabes de la turbina por el arrastre de partículas sólidas en suspensión. Sin embargo estos sistemas se presentan como alternativas futuras atractivas del uso de un combustible renovable. Un análisis comparativo de las posibilidades de entrega de energía eléctrica por estos sistemas *Odgen J. y otros (1990)* indican aumentos en los sistemas de generación-cogeneración de energía eléctrica de 5-40 veces los esquemas típicos actuales.

4. Transformación bioquímica de la biomasa

4.1.- Biogás de productos residuales industriales azucareros.

La agroindustria azucarera origina productos residuales con un contenido tal de materia orgánica que posibilita la producción de biogás mediante su tratamiento anaeróbico. *Valdés A. (1997)*

a) De la producción de azúcar crudo: aguas residuales y cachaza.
b) De la producción de alcohol: mostos o vinazas.
c) De la producción de levadura torula: aguas residuales.

En la Tabla XII se relacionan las principales características de estos productos residuales.

Tabla XII Características de los principales productos residuales azucareros

Datos	Aguas residuales			Sólidos
	Azúcar	Alcohol	Levadura torula	Cachaza
Temperatura (ºC)	32 a 44	77	35	35 a 40
pH	5,5 a 6,5	3 a 4	5	5,0 a 7,6
DQO (*mg/L*)	5 000 a 7 000	60 000 a 75 000	10 000	65 000
Flujo	0,5 m^3/t caña	1,6 m^3/hL alcohol	80 a 100 m^3/t	35 *kg/t* caña

La carga orgánica, que se estima se genera a partir de estos productos residuales, se expone a continuación en la Tabla XIII.

Tabla XIII Carga orgánica presente en los productos producto residuales azucareros y la población equivalente.

Variables	Aguas residuales[1]	Alcohol[2]	Levadura Torula[3]	Total
Carga orgánica (*t* DQO/*a*) (10^3)	91,00	96,00	72,00	259,0
Población equivalente x 10^6 *	2,02	2,13	1,60	5,75

*Se establece un vertimiento de 45 *kg* DQO/habitante/*a*.
[1] El cálculo se realiza para 4 000 000 *t* de azúcar por zafra.
[2] El cálculo se realiza para una producción de 800 000 *hL/a*.
[3] El cálculo se realiza para una producción de 80 000 *t* de levadura/*a*.

Se puede apreciar la alta carga contaminante que se deriva de estas producciones, un uso o tratamiento inadecuado puede provocar altas afectaciones al medio ambiente. La producción de biogás es una alternativa para la disposición de estos residuales. En la Tabla XIV se resume la cantidad de biogás factible de producir anualmente y la cantidad de personas que pudieran satisfacer sus necesidades de combustible para la cocción de alimentos.

Tabla XIV Cantidad de biogás que se puede producir anualmente empleando los productos residuales azucareros y cantidad de personas que pudieran emplearlo en la cocción de alimentos.

Producto residual de la producción de:	Biogás que se puede producir anualmente (m^3 x 10^6)	Cantidad de personas (miles)	Proporción (%)
Azúcar[1]	105,0	955	71,0
Alcohol[2]	26,8	243	18,0
Levadura[3]	16,0	146	11,0
Total	147,8	1 344	100,0

[1]El cálculo se realiza para 4 000 000 *t* de azúcar por zafra.
[2]El cálculo se realiza para una producción de 800 000 *hL*/*a*.
[3]El cálculo se realiza para una producción de 80 000 *t* de levadura/*a*.

4.2 Alcohol

El alcohol se emplea en la producción de bebidas, como solventes, en diversas producciones químicas y como combustible automotor, por ejemplo en Brasil el 3% de la producción - unos 370 millones de litros- se ha utilizado como materia prima para la alcoquimica. Su mayor producción en otros países de la región debe estar condicionado, entre otros aspectos, a su costo de producción, al costo de producción del azúcar y a los precios de estos productos en el mercado mundial y en mercados preferenciales siendo otro aspecto no menos importante a considerar su competencia con la producción de alimentos.

5.- La combinación energía - azúcar - alcohol y su potencialidad económica .

El análisis económico de portadores energéticos correspondientes a una fábrica de 5000 ton de caña molida por día con producciones de alcohol y biogás, este último a partir de los residuales de ambas industrias, *Valdés A. (2002)* sustituyendo fuel-oil con un precio de 600 US$ por tonelada y un precio del azúcar de 264 US$/ton, un consumo de 270 grFO/kWh, un precio de la tonelada de CO_2 evitado de 15 USD/ton, indica un aumento en el valor agregado de esta producción. En la Tabla XV se muestra este resultado.

Tabla XV Valor agregado a la producción azucarera por efecto de potenciar sus portadores energéticos. *Valdés A. (2008)*

Portador	Indicador	Valor (10^3 $ /año)	Petróleo equivalente (t/d)
CACHAZA (t/d) -Biogás (m^3/d)	175 17500	- 783,00	-- 8.7
MIEL (t/d) - Alcohol (t/d) - Biogás (m^3/d)	150 33 13230	- .1,890.00 576.00	- 21,0 6,4
ENERGIA ELECTRICA entregada a la RED (MWh/d)	450	10, 935.00	121,5
GASES EFECTO INVERNADERO EVITADO (CO_2) (t/a)	74600	1,119..00	--
AZUCAR (t/d)	500	19,800.00	--
TOTAL	-	35,103.00	--
AUMENTO	-	15,303.00	

Se puede observar de la tabla como de un valor de 19,8 Millones US$ obtenidos por la venta del azúcar, se puede incrementar en mas de un 43 % el valor del conjunto de la energía y los combustibles producidos, lo que equivale potencialmente a un incremento en el precio de venta del azúcar a 468.00 US$/ton, lo que significa un valor incremental de 204 USD/ton.

El desarrollo energético, antes expuesto, el ahorro de 23 640 ton de petróleo combustible por año, representaría una disminución de la emisión de CO_2 al medio ambiente, de más de 74756 ton anuales, lo cual confirma la importancia de esta alternativa en la contribución a la solución de los problemas globales de protección del medio ambiente.
La implementación de estas alternativas también contribuye a un valor agregado adicional de esta producción al accederse al Mecanismo de Desarrollo Limpio y participar en el comercio de los Créditos de Carbono.

Conclusiones

Se han mostrado diversas posibilidades energéticas derivadas de la agroindustria azucarera reflejadas en la disposición de combustibles como son: los residuos agrícolas de la cosecha, como es el bagazo de la caña como fuente natural y principal de combustible y también el biogás a partir de los residuales industriales.

Se han mostrado las posibilidades energéticas de la biomasa azucarera reflejadas: en la disposición de energía térmica a partir de la combustión del bagazo que permite la producción del azúcar crudo sin el uso de combustible fósil y las posibilidades de suplir esta energía a otras producciones a partir de los ahorros factibles de alcanzar al implementarse sistemas eficientes en la generación y en el uso del vapor.

Se han mostrado la disposición de energía eléctrica a partir de su generación durante el periodo de la campaña azucarera en niveles tales que permite no tan solo suplir sus propios necesidades sino también realizar su entrega hacia otros consumidores.

Igualmente, se han mostrado las altas producciones de esta energía -que teóricamente se han definido como factibles de alcanzar- a partir de la gasificación del bagazo y la utilización de los ciclos combinados de gas-vapor.

Todo ello indica que la caña de azúcar es una biomasa única, que permite ofrecer no tan solo azúcar sino también combustible y energía e incidir en la protección del medio ambiente al evitar la emisión de gases de efecto invernadero.

En resumen, el mundo existen tecnologías disponibles y en desarrollo que pueden propiciar el mejor aprovechamiento del potencial descrito, sin embargo, tanto por nuestro país como por otros países de América Latina la obtención de sus beneficios se enmarcan básicamente en la disponibilidad de financiamiento para ejecutar este tipo de inversión

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1.- Hudson J. (1975) Sugar cane relationships with fossil fuels. Sugar Journal Oct.
2.- López P. (1980) La potencialidad de la caña de azúcar como recurso energético renovable. Seminario Racionalización Energética en la Industria azucarera. ONUDI-GEPLACEA Habana Sept.

3.- De Armas C.; González (1980) La industria de los Derivados de la Caña de azúcar Ed . Científico- Técnica Habana 58
4.- Stupielo J. (1991) Tecnología Azucarera: Desarrollo Actual y Perspectivas Futuras. XXlll Asamblea GEPLACEA Oct. Habana
5.- Valdés A. (1992) Obtención de combustible, energía y materia prima a partir de la producción azucarera. Ind. Azucarera Vol. 4
6.- Casanova E. (1982) Eficiencia agroindustrial Ed. Ciencias Técnicas Habana 18
7.- Ripoli y otros (1991) Potencial energético residuos de cosecha de la caña verde. STAB Oct. .22
8.- Valdés A. y otros (1982) Informe sobre la prueba preliminar industrial de procesamiento de la caña integral. Informe ICINAZ Mayo
9.- Casanova y otros (1992) Evaluación preliminar sobre el procesamiento de la caña con alto contenido de materias extrañas. Informe ICINAZ Junio
10.- Valdés A. (1994) Energía neta disponible al utilizarse diferentes sistemas para el procesamiento de los RAC. Informe ACC.
11.- Friedman P. (1988) Porque secar el bagazo. Cubazucar Julio/Sept. 35.
12.- Serrano P. (1993) Información personal.
13.- Garay L. (1988) Determinación de la temperatura optima de salida de los gases de las calderas de bagazo. Informe EDIMEC.
14.- Bridgewater A.; Cotton M. (1992) Opportunities for biomass pyrolisis liquid production and upgrading. Energy and Fuel .2
15.- Zanzi R. (1993) Pirolisis rápida de bagazo de caña, residuos agrícola cañeros y residuos de la cosecha del banano. Taller Energética Azucarera Santiago de Cuba.
16.- Ankur (1994) Biomass gasifier systems Prospect Baroda India.
17.- Leal D.; Valdes A.; Friedman P. (1987) Obtención del 30% de bagazo sobrante. ATAC Marzo/Abril
18.- Odgen J. y otros (1990) Cogeneration applications of biomass gasifier. Gas Turbine Tecnologies in the Cane Sugar and Alcohol Industries. Proced. Massachusetts Institute of Technology. March 320.
19.- Valdés A. (1997) Combustibles y energías renovables a partir de la biomasa azucarera. Reunión regional sobre Biomasa para la producción de Energía y Alimentos. OLADE. Ciudad Habana
20.- Valdés A. (2002) Tratamiento anaeróbico de productos residuales para la producción de biogás Revista ATAC Julio Diciembre .9
21.- Valdés A. (2008) Cálculos personales

ANÁLISIS DE LA UNIÓN POR INTERFERENCIA EJE-CORONA EN MOLINOS DE CAÑA DE AZÚCAR EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.

Arturo Martínez Rodríguez[1]; Joel López Flores[2]; Maikel Guerra[3]; Yosniel Bouza Miranda[4]

[1] Investigador Titular. Centro de Mecanización Agropecuaria de la Universidad Agraria de La Habana. (UNAH) email: arturo@isch.edu.cu ; armaro6@yahoo.es. [2] Técnico de Maquinaria Azucarera. CAI "Héctor Molina Riaño". [3] Profesor Facultad de Mecanización Agropecuária. UNAH. [4] Adiestrado. Centro de Mecanización Agropecuaria. UNAH.

RESUMEN

A solicitud del Grupo de Mantenimiento Industrial del C.A.I. Azucarero "Héctor Molina Riaño", se efectuó un estudio de tensiones y deformaciones del conjunto eje-corona con cuñas tangenciales de las masas de los molinos de caña de azúcar del tándem.
La necesidad del estudio surge debido a la necesidad de efectuar modificaciones durante el montaje del conjunto eje-corona, consistentes en maquinar el diámetro interior de las coronas con vistas a disminuir los niveles de interferencia y de esa forma economizar combustible durante la fase de calentamiento de las coronas durante el montaje y posterior desmontaje.
Como quiera que de esta forma se varía el estado de pretensión de la unión eje-corona, es predecible un incremento de las tensiones sobre los cuñeros al corresponderles mayor cuota de transmisión del torque.
El estudio fue abordado con modernos métodos de diseño asistido por computadora (CAD), empleando el análisis computarizado por elementos finitos para determinar el estado tensional y deformacional.
Como resultado se determinó que con una interferencia de 0,5 mm, el conjunto podía trabajar con un adecuado coeficiente de seguridad, siendo la interferencia original de 2 mm.
Para un tándem de seis molinos, el ahorro de combustible en los procesos de montaje y desmontaje es superior a los 2000 litros.

PALABRAS CLAVE: molinos de caña; interferencia; FEA; ahorro de combustible.

ABSTRACT

To request of the Group of Industrial Maintenance of the Cane Sugar Factory "Héctor Molina Riaño", a study of stress and strain of the group shaft-pinion with tangential keys of sugar cane mills was made.
The study arises due to the necessity of making modifications during assembly of the group shaft-pinion, consistent in scheming the interior diameter of the pinions with a view to diminishing the interference level whit shaft and in that way to economize fuel to heating the pinions during assembly and disassembly.
As the level of pressure due to the interference is diminished, it is predictable an increment of the stresses on the tangential keys when corresponding them a higher quota of torque transmission.
The study was approached with modern computer aid design (CAD) methods, using finite element analysis to determine the tensional and deformational state.
As a result was determined that with an interference of 0.5 mm, the group could work with an appropriate coefficient of security, being the original interference of 2 mm.

For a tandem of six mills, the saving of fuel in the assembly and disassembly processes is higher than 2000 liters.

KEY WORDS: Sugar cane mills; interference; FEA; economy of fuel.

INTRODUCCION

Anualmente, durante el período de reparaciones en los Centrales Azucareros, se hace necesario por lo general, proceder al desmontaje de los tándems de molinos con vistas a su reparación. Este procedimiento conlleva lógicamente al proceso de montaje previo al comienzo de la zafra.
Dados los altos niveles de interferencia en las uniones eje-corona, el proceso de desmontaje y montaje de las coronas se torna engorroso, conllevando elevados consumos de combustible que se invierte en el precalentamiento de dicho componente, así como invirtiéndose excesivo tiempo en el proceso.
Una de las formas valoradas para disminuir estos consumos, así como el tiempo requerido para la operación, consiste en disminuir el nivel del ajuste por interferencia en la unión eje-corona.
Ahora bien, tomar esta decisión conlleva determinados riesgos, por lo que se hace necesario contar con los elementos técnicos necesarios para acometer la misma.
Como es conocido, el ajuste por interferencia o prensado, provoca una pretensión en el conjunto ensamblado que a su vez genera una fuerza de fricción tangencial o circunferencial que contribuye a la transmisión del torque en la misma medida que mayor sea la interferencia. O sea, que la transmisión del torque se reparte entre el efecto de fricción del ajuste por interferencia y la acción de las cuñas, que en este caso son del tipo Tangencial, como se muestra en la foto tomada a la unión eje corona, característica de los molinos de caña de azúcar, objeto de investigación en el trabajo (Fig. 1).

Fig. 1 Unión eje-corona con cuñas tangenciales.

La disminución del ajuste puede dar lugar a una carga excesiva sobre las cuñas, tendiendo a su falla por deformación plástica.

El cálculo de las presiones provocadas por los ajustes por interferencia resulta factible y bastante exacto a los efectos prácticos cuando se trata de uniones perfectamente cilíndricas, en las que es posible aplicar las teorías de la resistencia de materiales aplicadas a cilindros de paredes gruesas (Reshetov, 1985; Dobrovolski, 1985). No obstante, cuando los elementos que conforman la unión por interferencia presentan determinadas configuraciones provocadas por los rebajos para la colocación de las cuñas, el uso de dichos métodos clásicos de cálculo ya no presenta la confiabilidad requerida. Esto se acrecienta en el caso de las transmisiones mediante chavetas tangenciales (Korewa, W, 1965; Dubbel, 1969), en las que el rebajo de los cuñeros ocupa buena parte del trazado cilíndrico de la unión.
El análisis por elementos finitos es empleado universalmente en la solución de diferentes problemas en el campo de la mecánica y en otros campos (Rodríguez, M., 2003), sin embargo su uso no ha sido amplio en la solución de problemas relacionados con las uniones con interferencia. Sosa, D.A. et al, (2001), en el marco de un análisis dirigido a la predicción de la variación dimensional y su dispersión debidas al tratamiento térmico en piezas de fundición esferoidal, efectuó un análisis de tensiones en un ajuste con interferencia engranaje-carcasa, empleando con resultados satisfactorios la simulación por elementos finitos.
De manera que el presente trabajo presenta como objetivo poder calcular los mínimos niveles de interferencia que garanticen la transmisión del torque requerido en los molinos de caña de azúcar, sin ocasionar fallas en los componentes de la unión, en este caso, por chavetas tangenciales.

MATERIALES Y METODOS.

El estudio fue abordado con modernos métodos de diseño asistido por computadora (CAD), empleando el análisis computarizado por elementos finitos, tanto para determinar las presiones ocasionadas por diferentes niveles de interferencia, como para el estudio del estado tensional y deformacional de los diferentes componentes del conjunto eje-cuñas-corona.
Inicialmente se efectuó la digitalización de los dibujos de los diferentes componentes del conjunto con vistas a su exportación a programas profesionales de análisis por elementos finitos.
Durante el análisis de la interferencia, se aplicaban diferentes presiones entre el eje y la corona dentada, calculando mediante el análisis por elementos finitos, la deformación correspondiente a dichos niveles de presiones. De esta forma, efectuando un análisis inverso, se determinaba la presión que provocaba determinado nivel de interferencia entre ambos elementos, para lo cual se consideraba tanto la deformación del eje, como la de la corona.
Una vez determinada la presión ocasionada por determinado nivel de interferencia, se calculaba la fuerza de fricción circunferencial máxima entre la corona y el eje, así como el torque posible a transmitir sobre la base únicamente del ajuste forzado. Restando este torque del torque total que debe transmitir el conjunto, podía determinarse qué parte del torque a transmitir correspondía a las cuñas, a partir de lo cual, se procedía al cálculo de comprobación de su estado tensional y deformacional.
La solución fue aplicada en el CAI “Héctor Molina Riaño” durante el proceso de reparaciones previo a la zafra 2006 -2007.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La Fig. 2 muestra la digitalización realizada a dicha unión con vistas a su análisis empleando el método de los elementos finitos, mientras que en la Fig. 3 puede apreciarse el mallado y la aplicación de cargas y restricciones realizados durante la aplicación de dicho método.

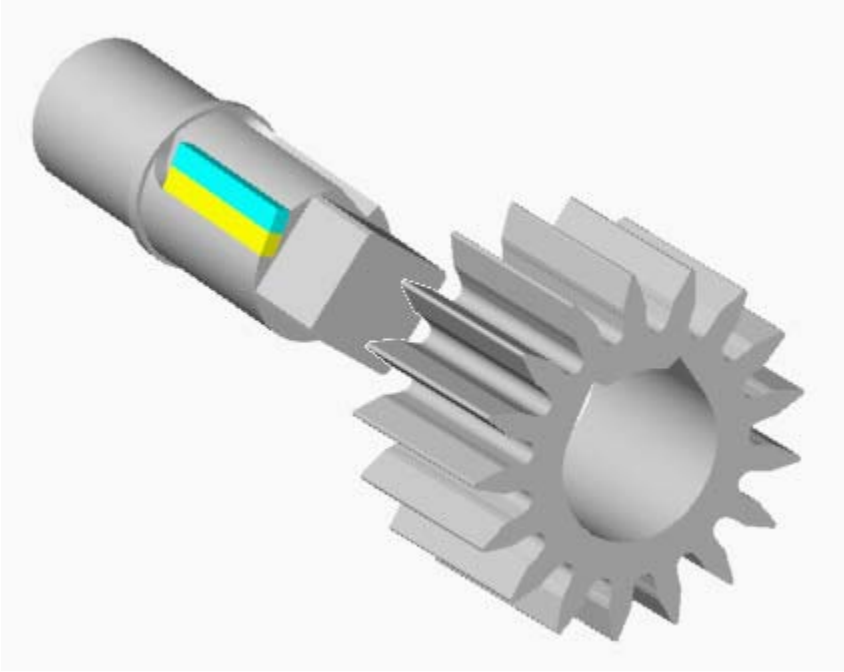


Fig. 2 Digitalización de los dibujos con herramientas CAD.

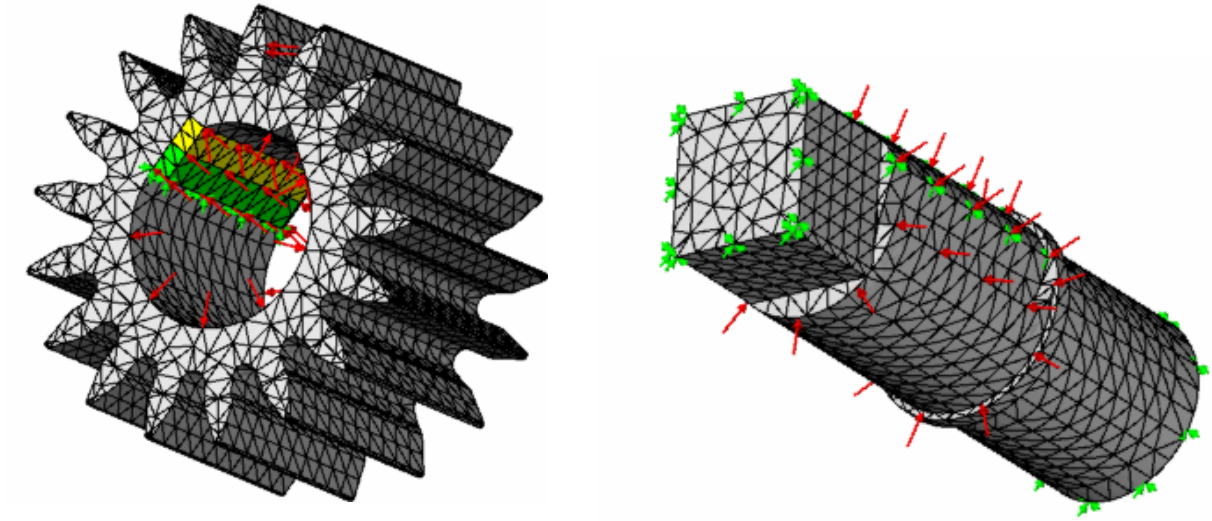


Fig. 3 Mallado de las piezas y aplicación de cargas y restricciones durante la aplicación del análisis por elementos finitos

Un ejemplo de las diferentes corridas de análisis por elementos finitos que permitieron determinar la deformación correspondiente a un nivel de presión dado y viceversa, se muestra en la Fig. 4. en la que se determina que un nivel de interferencia (sumatoria de las deformaciones del eje y la corona) del orden de 0,5 mm, a la altura del diámetro horizontal de la corona, provoca una presión p = 19,6 MPa.

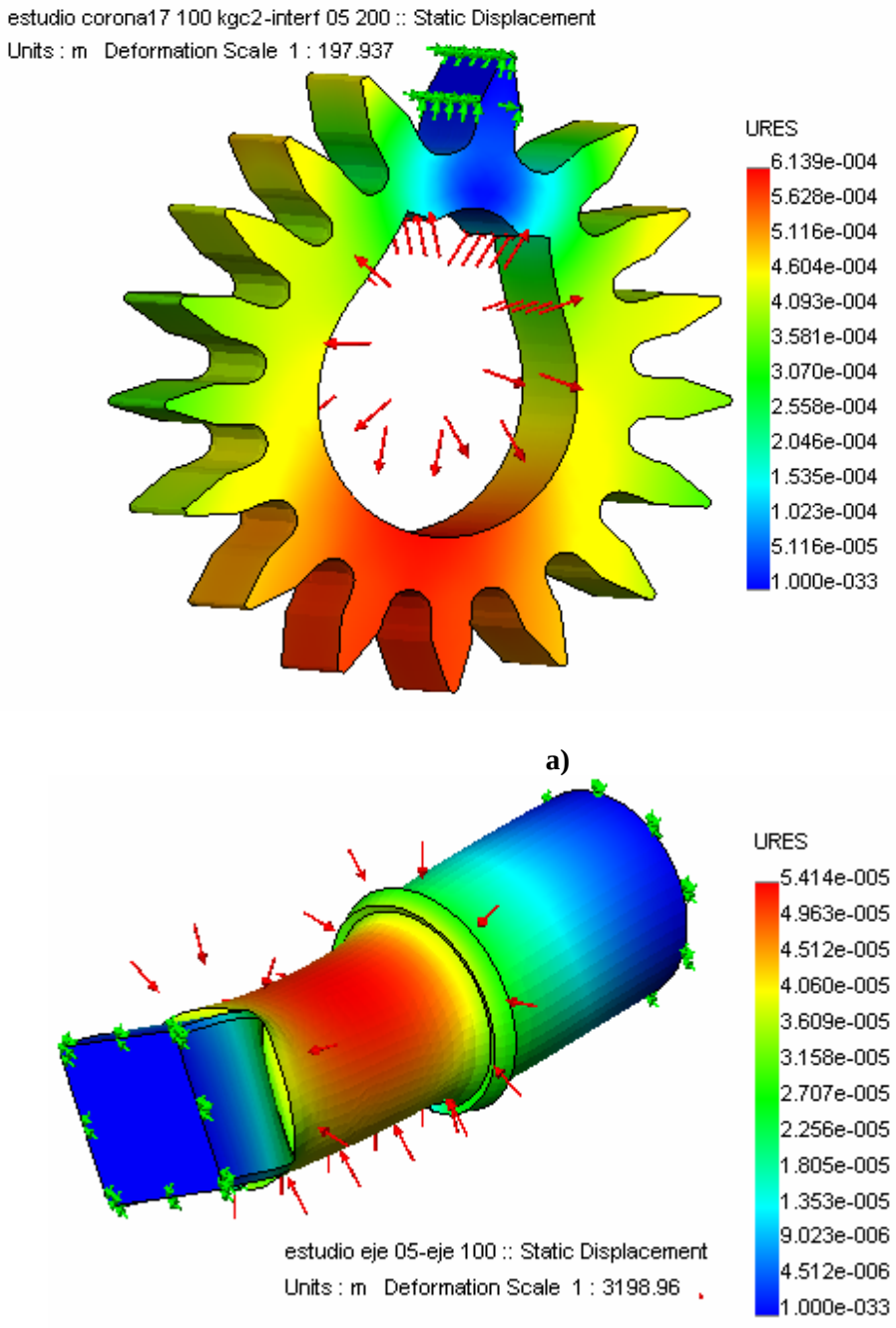


Fig. 4 Determinación de las deformaciones y la presión de la interferencia. a) Corona; b) eje

Cálculo del Torque que es posible transmitir por la fricción provocada por la interferencia.

Una vez conocida la presión que provoca la interferencia (en este caso de 0,5 mm.) fue posible determinar la fuerza de fricción circunferencial (Ff), así como la porción del torque (Mf) que puede transmitirse por esta vía, o sea, por la vía de la fricción de la unión eje-corona:

$$Ff = \mu \cdot p \cdot A$$

donde: A es el área de contacto entre la corona y el eje, A = 0,98 m2
y μ es el coeficiente de fricción entre el eje y la corona (0,155).

De manera que: $Ff = 0,155 \cdot 1,96 \cdot 10^7 \cdot 0,98 = 0,2976 \cdot 10^7$ N

Siendo el Torque: $Mf = Ff \cdot Rc$,

donde: Rc es el radio interior de la corona: Rc = 0,285 m.

Entonces $Mf = 0,2976 \cdot 10^7 \cdot 0,285 = 0,848 \cdot 10^6$ N.m

Cálculo del Torque Total a transmitir.

El Torque total a transmitir (Mt) se determina en función de la potencia del motor (Nm = 630 Kw) y la velocidad de rotación a la salida del reductor (ω = 0,18 rad/seg):

$$Mt = Nm / \omega = 630 \cdot 1000 / 0,18 = 1,095 \cdot 10^6 \text{ N.m},$$

Apreciándose que el torque capaz de transmitirse por la fricción ocasionada por la interferencia (Mf) representa el 77,4 % del torque total a transmitir (Mt).
La fuerza aplicada al diente del engranaje (Ft) de la corona correspondiente al torque total (Mt)se determina como:

$$Ft = Mt / Rd ,$$

donde: Rd es la distancia desde el centro del eje hasta la zona de contacto de los dientes durante la transmisión del torque (Rd = 0,5053 m).

Entonces: $Ft = 1,095 \cdot 10^6 / 0,5053 = 2,168 \cdot 10^6$ N.

Cálculo de la fuerza a transmitir por las cuñas.

La fuerza a aplicar al diente del engranaje para transmitir el torque de fricción es:

$$Ffd = Mf / Rd; \; Ffd = 0,848 \cdot 10^6 / 0,5053 = 1,678 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Descontando esta fuerza de la fuerza total, se determina la fuerza resultante (Fr) a aplicar que le corresponde transmitir a las cuñas:

$$Fr = Ft - Ffd ; \; Fr = 2,168 \cdot 10^6 - 1,678 \cdot 10^6 = 0,49 \cdot 10^6 \text{ N}$$

En la Fig. 5 se muestra la distribución de tensiones en la corona y las cuñas, determinada mediante análisis por elementos finitos bajo la aplicación de la carga anteriormente calculada. Como puede apreciarse el esfuerzo máximo sobre las cuñas o el cuñero no sobrepasa 100 MPa, por lo que el chavetero trabajará con un coeficiente de seguridad superior a 3, asumiendo un límite de fluencia en el orden de los 300 MPa. Tampoco aparecieron tensiones sobre este valor en los diferentes puntos de la corona.
En cuanto a las deformaciones (Fig.6) se aprecia que las deformaciones unitarias máximas solo alcanzan 241 microstrain.

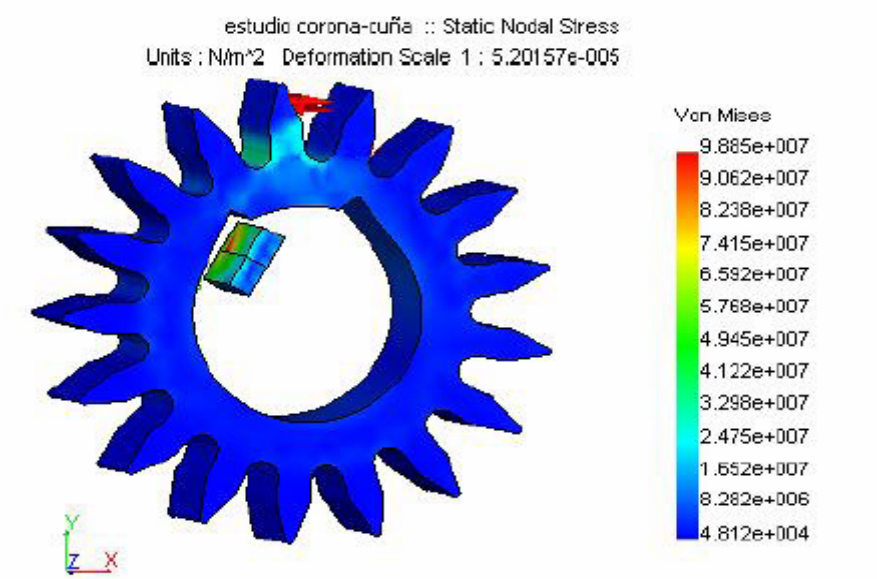


Fig. 5 Distribución de los esfuerzos equivalentes en las cuñas y la corona.

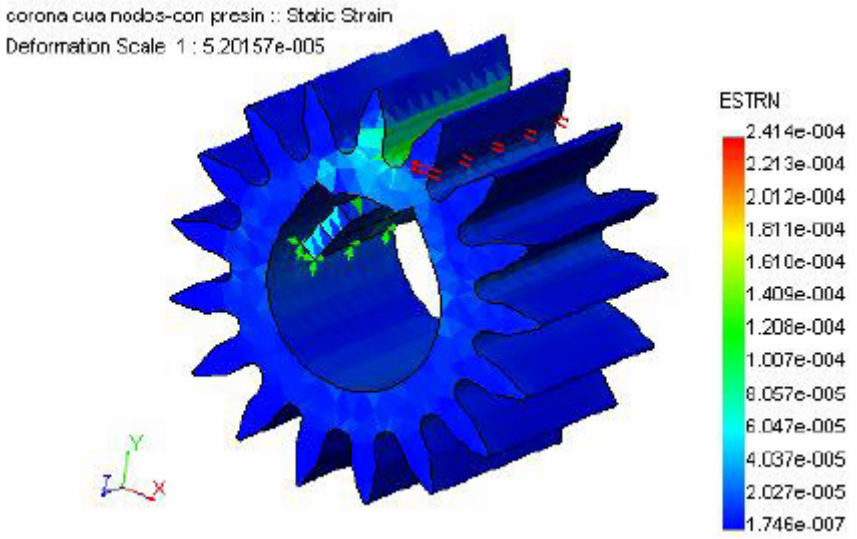


Fig. 6 Distribución de las deformaciones unitarias en la corona y las cuñas.

Resultados de la Aplicación.

La solución aplicada en el CAI "Héctor Molina Riaño" durante el proceso de montaje previo a la zafra 2006 -2007, estimándose un ahorro de combustible de 120 litros durante el montaje de cada conjunto. Si se considera que en cada molino existen tres uniones eje-corona, entonces la economía de combustible por cada molino asciende a 360 litros y para un tándem de 6 molinos el ahorro es superior a los 2000 litros.
Durante la zafra fue monitoreado el estado técnico de la transmisión, no detectándose diferencias en comparación con el método tradicional de montaje con mayor interferencia.

CONCLUSIONES.

- Se determinó que es posible y muy ventajoso, emplear el método de los elementos finitos como herramienta para el cálculo de uniones por interferencia.
- La aplicación de este método en el cálculo de una transmisión por cuñas tangenciales y unión por interferencia eje-corona de molinos de caña de azúcar, arrojó que con una interferencia del orden de los 0,5 mm es posible transmitir el 77,4 % del torque requerido, trabajando las cuñas, que son los elementos sometidos a las tensiones y deformaciones máximas, con un coeficiente de seguridad por encima de tres.
- El ahorro de combustible derivado del estudio realizado se estima en más de 2000 litros para un tándem de 6 molinos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Dubbel, H. Manual del Constructor de Máquinas Tomo I. Editorial Labor, S.A., 1969, p. 806.
- Dobrovolski, F. Elementos de Máquinas. Editorial MIR. Moscú. 1985.
- Korewa, W.; Zygmunt, K. Podstawy Konstrukcji Maszyn. Editorial Científico-Técnica, Varsovia. 1965, p. 140.
- Rodríguez, M. Introducción al método de los elementos finitos. Conferencia No 1.3 C. Habana. Cuba. octubre 2003. p. 1.
- Reshetov, D. Elementos de Máquinas. Editorial Pueblo y Educación. C.Habana. 1985. p. 111-112.
- Sosa D. A.; Echeverría M.D. ;Moncada O.J. ; Sikora J. A. Eefectos del mecanizado y de una ferritización previa sobre la distorsión y variación dimensional enengranajes de adi. Jornadas SAM – CONAMET – AAS 2001, Argentina. Septiembre de 2001. p. 475-484.

DESARROLLO DE TRANSDUCTOR DE PRESIÓN Y PRESIÓN DIFERENCIAL. EVALUACIÓN EN SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL CAI "HÉCTOR MOLINA".

Arturo Martínez Rodríguez[1]; Amado Morales Fonta[2]; Remigio Durán Hernández[3].

[1] Investigador Titular. Centro de Mecanización Agropecuaria de la Universidad Agraria de La Habana. (UNAH) email: arturo@isch.edu.cu ; armaro6@yahoo.es. [2] Técnico de Laboratorio del Centro de Mecanización Agropecuaria. UNAH. [3] Especialista Mecánico del Centro de Mecanización Agropecuaria. UNAH.

RESUMEN

Como parte de un proyecto de investigación financiado por la Universidad Agraria de la Habana, se desarrolló un transductor de presión y presión diferencial con salida eléctrica, destinado al control de procesos en sistemas de generación de vapor.
La calibración estática del transductor arrojó una excelente característica de linealidad, caracterizado por un coeficiente de regresión lineal $R^2 = 0,9997$, no detectándose además efectos apreciables de histéresis.
La comparación en condiciones de laboratorio de la respuesta dinámica del transductor, con la de otro sensor similar de una marca internacionalmente reconocida, arrojó un comportamiento dinámico análogo en ambos sensores, aunque con una característica de amortiguamiento algo superior en el sensor desarrollado, lo cual es favorable de acuerdo a su destinación.
Los resultados de la evaluación en condiciones de explotación, la cual se llevó a cabo en el sistema de generación de vapor de un central azucarero, no mostraron diferencias significativas entre los valores medios y la desviación media cuadrática de los registros analizados procedentes del sensor desarrollado y de otro sensor de marca SIEMENS conectado a la misma línea.
El transductor desarrollado fue objeto de la concesión de Certificado de Autor de Invención por la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial.

PALABRAS CLAVE: transductor; presión; presión diferencial; vapor.

ABSTRACT.

As part of a research financed by the Agrarian University of Havana, a pressure and differential pressure transducer with electric output was developed. The transducer was designed to be used in control of processes in systems of steam generation.
The static calibration of the transducer brought an excellent linearity characteristic, characterized by a coefficient of linear regression R2 = 0,9997, not being also detected appreciable effects of histeresys.
The transducer were compared, under laboratory conditions, with another one of an internationally noted firm, showing both sensors a similar dynamic behavior, although with a superior damping characteristic in the developed sensor.
The results of the test under real conditions of production didn't show significant differences between the mean values and the standard deviation of the recorder data coming from the developed sensor and from the patron transducer, when connected to the same steam line.

The developed transducer was object of concession of Certificate of Author of Invention by the Cuban Office of the Industrial Property.

KEY WORDS: transducer; pressure; differential pressure; steam.

INTRODUCCION

El aumento de la eficiencia de la producción azucarera en Cuba, constituye una tarea de primer orden para el Ministerio del Azúcar y el Estado Cubano, constituyendo el proceso industrial de fabricación de azúcar un eslabón fundamental de todo el sistema de producción.

A partir de una experiencia que comenzó en el C.A.I. “Fernando de Dios” en la provincia de Holguín, ha cobrado un auge extraordinario en el país el proceso de automatización de la industria azucarera, contando estos trabajos con la más alta prioridad estatal.

Un grupo importante de Centros de Investigación, empresas especializadas y Universidades han estado apoyando estos trabajos, que ya se han extendido a otros C.A.I. del país.

Especialistas cubanos han desarrollado los autómatas y softwares necesarios para llevar a cabo estos procesos de automatización, sin embargo, los elementos sensores primarios son importados, constituyendo una importante erogación de divisas, si se tiene en cuenta que el precio de un sensor de esta naturaleza en el mercado internacional oscila entre 400 y 1000 U.S.D., y que para la automatización del proceso fabril en un central azucarero se requieren decenas de sensores de este tipo.

En el Laboratorio de Extensometría Eléctrica del Centro de Mecanización Agropecuaria de la UNAH, desde 1994 (Martínez y col., 1994; Martínez y col., 1995) se ha trabajado en el desarrollo de sensores de presión extensométricos con salida eléctrica, aplicables a mediciones y registro de presiones en sistemas oleohidráulicos

A partir de esta experiencia, se decide en el CEMA acometer el desarrollo de transductores de presión y de presión diferencial, aplicables al monitoreo de presión y flujo de vapor y agua en calderas de generación de vapor, así como del nivel de agua en el domo de las calderas u otros puntos de medición y control.

Es en este sentido que, con financiamiento de nuestra propia Universidad, y con la colaboración de los Dptos. de Instrumentación y de Comunicaciones del CAI "Héctor Molina", se acometió en el CEMA el diseño y construcción de prototipos experimentales de sensores de presión y de presión diferencial.
En lo referente a sensores de este tipo, el mercado mundial está en manos de grandes firmas productoras de prestigio (Siemens, Y.E.W., Philips, Kyowa, Hitachi, etc.) estando registradas un gran número de patentes (Abbot, 1977; Bergamini, 1977; Biddle, 1977; Garnet, 1975; Miyauchi, 1975; Nilsson, 1977; Nishihara, 1976; Rud, 1978; Saigusa, 1976; Siegel, 1976; Whitehead, 1978) y destacándose en los precios de este tipo de producto el componente correspondiente al know-how, pudiéndose lograr en el país la producción de sensores de uso específico a un costo inferior, que puede considerarse del orden de hasta un 50% de los precios de oferta internacionales.

Constituyó el objetivo fundamental de este proyecto, lograr soluciones técnicas y tecnológicas más simples en la fabricación de sensores de presión diferencial, aplicables a la industria azucarera y a otras industrias e instituciones nacionales, lo cual posibilite la producción nacional de este renglón con una reducción sensible de los costos de inversión en este tipo de equipamiento y garantizando el cumplimiento de los requerimientos de calidad para este tipo de producto.

DESCRIPCION DEL SENSOR DESARROLLADO

El transductor de presión diferencial está compuesto por dos celdas de presión idénticas (Fig.1), cada una de las cuales está constituida por una tapa (1) con forma de cilindro metálico de pared gruesa y fondo en forma de placa delgada (que hace la función de diafragma de medición). En la superficie exterior de ambas placas se implantan cuatro extensómetros de resistencia eléctrica (R_1) (R_2) (R_3) (R_4) convenientemente situados de manera de captar las deformaciones que son proporcionales a las presiones que actúan en las caras interiores de las placas.

Las cuerpos (3) de las cámaras de presión se ensamblan con las tapas (1) y el anillo distanciador (7) formando un cuerpo único que es fijado mediante los tornillos (6). Entre las tapas y los cuerpos de las cámaras de presión se colocan las juntas anulares (2) para el sellaje del fluido sujeto a medición. Las cámaras de presión se conectan al conjunto de conexión (Manifold) mediante las tomas roscadas (4).

El hecho de que en cada celda de presión la placa correspondiente forma parte integral del cilindro de pared gruesa, evita, con una solución tecnológica muy simple, la necesidad de utilizar en contacto directo con la placa, elementos de sellaje que puedan introducir efectos de borde que afecten las características de linealidad del transductor.

Por otro lado, al estar los extensómetros implantados en las caras exteriores de las placas, se evita que los mismos estén expuestos a la acción de fluidos corrosivos, lo que se logra en otros tipos de transductores empleando cámaras selladas intermedias de transmisión de las presiones, rellenas con algún fluido incompresible, generalmente aceite de silicona.

Los cables provenientes de los extensómetros eléctricos, portadores de la señal eléctrica de salida del transductor, salen a través de un orificio practicado en la parte superior del anillo (7).

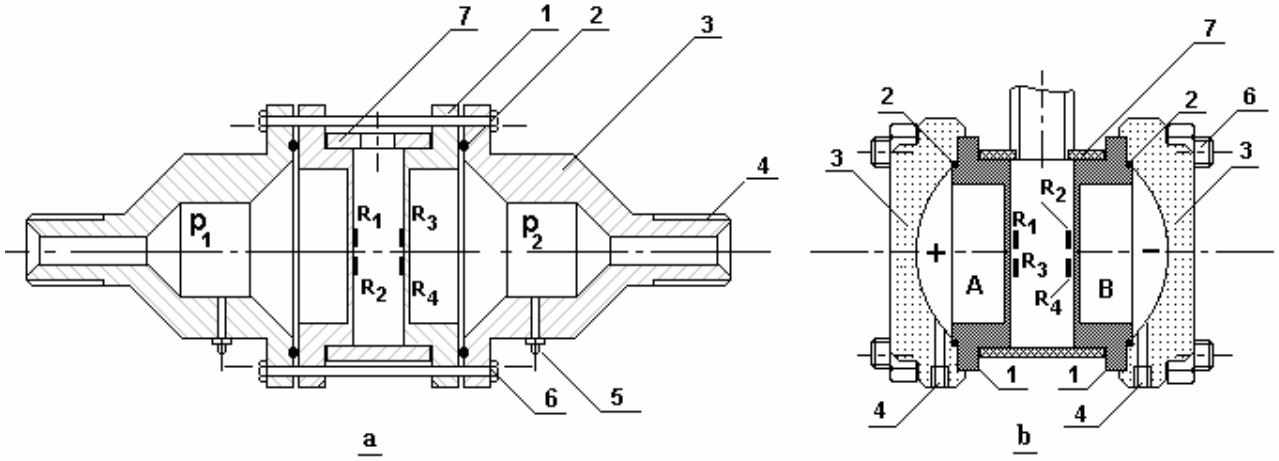


Fig.1 Modelo de sensor de presión diferencial: a) Para instalación en Manifold del tipo antiguo; b) Modelo patentado para instalación moderna.

1) Tapa; 2) Junta anular; 3) Cuerpo de la cámara de presión; 4) Conexión al Manifold; 5) Drenaje; 6) Tornillos; 7) Anillo distanciador; R_1, R_2, R_3 y R_4,: extensómetros eléctricos.

La Fig.2 es un esquema que muestra la conexión en puente de los extensómetros, donde puede apreciarse que los correspondientes a cada placa se colocan en ramas alternas de un puente de Wheatstone, con lo que se obtiene una modificación del voltaje de salida (e) del puente, que es proporcional a la diferencia de presiones ($p_1 - p_2$) actuantes en ambas cámaras.

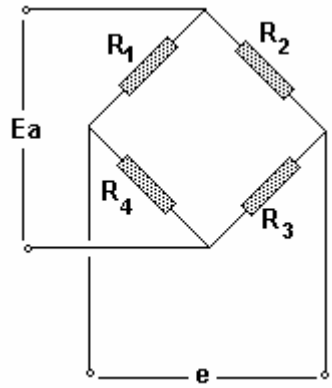


Fig. 2 Conexión del puente de extensómetros.
Ea: vVoltaje de alimentación; e: voltaje de salida;
R_1, R_2, R_3 y R_4,: extensómetros eléctricos.

El funcionamiento del transductor es como sigue: Al comunicarse las cámaras de presión con los puntos de medición correspondientes, las presiones p_1 y p_2 se transmiten a las cámaras provocando la deflexión de las placas de pared delgada. Esta deflexión provoca una deformación a cada pareja de extensómetros, la cual es proporcional a la presión actuante en la placa correspondiente. Estas deformaciones provocan cambios en la resistencia eléctrica de los extensómetros que, a su vez, son proporcionales a las deformaciones. Estos cambios en la resistencia eléctrica de los extensómetros (ΔR_i) provocan, por su parte, un cambio en el voltaje de salida del puente, que para $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$, está dado por la expresión:

$$e = \frac{E_a}{4}\left[\frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_2}{R} + \frac{\Delta R_3}{R} - \frac{\Delta R_4}{R}\right] \quad \text{..... 1}$$

Como quiera que: $(\Delta R_1 + \Delta R_3) = K_1 p_1$

y: $(\Delta R_2 + \Delta R_4) = K_2 p_2$,

entonces: $e = K (p_1 - p_2)$, ……..…….. 2

donde: K; K_1; K_2 - constantes de proporcionalidad,

E_a - voltaje de alimentación del puente.

O sea, que el voltaje de salida del puente es proporcional a la diferencia de presiones entre las dos cámaras.

EVALUACION DEL SENSOR EN CONDICIONES DE LABORATORIO.

La evaluación del sensor en condiciones de laboratorio se efectuó con los siguientes objetivos:

- Evaluar la característica de linealidad del sensor;
- Evaluar los posibles efectos de histéresis;
- Determinar la sensibilidad a partir de la calibración estática;
- Evaluar la respuesta dinámica.

La evaluación en condiciones de laboratorio se efectuó en el laboratorio de Oleohidráulica del CEMA, empleándose, para las pruebas en condiciones estáticas, una instalación montada a los efectos.

Del análisis de la curva de calibración obtenida (Fig.3), pudo apreciarse la obtención de un alto coeficiente de regresión (R^2=0.9997), así como una excelente característica de linealidad, y la ausencia apreciable de efectos de histéresis. De la ecuación de regresión se obtuvo una sensibilidad (incluyendo la amplificación) de 24,6 mV/atm.

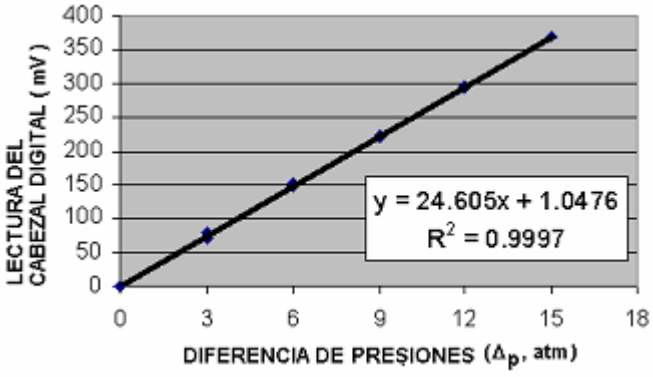


Fig.3 Resultado de la calibración estática del sensor.

La evaluación de la respuesta dinámica se efectuó comparando la respuesta del sensor desarrollado, con la respuesta de un sensor de presión de una firma reconocida mundialmente (PHILIPS).

La evaluación de la respuesta dinámica se efectuó comparando la respuesta de cada uno de las placas del sensor desarrollado, con la respuesta de un sensor de presión de una firma reconocida mundialmente (PHILIPS). Para ello ambos sensores fueron instalados en la línea de presión de un banco de pruebas de elementos oleohidráulicos NK-4815 M, sometiéndose a variaciones dinámicas de la presión mediante el accionamiento brusco en ambos sentidos de la válvula de estrangulación que posee el banco. Las señales provenientes de ambos sensores fueron introducidas a una computadora a través de una tarjeta de conversión A-D, efectuándose el registro de las curvas de variación de la presión en función del tiempo. La toma de datos digitalizados se efectuó a una velocidad de 1 dato cada 5 ms.

En la Fig. 4 se muestra la comparación de la respuesta dinámica de ambos sensores a una señal dinámica aleatoria, pudiendo apreciarse una respuesta casi idéntica a los cambios dinámicos de la presión, aunque con una característica de amortiguamiento algo superior en el sensor desarrollado, lo cual es favorable de acuerdo al destino de utilización del sensor.

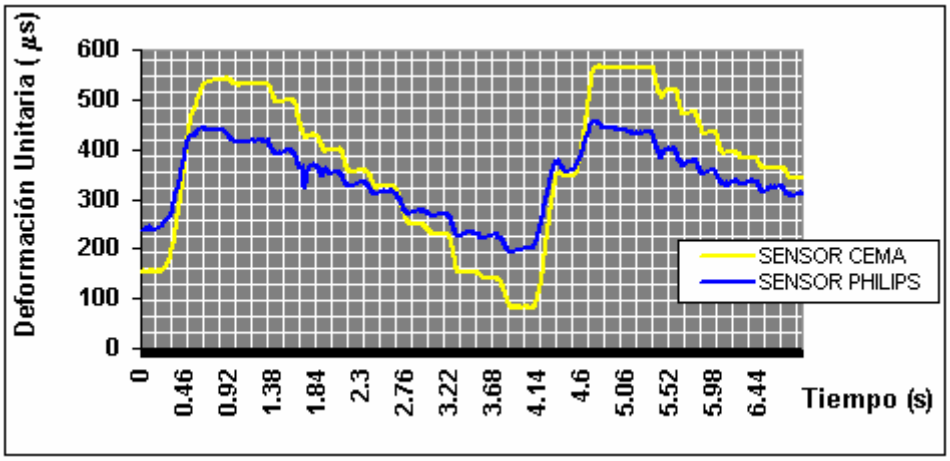


Fig.4 Registro obtenido bajo cargas dinámicas

EVALUACIÓN DEL SENSOR EN CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN

Para la evaluación en condiciones de explotación, el sensor fue conectado a la línea de vapor de la Caldera No.3 del sistema de generación de vapor del CAI "Héctor Molina Riaño" Prov. La Habana, comparándose su lectura con la de un sensor de la firma SIEMENS situado en otro punto de la misma línea.

Como resultado de la comparación de los registros de ambos transductores, pudo apreciarse un idéntico comportamiento en el registro de las variaciones de presión en función del tiempo, no presentándose diferencias significativas en los valores medios y la desviación media cuadrática de los registros analizados. Las figuras 5 y 6 muestran uno de los registros diarios del sistema de control computarizado del CAI, donde puede compararse el registro del sensor desarrollado con la del sensor que se empleó como base comparativa.

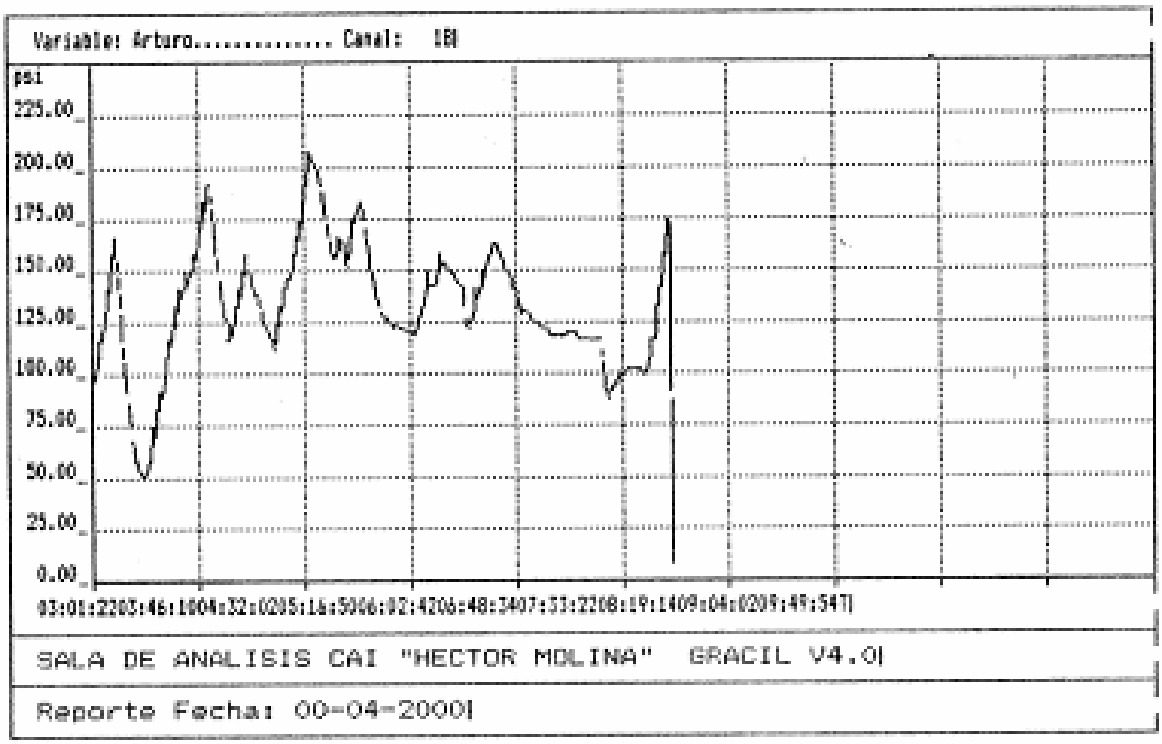


Fig. 5 Registro de las mediciones en línea de vapor con sensor CEMA

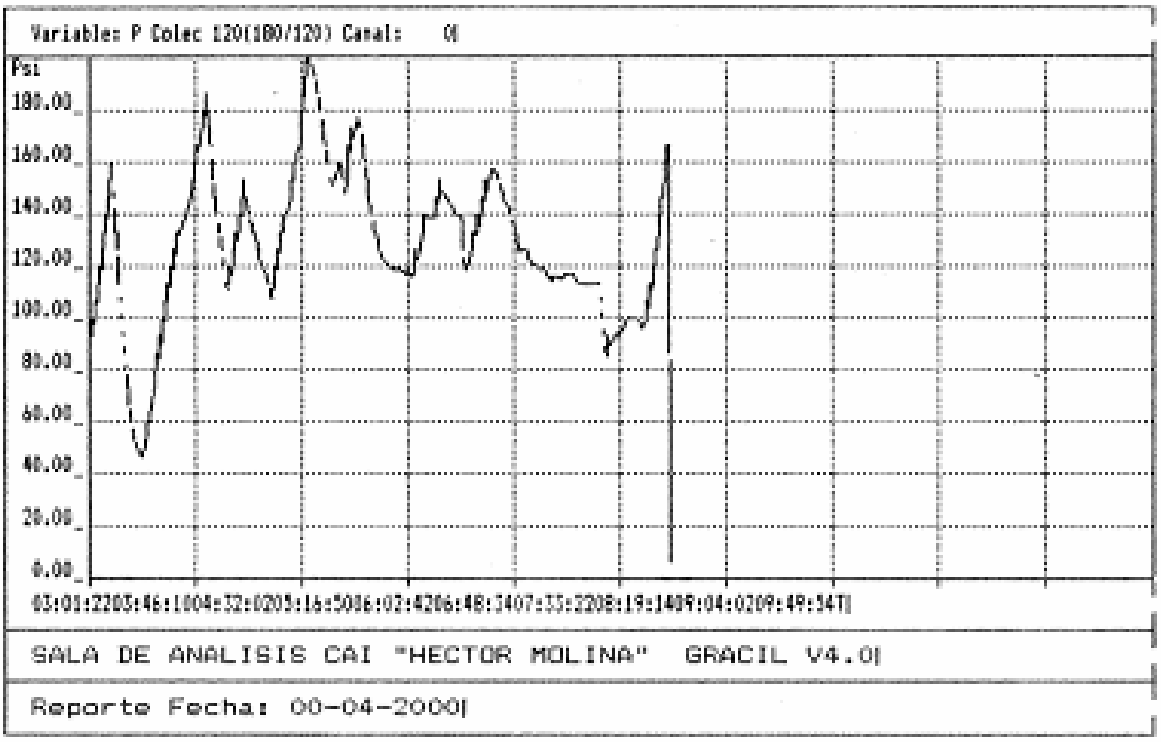


Fig. 6 Registro de las mediciones en línea de vapor con sensor SIEMENS

CONCLUSIONES.

- Como parte de un proyecto de investigación financiado por la Universidad Agraria de la Habana, se desarrolló un transductor de presión y presión diferencial con salida eléctrica, destinado al control de procesos en sistemas de generación de vapor.
- La calibración estática del transductor arrojó una excelente característica de linealidad, caracterizado por un coeficiente de regresión lineal R^2 = 0,9997, no detectándose además efectos apreciables de histéresis.
- La comparación en condiciones de laboratorio de la respuesta dinámica del transductor, con la de otro sensor similar de una marca internacionalmente reconocida, arrojó un comportamiento dinámico análogo en ambos sensores, aunque con una característica de amortiguamiento algo superior en el sensor desarrollado, lo cual es favorable de acuerdo a su destinación.
- Los resultados de la evaluación en condiciones de explotación, la cual se llevó a cabo en el sistema de generación de vapor de un central azucarero, no mostraron diferencias significativas entre los valores medios y la desviación media cuadrática de los registros analizados procedentes del sensor desarrollado y de otro sensor de marca SIEMENS conectado a la misma línea.
- Como parte de los resultados del trabajo se obtuvo el Certificado de Autor de Invención No. 22 811 emitido por la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial con fecha 18 de abril de 2002.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbot, A.R., Milliken, W.C. Digital differential pressure measurement apparatus Pat. No. 4091682. 1977.
- Bergamini, G. Protection System for the overpressures of a silicium water sensor used in a differential pressure transducer. Pat. No 4028945. 1977.
- Biddle, J.M., Hickox, R.M. Differential pressure measuring device. Pat. No. 4034610 . 1977.
- Garnet, L.T., Lyon, La Verne Dean. Pressure sensor apparatus and transducer therefor. Pat. No. 3875802. 1975.
- Martínez, A. y col. Diseño y Construcción de un transductor tensométrico de presión. IX Forum de Ciencia y Técnica. San José de las Lajas.1994.
- Martínez, A. y col. Desarrollo de transductor de presión diferencial. X Forum de Ciencia y Técnica. San José de las Lajas. 1995.
- Miyauchi, R,I., Saito, B. , Ikeda, K. Symmetrically arranged, deflection type Differential Pressure Transmitters fr controling industrial systems and processes. Pat. No. 3869920. 1975.
- Nilsson, K., Klestrom, O. Flow Meter with piezo-ceramic resistance element.Pat. No. 4100798. 1977.
- Nishihara, T. Differential pressure transducer. Pat. No. 3995493. 1976.
- Rud, S. E (Jr). Differential pressure sensor capsule with low aceleration
- sensitivity. Pat. No. 4120206. 1978.
- Saigusa, T. Differential pressure transducer. Pat. No. 4073191. 1976.
- Siegel, W.A. Differential pressure transmitter. Pat. No. 3999435. 1976.
- Whitehead, R.C.(Jr). Differential pressure transmitter with pressure sensor protection. Pat. No. 4072058. 1978.

GASIFICACIÓN DE BIOMASA CAÑERA CON FINES DE GENERACIÓN DE POTENCIA: APUNTES PARA UNA ESTRATEGIA DE ANÁLISIS.

Carlos de Armas Casanova, Raúl Sabadí Díaz, Alfredo Torres Fernández

ICIDCA, Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, Ciudad Habana, Cuba
carlos.dearmas@icidca.edu.cu , raul.sabadi@icidca.edu.cu , alfredo.torres@icidca.edu.cu

Resumen

Una vía muy eficiente de uso del carbono, con fines tanto energéticos como de materia prima en síntesis orgánica, es la llamada "gasificación". En estos momentos hay un fuerte movimiento hacia la gasificación de biomasa a la que se han dedicado grandes esfuerzos de investigación científica, así como de estudios de ingeniería en las últimas décadas. Sin embargo, mientras la gasificación de carbón ha alcanzado la escala comercial, la de biomasa no ha pasado de la escala piloto en la mayoría de los casos. Pero es una opción clara a corto plazo. La gasificación de biomasa tendrá importancia en la Matriz Energética del país, por la existencia de abundante material lignocelulósico proveniente de la caña de azúcar, y su relación con la producción integrada de azúcar, etanol, alimento animal, biogas y otros derivados. En los estudios de factibilidad de proyectos de este tipo que se realicen habrá que trabajar sobre la base del conocimiento en diagramas de flujo, balances de masa y energía (estequiometria), incluidos los aspectos de termofísica y termoquímica, mas los análisis económicos correspondientes. En este trabajo se presentan aspectos del estado del arte, equipos y procesos, así como una base inicial de trabajo para estos estudios, la cual debe continuar desarrollándose. Integrar un grupo de trabajo con las experiencias de diversas instituciones facilitaría el desarrollo de herramientas que permitan estudiar variantes tecnológicas de una manera rápida.

Abstract

A very efficient way for using carbon, for producing energy as well as a raw material in organic synthesis, is the so called "gasification". In these moments there is a strong movement toward the gasification of biomass to which big efforts of scientific research, as well as engineering studies, have been devoted in last decades. However, while coal gasification has reached the commercial scale, that of biomass has not passed of the pilot scale in most of the cases. But it is a short term clear option. Biomass gasification will have importance in the national energy matrix, due to the existence of abundant lignocellulosic material coming from sugar cane, and its relationship with the integrated production of sugar, ethanol, animal food, biogas and other byproducts. In projects feasibility studies, that could be carried out in the future, it will be necessary to work upon the base of the knowledge and experience in flow diagrams, mass and energy balances (stoichiometry), including the aspects of thermophisics and necessary thermochemistry, and the corresponding economic analyses. In this paper, aspects of the state of the art, equipment and processes are presented, as well as a working initial basis for these studies, which should continue being developed. To integrate a working group with the experiences of diverse institutions would facilitate the development of tools that allows to study technological alternatives in a quick way.

Palabras claves: gasificación, biomasa, caña, electricidad, combustible

Keywords: gasification, biomass, cane, electricity, fuel

Introducción

No resulta necesario hablar sobre la importancia del elemento Carbono en la aparición y permanencia de los seres vivos en la Tierra, y tampoco resulta necesario buscar y manipular los indicadores asociados a su presencia. Sabemos que no son pequeños, en los vegetales encontramos presencias hasta del orden del 40 % sobre base seca. Por milenios, se ha estado quemando material vegetal, de forma provocada por el hombre y espontáneamente, generándose anhídrido carbónico (CO_2), aparte de vapor de agua y otros gases. En paralelo a esta generación de CO_2 de origen vegetal, se genera más CO_2 producto de la combustión de combustibles de origen fósil realizada por el hombre con fines económicos, se incorporan gases producto de la erupción de los volcanes y transformaciones en las formaciones geológicas en subsuelos, así como producto de la respiración de microorganismos en la descomposición de materia orgánica. Al mismo tiempo, debido a la función clorofiliana en las plantas, promovida por los rayos solares, se fija carbono del CO_2 que es así "secuestrado" de la atmósfera y "almacenado", como componente de los tejidos vegetales, por periodos mayores o menores, dependiendo este tiempo de la longitud de vida de las especies de que se trate. No se puede negar la complejidad en la realización de un balance de CO_2 en la atmósfera con su enfoque dinámico.

Evitar el incremento del CO_2 en la atmósfera contribuye a controlar el efecto invernadero y, a su vez, ayuda a la permanencia del hombre en la Tierra. Si se continúan quemando combustibles de origen fósil, carbones minerales en sus diferentes formas, petróleo y sus derivados, gas natural, asfalto, y otros, con las razones de crecimiento actuales, y aún manteniéndose los valores de incremento de la acumulación actuales, es decir, sin ningún crecimiento, la supervivencia del hombre puede ser cuestión de décadas, lo cual es reconocido y aceptado por los científicos que estudian este fenómeno. A veces hay confusión con esto, el problema primero con los combustibles fósiles no es que se agoten. Antes de ello, el contenido de CO_2 en la atmósfera alcanzará valores que harán que la temperatura de ésta aumente lo suficiente, por la absorción de las radiaciones solares que harán imposible la vida en la Tierra. Obsérvese que con las tecnologías que ha establecido el hombre para obtener energía, el carbono está pasando del subsuelo a la atmósfera, no existiendo un comportamiento cíclico. Es decir, este CO_2 se acumula en la atmósfera ya que, por otra parte, el cultivo de vegetales, y el fomento de bosques, mas el crecimiento de la floresta y bosques silvestres, están muy lejos de compensar el CO_2 que se libera en las plantas termoeléctricas existentes en todo el mundo, más el que se produce por el transporte automotor.

El carbono de origen fósil no muestra, como se ha expresado, un ciclo cerrado como el de la fotosíntesis. Este, como se conoce, es fijado en forma de, y como parte, de tejido vegetal en las plantas, quedando parcialmente "secuestrado" en bosques, o "capturado" por plantas de ciclo corto y devuelto a la atmósfera en la descomposición de éstas al final de cada ciclo. Hoy en día se manejan algunos enfoques orientados a evitar el incremento del contenido de CO_2 con carácter permanente en la atmósfera (Herzog, 2007). Se realizan estudios para su ¨captura¨ y ¨secuestro ¨, de forma artificial por el hombre, especialmente los vinculados a la generación de energía y el mas sobresaliente, la sustitución del carbono fósil por carbono contenido en la biomasa, aunque todavía muy lejos de sustitución total. En este trabajo se analiza el uso de la biomasa cañera con fines de gasificación y se realizan algunos cálculos preliminares.

Sobre el estado del arte.

Por milenios, el hombre ha utilizado la biomasa como combustible sin entrar en estas especulaciones por falta de necesidad y conocimiento. Sin embargo, ahora, para ir a grandes magnitudes, y a la necesidad del

manejo de diferentes formas para viabilizar su uso, se va a enfoques que pueden hasta duplicar las eficiencias de utilización. Inclusive se manejan enfoques bien sofisticados, como el de la concepción de plantas eléctricas grandes, hasta de 500 MW, para operar con H_2 y O_2, alcanzando 70 % de eficiencia, sin ninguna emisión de CO_2 (Biasi, 2005).

Una vía muy eficiente de uso del carbono, con fines tanto energéticos como de materia prima en síntesis orgánica, es la llamada "gasificación", concepto que se refiere a la conversión de alguna sustancia sólida o líquida, relativamente rica en carbono, como la biomasa cañera, mediante el auxilio de oxígeno, aire y/o vapor de agua, para su oxidación, a presiones y temperaturas mas bien altas (hasta 100 bar y 800 a 1100 ^{o} C), en una mezcla de gases, constituida fundamentalmente por monóxido de carbono e hidrógeno. En estos momentos hay un fuerte movimiento hacia la gasificación de biomasa. Una gran cantidad de especies vegetales, muestra un alto contenido de carbono y algún hidrógeno, aunque mas bien poco. Tienen la virtud que en el caso del carbono, por haber sido fijado de la atmósfera por la función clorofiliana, la combustión de este elemento de dicha materia, no incorpora anhídrido carbónico a la atmósfera, con carácter permanente, como el de los combustibles fósiles, pudiendo utilizarse con fines energéticos sin incrementar los niveles del "efecto invernadero".

En el mundo se producen anualmente millones de toneladas de material lignocelulósico, con más de 40% de carbono y algo más de 6% de hidrógeno, sobre base seca, que en el caso de su uso como combustible, o bien se queman eficientemente en industrias adecuadamente ingenierizadas, o ineficientemente en industrias con malas realizaciones en esto, aunque eventualmente económicas, o siguiendo esquemas económicos dirigidos a la baja eficiencia por determinadas estrategias, como son las de producción de azúcar y alcohol de caña en casi todo el mundo, en las que un bagazo "sobrante" por altas eficiencias energéticas, se puede volver una carga económica. Al principio de este párrafo se hace referencia a "materiales ligno-celulósicos" porque no son sólo residuos vegetales, existe una fuente millonaria en este campo, que son los residuos sólidos municipales (la basura de las ciudades, MSW en inglés), que muestran composición similar, y se pueden utilizar como combustibles, y de hecho se utilizan ya en algunos países desarrollados.

En las últimas décadas se han dedicado grandes esfuerzos de investigación científica y técnica, así como de estudios de ingeniería, a la gasificación de la biomasa, los cuales se han nutrido fuertemente de los conocimientos y experiencias de la gasificación del carbón mineral, que ha avanzado aceleradamente en busca de sustitutos de diferentes derivados del petróleo, sobre la base del carbón fósil.

En la época de la II Guerra Mundial se avanzó mucho, sobre todo buscando un sustituto para la gasolina como combustible automotor por esta vía. Después de la guerra, este desarrollo se estancó, por muchos años, hasta la primera llamada "Crisis del Petróleo". Hoy en día, constituye una línea importante de desarrollo en Estados Unidos, y muchos otros países tecnológicamente avanzados, la sustitución del petróleo y sus derivados, por productos sintetizados a partir de carbón gasificado. Actualmente en el mundo hay 16 plantas, con esquema integrado de gasificación (IGCC, siglas en idioma ingles), trabajando en status normal comercial, generando un total de 4050 MW (Gas Turbine World, 2007). De estas plantas, cinco trabajan sólo con carbón y una con carbón y biomasa (en baja proporción).

Como se expresa más arriba, la gasificación de carbón ha avanzado rápidamente, y aunque ésta, y la de biomasa son similares y los gases principales que aparecen en ambas son los mismos, monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H_2), muestran características tan diferentes ambas tecnologías, que no se puede copiar fríamente lo de una en la otra. Resulta evidente que las estructuras porosas de ambas materias primas no son iguales, provocando entre otras cosas, que los coeficientes de transferencia globales (de masa y calor), no se tengan que parecer. Igual sucede con los coeficientes de la hidrodinámica; en las velocidades de arrastre, caídas de presión, características de fluidización, etc.

Es necesario puntualizar que mientras la gasificación de carbón ha alcanzado la escala comercial, la de biomasa no ha pasado de la escala piloto. Lo único que hay, es la alimentación mixta de carbón y biomasa, pero en las referencias al respecto que se encuentran, la incorporación de biomasa no pasa del 5 al 10% del total. En cuanto a las plantas, la referencia que se ha encontrado, es de la planta Nuom-Demkolec, Buggenum, Holanda, del año 1994, con gasificador Shell, y turbina Siemens 1x V94.2, 253 MW (Gas Turbine World, 2007). En estas instalaciones se encuentra una diversidad de combustibles, pero con no más de dos combustibles diferentes en una instalación.

Se ha hablado de la semejanza de ambos esquemas, existiendo diferencias en parámetros de operación. La biomasa es mas reaccionante, y menos resistente a la descomposición que el carbón, demandando este, parámetros de temperatura, presión y tiempos de residencia superiores. Por otra parte, es necesario recordar, que enfrentamos un sistema en equilibrio de un conjunto de diversas especies (CO_2, CO, H_2, H_2O, CH_4, y otros, presentes en menores proporciones), y que en dependencia de las condiciones de presión y temperatura se ajustan las fracciones molares de cada especie, respondiendo a la ley de Gibbs, buscando encontrar las composiciones en equilibrio, minimizando la energía libre del sistema.

En la literatura pública especializada se encuentran, dentro del abundante número de trabajos muy bien elaborados y presentados, tres, que vale la pena señalar refiriéndonos a sus enfoques, desarrollos y conclusiones, extrayendo de forma compactada, aquellos elementos sobresalientes, útiles para el estado de conocimiento de la temática en que nos encontramos actualmente, estos son;

- "Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production". Preparado para el U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory (NETL), por Jared P. Ciferno & John J. Marano, Junio 2002.

- "Hawaii's Future with Integrated Gasification Fuel Cell Combined Cycle", preparado por Terry R. Galloway, de Intellergy Corporation, en Junio 2004,.

- "Gasification of Biomass – An Overview on Available Technologies", preparado por Ulrich Zuberbuhler, Michael Specht y Andreas Bandi del Centro de Investigaciones de Energía Solar e Hidrógeno (U. Zuberbühler Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, ZSW) en Alemania en el 2006.

El primero es un documento de más de 60 páginas, que recoge el estado de la problemática en la época (2002), el segundo, un Proyecto bastante detallado para Hawai, un estado azucarero de caña, y el tercero presenta de forma bastante compacta, las tecnologías mas comunes que se desarrollan. El trabajo del NETL se ha continuado ejecutando a partir de modelos de simulación realizados previamente, identificados como BCL (Batelle Columbus Laboratory), aunque es necesario señalar que los propios autores reconocen dos defectos, uno, que no se fue suficientemente amplio en los límites de las pruebas, y dos, se trabajó sólo casi a la presión atmosférica, y se encontró que quizás el modelo seleccionado no es el que mejor se ajusta a la práctica en lo referente al procesamiento de las "corrientes abajo (down streams), o de salida" de productos líquidos, gas de síntesis ("syngas"), y otros. No obstante hay que señalar que se realizó una cuidadosa búsqueda bibliográfica, organizándose la información, dividida en seis aspectos: análisis de la materia prima, condiciones (parámetros) de operación, composición del syngas, emisiones, capital de inversión y equipamiento. El enfoque no ha sido la búsqueda de una tecnología superior, si no más bien, la búsqueda y establecimiento de puntos de referencia en las diferentes tecnologías, sobre todo en sus relaciones con su utilización comercial, y con vistas a su futura real utilización.

El segundo trabajo constituye un ejemplo bien concebido y formulado técnicamente de enfoque integral para un país o región, como se pudiera hacer para nuestro país, y el tercero se refiere en general, como se dijo más arriba, a la presentación y descripción de las tecnologías más avanzadas y prometedoras en proceso de desarrollo.

Sobre los equipos y procesos.

En general, las entidades que trabajan en esta temática han esquematizado bastante todo el proceso de ingenierización, existiendo diseños típicos para los diagramas de flujo y equipos principales, como el propio gasificador, los sistemas de limpieza de gases, los intercambiadores de calor, etc. Empresas como Texaco, Shell, Foster Wheeler, Lurgi, y otras (más de veinte), disponen de sus propios modelos físicos, encontrándose diseños de diversos tipos, de lecho fijo, de lecho circulante o de lecho fluidizado, con flujo de sólidos en proceso, y flujo de gases a contracorriente, o equicorriente, etc. En general, estos esquemas disponen de dos reactores, el gasificador en sí y otro reactor que permite la orientación y realización de la síntesis a partir de CO e H_2, produciendo etanol, metanol, hidrocarburos u otros. Se encuentran aplicaciones especiales en combustibles y químicos, combustibles Fischer - Tropsch, metanol, hidrógeno, y gases combustibles.

En el equipamiento, el enfoque más socorrido es el reactor de lecho fijo burbujeante (BFB; Bubling, Fixed Bed). Su gran virtud es que operado a altas temperaturas, más de 1200 ó 1300 ^{0}C, no hay formación de metano y/o hidrocarburos superiores, o alquitranes. Se ha estudiado su comportamiento en amplios márgenes de presión, temperatura y gasto (flujo de alimentación). Mediante el ajuste a ciertos valores en los flujos de aire, oxígeno y vapor, es posible ajustar la relación H_2 /CO a los valores deseados, usando los catalizadores adecuados, y siguiendo los perfiles de presión y temperatura necesarios.

Idealmente, para la producción de combustibles, productos químicos e hidrógeno, es conveniente trabajar a temperaturas altas. A valores del orden de 1200 a 1300^{o}C se forma muy poco, o ningún, metano, hidrocarburos o alquitranes, maximizándose la formación de CO e H_2, sin necesidad de un etapa adicional. El gasificador Tampella BFB (Bubling Fixed Bed) se ha utilizado a temperaturas del orden de 950^{o}C a presiones de 20 bar, y regulándole la coalimentación de aire y vapor para buscar las relaciones de monóxido e hidrógeno adecuadas para la síntesis del etanol. Mediante estas co-alimentaciones controladas, en el reactor BFB se garantizan los diseños deseados en cuanto a la composición del gas de síntesis.

.

El reactor CFB (Circulating Fixed Bed) de flujo circulante, no ha podido competir en bondades con el BFB, y por otra parte la alimentación con oxígeno se ha practicado poco. La calefacción indirecta también ha sido poco utilizada, sobre todo debido a la formación de alquitranes, y por otra parte, es más complicada por el requerimiento de una cámara de combustión separada, aunque produce, como se puede intuir, un gas de síntesis de mayor valor calórico, ideal para CHP (Chemical, Heat and Power), por no contener el nitrógeno del aire.

Debe quedar claro que todo esto está en etapa de desarrollo, y la mayor parte de los estudios de I+D, han sido orientados y demostrados para aprovechamiento del calor, vapor y electricidad, habiéndose avanzado poco en Combustibles, Químicos e Hidrógeno, en el equipamiento CFB, con calefacción directa e indirecta, y BFB con calefacción indirecta, presiones mayores de 20 bar, y trabajo con oxígeno y vapor como co-alimentación, temperaturas superiores a 1200 ^{o}C.

Algunas plantas de gasificación de biomasa han alcanzado la escala piloto, sin embargo, sólo en casos aislados se ha alcanzado, o mas bien aproximado a la escala comercial.

La gasificación de biomasa es similar a la de carbón, rindiendo en ambos casos una mezcla de gases similar, es decir con los mismos componentes, aunque con diferentes proporciones, solo que las condiciones para la reacción son más suaves para biomasa por su mayor reactividad (Klass 1998). Como en el caso de la gasificación de carbón, mayores presiones promueven la formación de metano y dióxido de carbono, mientras que mayores temperaturas promueven mayores valores para el hidrógeno y el monóxido de carbono, e igualmente, los productos indeseados que se forman son los alquitranes y las partículas de sólidos arrastradas, eventuales creadoras de problemas "corrientes abajo" en la generación eléctrica o en la síntesis de químicos.

En ocasiones se utiliza vapor de agua como agente oxidante y transportador y formador del syngas, mezclado con aire o con oxígeno, promoviéndose la formación de H_2 y O_2, contribuyendo al mismo tiempo a evitar la formación de alquitranes. Por otra parte, la utilización de catalizadores de N_i contribuye al incremento de la formación de H_2. Los catalizadores de N_i, conjuntamente con el soplado de O_2 y altas temperaturas, conducen a mayores reducciones en los alquitranes.

No resulta ocioso reiterar, dada la importancia de la temática, que este análisis, se realiza totalmente sobre literatura pública disponible, y que no constituye necesariamente una fuente completa con documentación de la experiencia actual.

Sobre el análisis de alternativas.

Sin dudas, la gasificación de biomasa tendrá importancia en los trabajos de estructuración de la Matriz Energética del país, dado lo que puede representar en ello la producción de material ligno-celulósico sobre la base de la experiencia que heredamos de la caña de azúcar, y las posibilidades por la relación con la producción de azúcar, etanol, alimento animal, biogas, y otros.

En los estudios de viabilidad de proyectos de este tipo que se realicen en el futuro, vinculados al desarrollo del país, habrá que trabajar sobre la base del conocimiento y experiencia en diagramas de flujo, balances de masa y energía (Estequiometria), incluidos los aspectos de Termofísica y Termoquímica necesarios, mas los análisis económicos correspondientes. En este trabajo se presenta una base inicial de trabajo para aquellos estudios de viabilidad, creando un segmento de conocimiento en Gasificación y una introducción más modesta en la generación e insumo de energía mecánica.

En la figura 1 se representa el diagrama de flujo de información para una estrategia de cálculos que puede ser utilizada en al análisis de la gasificación del bagazo y el uso de una turbina de gas, con fines de generación de potencia. A continuación nos referiremos de forma no detallada a las características de los principales nodos de este diagrama.

Estequiometría.

En general, durante la realización de estudios de diseño y análisis de proceso, se presenta siempre, de alguna forma, la necesidad de conocer la estequiometría involucrada, así como los elementos de termofísica y Termoquímica asociados. Estos cálculos se pueden realizar sobre la base de una composición empírica reconocida del bagazo y las reacciones químicas correspondientes de la combustión. En la literatura se encuentra suficiente información para llegar a manejar en detalles todo lo relativo con los balances de masa y energía que aparecen o se necesitan en la tecnología. En esta trabajo se presenta el caso de gasificación de bagazo, como representativo de materiales lignocelulósicos, muy útil ya en diversas tecnologías, y sobre todo, con mucho futuro en el Ciclo Combinado y otras. Aprovechamos para recordar las posibilidades en este sentido de la basura municipal (MSW en inglés) y otros residuos y vegetales inútiles, como el marabú.

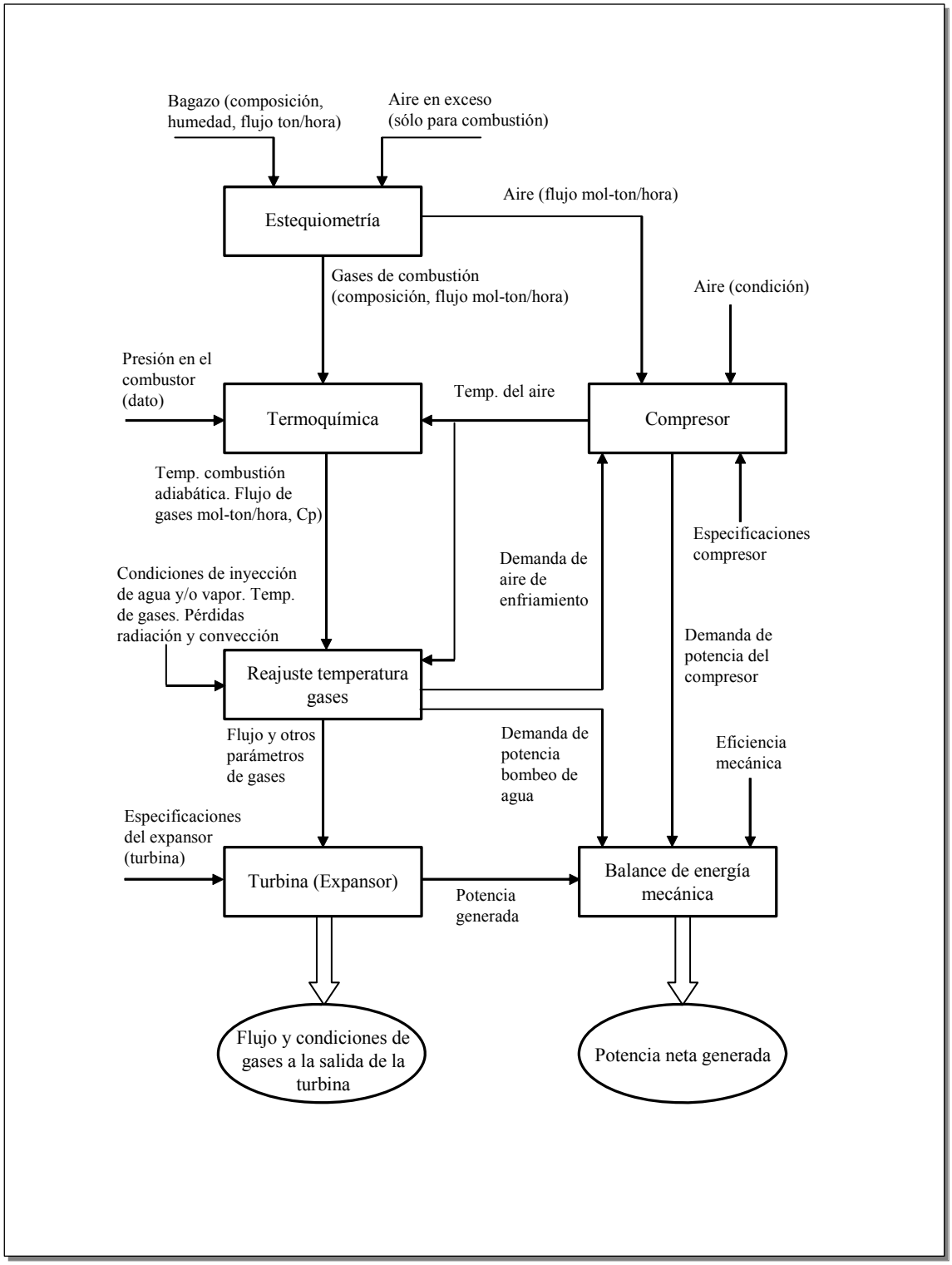


Figura 1. Diagrama de flujo de información de estrategia de cálculo

En cuanto a la composición elemental del bagazo, tomamos valores medios de los valores reportados por muchos autores, en por ciento:

Carbono	47.0
Hidrógeno	6.5
Oxígeno	44.0
Cenizas	2.5

Los elementos que seguirían en presencia, el azufre y el nitrógeno, no llegan al 1 % por lo que no se considera más ninguno. Llevando la composición a bagazo seco libre de cenizas, en por ciento:

Carbono	47.0/0.975	= 48.2
Hidrógeno	6.50/0.975	= 6.7
Oxígeno	44.0/0.975	= 45.1

A partir de estos números se puede escribir una fórmula elemental (global), estimando el número de átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno dividiendo el por ciento de cada elemento presente entre su peso atómico. Esto nos permite trabajar en moles directamente que es mucho más simple. La fórmula global del bagazo queda como $C_{48.2/12}\ H_{6.7/1}\ O_{45.1/16}$,esto es $\mathbf{C_{4.02}\ H_{6.7}\ O_{2.82}}$.

El peso molecular (empírico) del bagazo seco libre de cenizas queda igual a 100:

$$PM = 4.02*12 + 6.7*1 + 2.82*16 = 100$$

Podemos tomar como ecuación que representa la reacción de gasificación, la siguiente:

$$C_{4.02}\ H_{6.7}\ O_{2.82} + (a)\ O_2 + [(79/21)*(a)]\ N_2 \xrightarrow{-\Delta h}$$

$$(b)\ H_2 + (c)\ CO + (d)\ CO_2 + (e)\ CH_4 + (f)\ N_2 + (g) H_2O$$

El cálculo de los coeficientes se puede realizar escribiendo las ecuaciones correspondientes sobre la base de la satisfacción de los balances de cada uno de los elementos, mas el planteamiento de las ecuaciones asociadas al equilibrio químico. En el estadío en que nos encontramos ahora, no disponemos de toda la información necesaria para esto último por lo que por ahora, consideramos los balances mas una información mínima de composición, que nos permita resolver el sistema de ecuaciones que se forma con los balances.

Para el cálculo de la estequiometría, utilizamos un modelo sencillo:

Balance de oxígeno	$2a + 2.82 – c – 2d – g = 0$
Balance de carbono	$c + d + e – 4.02 = 0$
Balance de hidrógeno	$2b + 4e + 2g – 6.7 = 0$
Moles de gases secos	$b + c + d + e + f - n = 0$

Aquí, n es el número total de gases secos. Hay cuatro ecuaciones y siete incógnitas (b,c,d,e,f,g,n). Los grados de libertad para la solución son (7 – 4) = 3

Luís A Barbosa Cortez (Barbosa, 1997, Tabla 7.1, Pág. 276) muestra valores de la composición volumétrica de los gases producto para diferentes procesos de gasificación, en lecho fluidizado, a co-corriente, y a contra-corriente, de donde definimos una composición sólo con fines de la realización de un ejercicio, la cual puede cambiarse en el modelo sin ninguna complicación. Recordemos que composición en volumen es igual

numéricamente que composición en moles. En realidad, como hay tres grados de libertad, tomamos tres valores: Hidrógeno (11 %), Monóxido de carbono (24 %) y Dióxido de carbono (Anhídrido carbónico, 9 %). La presencia de los otros, Nitrógeno, Metano, Vapor de agua y el Oxígeno añadido, son calculados usando una hoja Excel sencilla con el Solver, obteniéndose los moles de cada gas formados:

Hidrogeno	1,19	b
Monóxido de carbono	2,60	c
Anhídrido carbónico	0,97	d
Metano	0,45	e
Nitrógeno	5,61	f
Vapor de agua	1,26	g
Moles totales húmedos	12,08	
Oxigeno alimentado	1,49	a
Total de moles formados (secos)	10,82	

Se sustituyen los valores hallados en la ecuación que representa la reacción, tal y como sigue

$$C_{4.02}\,H_{6.7}\,O_{2.82} + (1.49)\,O_2 + [(79/21)*(1.49)]\,N_2 \xrightarrow{-\Delta h_{\text{reacción}}}$$

$$(1.19)\,H_2 + (2.60)\,CO + (0.97)\,CO_2 + (0.45)\,CH_4 + (5.61)\,N_2 + (1.26)H_2O$$

Como se puede observar, el Nitrógeno muestra una presencia muy alta, lo cual se ha pensado en corregir, mediante la utilización de Oxígeno en vez de aire. Esto afecta mucho la economía por incrementar los costos de inversión y la demanda de energía en la operación.

Una vez separado el CO_2, y el vapor de agua , se alcanza lo que se conoce como el gas de síntesis, materia prima de la reacción de Fischer- Tropsch, según la cual se puede producir gasolina sintética, que no parte de hidrocarburos, así como metanol, etanol y otros.

Esta ruta tecnológica no conlleva la utilización de los azúcares de la caña y su presencia en esta es de la misma magnitud. Además, de acuerdo con los esquemas que se diseñen, se puede garantizar un adecuado esquema energético. Desde luego, las bases técnicas y económicas son muy fuertes y para su consecución la cuestión no es que nos pongamos a "cocinar" para lograr esquemas que no son fáciles. Inclusive esto se puede interrelacionar con otros esquemas tecnológicos, que no están completamente desarrollados como la "Celda de Combustible" ("Fuel Cell"). Un extremo de esta ruta aparece en un documento que se refiere sobre lo que se estaba haciendo en Hawaii al respecto (Galloway, 2004), que no es la única vía. Es decir, que obligatoriamente no tiene que ser así, pero que da una idea de cuanto interés se le está poniendo a esto, y para ello, solo hay que ver quienes patrocinan esto (con el uso de "fuel cell"), entre otras empresas: Westinghouse Electric Corporation (WEC), Institute of Gas Technology (IGT), Pacific International Center for High Technology Research (PICHTR), Hawaii Natural Energy Institute (HNEI), Hawaii Commercial and Sugar Company (HC&S), State of Hawai, y otros.

.

Por otras vías, trabajan en Gasificación, entre otras, las empresas siguientes (Ciferno, 2002): Batelle Columbus Laboratory, Gas Technology Institute, Lurgi Energy, Foster Wheeler, Alshtrom, Tampella Power, Arizona State University, Union Carbide, etc.

Al disponer ya de una fórmula (empírica) para el bagazo, $C_{4.02}\,H_{6.7}\,O_{2.82}$, se puede establecer su calor de formación, a partir de su calor de combustión, que a su vez, nos permitirá calcular los intercambios de calor

con el medio en el proceso de Gasificación para cualquier composición del gas, siempre que esta se conozca:

$$C_{4.02}\,H_{6.7}\,O_{2.82} + 4.285\,O_2 \xrightarrow{\Delta h_{combustion}} 4.02\,CO_2 + 3.35\,H_2O$$

Se conocen los calores de formación del agua y el anhídrido carbónico, el del oxígeno es cero por ser un elemento, así que el único elemento desconocido es el calor de formación del bagazo, que se despeja.

Modelos de las Etapas de Compresión y Expansión.

El otro aspecto que consideramos necesario tratar aquí, aunque solo de forma introductoria, es la generación e insumo de energía mecánica, lo que se realiza mediante las operaciones obligatorias de compresión (de aire) y expansión (de gases de combustión) que se realizan en las máquinas correspondientes, específicamente, cuando se maneja el Ciclo Combinado. La modelación que se realiza es la misma para ambas operaciones. Solamente que sus signos son opuestos.

De la Tabla XXIV (pag 472), Hougen & Watson:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_s = V \qquad (1)$$

Esto es, el cambio Isentrópico de la entalpía con la presión viene dado por el valor del volumen

$$dH = Vdp \qquad (2)$$

o

$$dH = (RT/p)dp \qquad (3)$$

También de la misma Tabla XXIV (pag 472), Hougen & Watson

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p = C_p \qquad (4)$$

Como C_p no es afectado por la presión

$$dH = C_p dT \qquad (5)$$

Igualando ambas expresiones (3 y 5) para la Entalpía:

$$C_p dT = (RT/p) * dp \qquad (6)$$

$$\int_{T_1}^{T_2} (C_p/T)dT = R\int_{p_1}^{p_2} dp/p \qquad (7)$$

Aquí, p_1 y p_2 constituyen las presiones de admisión y escape para el compresor, y el expansor (turbina o máquina de combustión interna). En general son valores que se fijan por diseño. Igualmente T_1, la temperatura de admisión, en una variante, es un dato, y la temperatura de escape T_2, se puede calcular con la ecuación No. 7. Cualquiera de los dos miembros de la ecuación 7 ofrece el valor de la energía. Es necesario tener cuidado con las unidades en el sentido de su consistencia.

Ambos miembros se pueden integrar. El de la izquierda se puede poner todo en función de T quedando sin problemas para integrar, el de la derecha se muestra integrado ya:

$$\int_{T_1}^{T_2} (C_p / T) dT = R \ln \frac{p_2}{p_1} \qquad (8)$$

Resulta necesario en estos momentos, aclarar, que en la práctica, no se encuentran procesos isentrópicos, De acuerdo con el Segundo Principio de la Termodinámica siempre, en un sistema cualquiera que opera de forma cíclica, se desechará una cantidad de calor Q_2 a un foco mas frío.

$$\eta = (W_{isoent} / W_{shaft}) * 100 \qquad (9)$$

En cualquier caso, habrá que tener en cuenta la relación entre la energía que sale por el eje de la máquina y el trabajo isentrópico calculado según la termodinámica, lo que se expresa a través de una eficiencia η (ecuación 8). Es necesario tener cuidado con los signos, recordar que el trabajo realizado por un sistema es positivo, igual que el calor recibido.

Cuando R= 1545, sus unidades son ft-lb_f/mol-lb_m-^oR, y J es igual a 778.26 ft-lb_f por Btu, permaneciendo el lado derecho en Btu por mol-$lb_m{}^o$ Rankine, igual que el lado izquierdo para C_p.

Como expresión para C_p (aire), se puede utilizar la dada por Hougen y Watson[1] página 214, Tabla V:

$$C_p = 6.27 + 0.00209\ T - 0.000000459 T^2$$

Las unidades son kcal/mol-kg-K o Btu/mol-lb-^oR

Para el C_p de los gases de combustión es necesario elaborar una expresión a partir de las ecuaciones que representan los C_p de cada uno de los componentes de de dichos gases, es decir, CO_2 , H_2O, CO, N_2 , y O_2 , igualmente en función de la temperatura absoluta. Una expresión de segundo grado (cuadrática) es suficiente para evitar complicaciones matemáticas. La experiencia ha demostrado que no es imposible. Jaén (2000) reporta una expresión para el poder calórico inferior del gas.

Estudios detallados de gasificación de bagazo se han estado realizando en varias partes del mundo, como en el Sugar Research and Innovation (SRI) de Australia con un proyecto conjunto con las Universidades de Hokkaido y Monash. El papel de SRI en este proyecto ha sido el de desarrollar dinámicas de fluidos computacionales (CFD) y modelos de procesos con los cuales se ha de implementar data de laboratorio en un ciclo termodinámico optimizado de gasificación (Hobson, 2007). También en Cuba se ha estado abordando este tema, como ejemplo se puede mencionar el trabajo de Jaén (2000) en la Universidad de Oriente, en el que se realizan balances de materiales y energía y se estudian las reacciones que ocurren. Esto demuestra la importancia de dominar la representación de estos procesos con fines de análisis de alternativas.

Conclusiones

Ya en Cuba se ha hecho un estudio técnico económico de gasificación de biomasa cañera (bagazo y paja) con la idea de implementar un proyecto demostrativo en la planta Antonio Guiteras en Las Tunas (López, 2006). Este se hizo entre el MINAZ y Optimo Finance, una compañía consultora noruega. Se trata de una propuesta de planta con capacidad instalada de 17 Mw y que produciría 110 GWh de electricidad por año usando la tecnología BIG-GT (biomass integrated gasification gas turbine). Este tipo de estudio debe integrarse en una estrategia de país, como eslabón en la Matriz Energética Nacional, y eventualmente, también en la Matriz de Industrialización Nacional. Analizar este tema, más que conveniente, resulta necesario. A primera vista no parece una cuestión de ponerse a hacer aparatos y ejecutar planes de I+D en laboratorios y/o planta piloto, sino que lo racional parece ser informarse bien sobre el estado actual de la temática y sobre la base anterior, realizar estudios económicos en esquemas integrados para la producción de azúcar, alimento animal, energía eléctrica y alcohol, incluyendo los subesquemas de tratamiento de residuales, y elaborar proyectos de demostración con aquellos esquemas más prometedores. No se debe olvidar que la mayoría de las experiencias no alcanza la condición de producción semicomercial siquiera. En este empeño, las ideas esbozadas en este trabajo para el cálculo de los aspectos técnicos del proceso en el análisis de alternativas, así como otras mencionadas en las referencias, pueden ser útiles. Se considera necesario continuar desarrollando esta estrategia de cálculos e integrar las experiencias de diversas instituciones en una aplicación de software que permita estudiar variantes tecnológicas de una manera rápida. Una vía para lograr los propósitos mencionados puede ser la creación de un grupo de trabajo nacional con este propósito en el que participen instituciones académicas y de los Ministerios del Azúcar y la Industria Básica.

Referencias

- Biasi, Victor de. (2005). “500 MW hydrogen-oxigen plant concept rated at 70% efficiency”. Gas Turbine World, Vol. 35, No. 2, pag. 24-29, Mayo-Junio, 2005.

- Hugot, E. (1960) “Handbook of Cane Sugar Engineering”, Elsevier Press, 1960.

- Barbosa Cortez, Luís Augusto. (1997) “Sistemas Energéticos II”, Asociación Brasilera de Editoras Universitária (ABEU), 1997.

- Ciferno, Jared P., John J. Marano. (2002) “Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production”. Preparado para el U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory (NETL), Junio 2002.

- De Filippis, Paolo; Carlo Borgianni, Martino Paolucci, Fausto Pochetti. (2004). “Gasification process of Cuban bagasse in a two-stage reactor”. Biomass and Bioenergy 27 (2004) pag. 247–252.

- Dodge, Barnett F. (1944) “Chemical Engineering Thermodynamics”, Primera Edición, McGraw-Hill, 1944.

- Galloway, Terry R. (2004) “Hawaii’s Future with Integrated Gasification Fuel Cell Combined Cycle”, Intellergy Corporation report.

- Herzog, Howard et al. "CO_2 Capture, Reuse and Storage Technologies for Mitigating Global Climate Change"**,** Energy Laboratory Report**,** Massachusetts Institute of Technology.

- Hobson, P.A. (2007). "An overview of bagasse gasification R&D activities at sugar research and innovation". Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 26, 2007, pag 1103-1113.

- Hougen, Olaf A., Watson, Kenneth M., (1950) "Chemical Process Principles", John Wiley & Son.

- Lesme Jaén, R. (2000). "Gasificacion de biomasa". Universidad de Oriente, Cuba. Disponible en www.cengicana.org/Portal/SubOtrasAreas/Cogeneracion/Presentaciones/GasificacionPartirBiomasaCanera.pdf (Agosto 2008)

- López, Paulino. (2006) "UNDP Project: biomass gasification feasibility study Cuba-Norway". Reporte Taller Regional "Barreras y oportunidades para la generación eléctrica basada en biomasa en Latinoamérica y el Caribe". PNUD La Habana, Cuba, octubre 2006, pag. 26-27.

- Vieria, Christian A, (2000) "Fundamentos da Combustião da Celulignina e suas Aplicações como Combustivel de Caldeiras, Turbinas e MHD", Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física, 2000.

- Zuberbuhler, U., Specht, M. y Bandi, A. (2006) "Gasification of Biomass – An Overview on Available Technologies". Memorias 1st European Summer School on Renewable Motor Fuels.

- (2007) "Where have we been and where are we headed?". Special report. Gas Turbine World, Vol. 37, No. 1, pag. 11-18, Enero-Febrero, 2007.

PROPUESTA ENERGÉTICA SOSTENIBLE PARA DESTILERÍAS DE ETANOL

Autor: **M. Sc. Guillermo Arias Polo. Investigador titular.**

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras ICINAZ. **guillermo.ariaspolo@icinaz.minaz.cu**

RESUMEN

La producción de etanol a partir de la Industria Azucarera, produce residuales secundarios, a los que hay que dar un adecuado tratamiento o uso para evitar la contaminación del medio.

Son las aguas residuales procedentes de los fondos de las torres de destilación, conocidas con el nombre de VINAZAS, las que producen la mayor carga contaminante

La producción de biogás es una de las alternativas más utilizadas internacionalmente para la degradación de esta carga contaminante.

El objetivo del presente trabajo es demostrar que el biogás que se puede producir a partir de la digestión anaeróbica de esta carga contaminante, además de degradar las vinazas, puede aportar un alto por ciento de las necesidades de energía de una destilería de etanol.

Se propone además utilizar esta energía para alimentar quemadores de gas de los generadores de vapor convencionales, previa la eliminación del SH_2 que contienen el biogás en un proceso llamado de desulfurización. A este fin, se comentan los más importantes métodos para la desulfuración de este gas combustible

Palabras claves: tratamiento de vinazas, producción de biogás, biogás de vinazas

ABSTRACT

The production of ethanol from the Sugar Industry, produces secondary residual, to those that it is necessary to give an appropriate treatment or use to avoid the contamination of environments.

They are the wasted waters coming from the bottom of distillation towers, well-known with the name VINASSES, those that produce the biggest load pollutant

The biogas production is one of the alternatives more used internationally for the degradation of this polluting load.

The objective of the present work is to demonstrate that biogas produces from the anaerobic digestion of this polluting load, besides degrading the vinasses, it can contribute to supply a high percent of energy demand for an ethanol still.

It is purpose also to use this energy to feed burners of gas at conventional steam generators, previous removing the SH_2 that contain the biogas in a process called desulphurization. At the end, the most important methods are commented for desulphurization of this combustible gas.

Key words: Vinasses treatment, biogas production, biogas from vinasses

1. Introducción

La producción de etanol a partir de la Industria Azucarera, produce residuales secundarios con alta carga orgánica, a los que hay que darle un adecuado tratamiento o uso para evitar la contaminación del medio.

Son las aguas residuales procedentes de los fondos de las torres de destilación, conocidas con el nombre de VINAZAS, las que producen la mayor carga contaminante

La producción de biogás es una de las alternativas más utilizadas internacionalmente para la degradación de esta carga contaminante.

Existen referencias confiables sobre el significativo beneficio energético que brinda esta alternativa Godbole (2002)

El objetivo del presente trabajo es demostrar que el biogás que se puede producir a partir de la digestión anaeróbica de las VINAZAS, además de degradar las mismas, puede aportar un alto por ciento de las necesidades de energía de una destilería de etanol.

Se propone además, utilizar esta energía para alimentar quemadores de gas de los generadores de vapor convencionales, previa la eliminación del SH_2 que contienen el biogás en un proceso llamado de desulfurización. A este fin, se comentan los más importantes métodos para la desulfuración de este gas combustible.

Esta producción de biogás, proporciona una serie de ventajas adicionales a las antes mencionadas. Entre estas cabe mencionar las siguientes:

- Reduce la población de elementos portadores de enfermedades (tales como moscas y otros insectos).
- Deja un residuo sólido inodoro de excelentes características fertilizantes.

2. Carga contaminante a tratar

Se definen las VINAZAS como una disolución de sustancias y sales minerales y orgánicas con valor relativo y con potencial para diversos usos. Su composición varía de acuerdo a las condiciones del proceso, la materia prima entregada a la destilería de alcohol, a la conducción que se haga de la fermentación y del propio proceso de destilación. Así las vinazas tienen composiciones diferentes entre destilerías de alcohol, y en menor grado, para una misma destilería, entre día y día de la zafra y entre zafras.

DQO o Demanda Química de Oxígeno (COD en inglés) es la medida total de todas las sustancias en el residual que pueden ser oxidadas. El DQO mide el valor de la contaminación dañina presente en las vinazas encontrado en www.heritagesystemsinc.com (2008).

Para conocer el DQO la prueba es simple y fácil de realizar con el equipo adecuado y puede hacerse en 2 horas según www.heritagesystemsinc.com (2008).

En ocasiones se mide la DBO que es la Demanda Biológica de Oxígeno que es otra forma de valorar el grado de contaminación de los residuales según www.heritagesystemsinc.com (2008).

En las Tabla I, II y II se presentan algunas referencias nacionales e internacionales sobre los valores relacionados con el DQO existente en las vinazas reportados por varios autores.

Tabla I. Características de las vinazas según Valdés (2007)

Parámetro	Unidad	Melazas	Jugos
DQO	kg/m^3	71,20	35,06
DBO	kg/m^3	30,00	18,00
pH	kg/m^3	4,47	3,78
ST	kg/m^3	52,67	24,86
Sulfatos	kg/m^3	15,81	1,56
Nitrógeno	kg/m^3	0,21	0,38
Fósforo	kg/m^3	0,21	0,27
Calcio	kg/m^3	0,55	0,59
STV/ST	kg/m^3	0,75	0,83
SSV/SST	kg/m^3	0,82	0,93

Tabla II. Características de las vinazas en Brasil según Moreira (2007)

Parámetro	U	Melazas	Mezcla	Jugos
pH		4,1 - 5,0	4,4 - 4,6	3,7 - 4,6
Temperatura	ºC	80,0-100,0	80,0-100,0	80,0-100,0
DBO	mg/L	25000,0	19800,0	6000,0-16500,0
DQO	mg/L	65000,0	45000,0	15000,0-33000,0
Sólidos totales	mg/L	81500,0	52700,0	23700,0
Sólidos libres	mg/L	60000,0	40000,0	20000,0
Sólidos fijos	mg/L	21500,0	12700,0	3700,0
Nitrógeno (N)	mg/L	450,0-1610,0	480,0-710,0	150,0-700,0
Fósforo (P_2O_5)	mg/L	100,0-290,0	9,0-200,0	10,0-210,0
Potasio (K_2O)	mg/L	3740,0-7830,0	3340,0-4600,0	1200,0-2100,0
Calcio (CaO)	mg/L	450,0-5180,0	1330,0-4570,0	130,0-1450,0
Magnesio (MgO)	mg/L	420,0-1520,0	580,0-700,0	200,0-490,0
Sulfato (SO_4)	mg/L	6400,0	3700,0 - 3730,0	600,0 - 760,0
Carbono (C)	mg/L	11200,0-22900,0	8700,0-12100,0	5700,0-13400,0
C/N		16-16,27	16,4-16,43	19,7-21,07
Material orgánico	mg/L	63400,0	3800,0	19500,0
Sustancias de reducción	mg/L	9500,0	8300,0	7900,0

Según Moreira (2007) para Brasil el volumen de vinazas varía entre 9,5 y 18,0 litros por cada litro de etanol producido. El promedio es 12 a 13 litros. La cantidad de vinazas es fácilmente calculada de las condiciones de fermentación. Varios otros efluentes podrían ser adicionados a las vinazas, pero esto es principalmente muy dependiente de cada situación particular.

Para el caso de las Destilerías cubanas en la actualidad como se recibe el vapor directamente en contacto con la batición se incrementa el volumen final de las vinazas. Esto incrementa el volumen de las mismas en dependencia de la mayor o menor necesidad de vapor de la Planta que a su vez es dependiente de la eficiencia energética del Proceso.

Índices seleccionados para este trabajo.
Como se puede apreciar existe una gran variabilidad de la carga contaminante existente tanto en DQO como el volumen de las vinazas

Los valores de carga contaminante seleccionados por este trabajo serán los propuestos por Estévez (Agosto 2007) que se muestran en la Tabla III y que no contradicen los presentados en la Tabla I y Tabla II aunque resultan mucho más precisos.

Tabla III. Valores indicativos para la caracterización de las vinazas según Estévez (Agosto 2007)

Indicador	**En No Zafra**	**En Zafra**
Brix (º Bx)	6 - 9	3 - 6
SDT (% v/v)	5 - 7	2,5 – 5,5
SST (% v/v)	1 - 2	0,1 – 0,5
DQO (kg/m3)	60 - 80	30 - 40
DBO (kg/m3)	20 - 30	10 – 20
pH	4,5 – 5,0	4,0 – 5,0
Temperatura (º C)	80 - 100	80 – 100
Salinidad (kg/m3)	15 – 25	5 – 10

Como se observa en la Tabla III, hay diferencias en la composición de las vinazas generadas durante el período de zafra, de las generadas fuera de dicha época. Esto se debe a la incidencia fundamental que desempeña la materia prima utilizada para la preparación del sustrato.

Época de Zafra. Para preparar el sustrato se utilizarán jugos de los filtros que estarán sometidos a un proceso de clarificación o purificación en la fábrica de azúcar. Estos jugos podrán ser mezclados con miel B o ser añadidos directamente a los corbatos, según sea la conveniencia operativa de la sala de fermentación.

Época No Zafra: Se utilizarán mieles “B” o de segunda cristalización. Estas mieles serán utilizadas para la preparación del medio o sustrato.

Como el período crítico de necesidad de energía de la Destilería es el de No Zafra o Fuera de Zafra por la no disponibilidad de la energía del bagazo, este trabajo utilizará los valores del rango de los DQO presentados en la Tabla III para este escenario.

El volumen de vinazas producto del balance realizado por Estévez (Agosto 2007) de 17,4 m^3/hL es el valor que este trabajo considerará.

3. Remoción de la carga contaminante y conversión a combustible (Metanización)

La Metanización: Se refiere a las diferentes reacciones e interacciones que tienen lugar entre los bacterias metanogénicas y no metanogénicas y los materiales de desechos presentes en las vinazas que alimentan un digestor. El DQO es la medida de la cantidad de estas sustancias susceptibles a transformarse en metano consisten principalmente en hidratos de carbono, lípidos, proteínas y materiales inorgánicos. Éste es un

complejo proceso biológico físico-químico y que involucra diferentes factores y fases de cambio. Los detalles de este proceso no son objeto de este trabajo.

Bacteria metanogénica: son bacterias que obtienen su energía a través de la producción metabólica de gas metano, a partir del dióxido de carbono y del hidrógeno. La mayoría son anaerobias, es decir, que viven en ausencia de oxígeno. Las bacterias de este género, provocan la descomposición anaerobia de la materia de origen vegetal, por ello se encuentran en las charcas, en el suelo y en el tracto digestivo de las vacas y de otros rumiantes.

Se conoce que no todo el DQO presente se transforma en biogás. Se presentan cinco referencias en la Tabla IV relacionadas con la remoción que prácticamente se obtiene.

Tabla IV. DQO removidos por la digestión anaeróbica

Referencia bibliográficas	% de DQO removido
www.monografias.com (2006)	75,0
Valdés E. (2007)	70,0
Estévez (1975)	79,0
Moletta R. (2005)	80,0 a 95,0
Aroca G. (Abril 2006)	93,0

4. Producción de biogás por DQO removido

En la Tabla V se exponen tres referencias relacionadas con la razón de conversión, donde se puede apreciar que prácticamente coinciden.

Tabla V. Razón de conversión de DQO a biogás

Referencia	Conversión de biogás (Nm^3/kg DQO removido)
www.monografias.com (2006)	0,45
Moletta R. (2005)	0,4 a 0,6
Aroca G. (Abril 2006)	0,49

5. Eficiencia de la Metanización

El proceso anteriormente descrito produce un gas portador de metano que según Doménech (2008) presenta la composición del biogás de la Tabla VI. En Aroca (Abril 2006) y Molleta (2005) se dan cifras similares de contenido de Metano.

Tabla VI. Composición del Biogás (vol)

Gas	Símbolo	%
Metano	CH_4	55-70
Dióxido de Carbono	CO_2	30-45
Hidrógeno	H_2	1-3
Nitrógeno	N_2	0,5-3
Sulfuro de hidrógeno	H_2S	1,8-3
Vapor de agua	H_2O	Trazas

El biogás tal como se genera es combustible, siendo el metano el que le da las cualidades energéticas.

6. Balances de vapor y electricidad en una Destilería típica

En la Tabla VII se muestran los resultados de los cálculos energéticos donde se aplican los indicadores y parámetros discutidos en los epígrafes anteriores.

Se escogió como ejemplo una Destilería con una producción de etanol de 50 000 L/día. Se puede observar que se realizaron los balances del vapor y de la electricidad que demandan esta Destilería

Los valores de carga contaminante son los que se expresaron en la Tabla III y el resto de los cálculos se realizará en un rango con un valor medio y sus dos valores extremos, utilizando los datos más prudentes anteriormente presentados.

Tabla VII. Disponibilidad energética del biogás para Destilería

	Parámetro	V. inferior	Valor medio	V. superior	Unidades
1.	Producción de etanol	50000,0	50000,0	50000,0	L etanol/día
2.	Índice de vinaza	17,4	17,4	17,4	L vinaza/L etanol
3.	Volumen de vinaza	870000,0	870000,0	870000,0	Lvinaza/día
4.	Índice de DQO producido	0,06	0,07	0,08	kgDQO/L vinaza
5.	DQO producido	52200,0	60900,0	69600,0	kgDQO/día
6.	Remoción de DQO	70,0	80,0	90,0	%
7.	Índice producción biogás	0,4	0,5	0,6	Nm^3 bio/kgDQOrem
8.	Biogás producido	14616,0	24360,0	37584,0	Nm^3 biogás/día
9.	Metano en biogás	55,0	62,5	70,0	%
10.	Metano producido	8038,8	15225,0	26308,8	Nm^3metano/día
11.	Valor calórico inferior del metano del Manual KENT´S (1966)	8125,82	8125,82	8125,82	kcal/Nm^3
12.	Energía calórica	6,53E+07	1,24E+08	2,14E+08	kcal/día
13.	Valor calórico inferior del fuel oil según (15) (1982)	9500,0	9500,0	9500,0	kcal/kg
14.	Petróleo equivalente	6,88	13,02	22,50	t petrol/día

En esta Tabla VII se pueden apreciar las importantes cifras de petróleo equivalente obtenido por la producción del biogás. A continuación se determinará lo que representa esta disponibilidad con respecto a las demandas de vapor y electricidad de la Destilería.

Las producciones de vapor y electricidad tienen una primera y fundamental dependencia de los parámetros del vapor. Para este trabajo se considerarán dos niveles de parámetros del vapor utilizados en Cuba: Vapor saturado a 150 psig y vapor sobrecalentado a 250 psig y 330 ºC. También se considera una buena pero perfectamente alcanzable eficiencia bruta de la caldera de 88 % con respecto al Valor Calórico Inferior del combustible. También se considera la temperatura del agua de alimentar la caldera de 100 ºC. Esto se puede

lograr a partir de recuperar el calor de las vinazas para el calentamiento de agua para la caldera de la destilería, práctica utilizada en varias fábricas de torula en Cuba según Doménech (2008).

Balance de vapor. Vapor saturado a 150 psig

A continuación en la Tabla VIII A se puede apreciar el balance de vapor realizados para la destilería seleccionada.

Tabla VIII A. Balance de vapor. Vapor saturado a 150 psig

		V. inferior	V. medio	V. superior	
1	Presión del vapor	150,00	150,00	150,00	psig
2	Temp. vapor sobrecal.	185,48	185,48	185,48	ºC
3	Eficiencia de la caldera	88,00	88,00	88,00	%
4	Entalpía salida de caldera	663,98	663,98	663,98	kcal/kg
5	Entalpía agua de alimentar	100,06	100,06	100,06	kcal/kg
6	Índice de consumo vapor según Estévez (2007)	0,294	0,294	0,294	t vapor/hL
7	Generación de vapor posible	4,25	8,04	13,90	t/h
8	Consumo de vapor	6,13	6,13	6,13	t/h
9	Ahorro de vapor	69,34	131,33	226,94	%

Los resultados del ahorro de vapor en esta variante mostrados en la Tabla VIII A resultan significativos, aun en el valor extremo inferior de 69,34 %. Esto confirma el beneficio de la utilización el biogás. Para el valor medio analizado (131,33 %), se supera ampliamente las necesidades de vapor de la Planta, la cual elimina la necesidad de utilizar otros combustibles fuera de Zafra que normalmente en Cuba es el fuel oil.

Tabla IX A. Balance de electricidad. Vapor saturado a 150 psig

1	Presión del vapor al turbo	140,00	140,00	140,00	psig
2	Presión de escape	15,00	15,00	15,00	psig
3	Temp. vapor al turbo	182,70	182,70	182,70	ºC
4	Eficiencia del turbo gen.	60,00	60,00	60,00	%
5	Steam rate turbo	21,00	21,00	21,00	kg/kW-h
6	Índice consumo eléctrico según Estévez (2007)	17,33	17,33	17,33	kW-h/hL
7	Generación de electricidad	202,25	383,05	661,92	kW
8	Consumo de electricidad	361,01	361,01	361,01	kW
9	Ahorro de electricidad	56,02	106,11	183,35	%

Balance de electricidad. Vapor saturado a 150 psig

La Tabla IX A, muestra los resultados del Balance de Electricidad generada por un Turbo Grupo que utiliza el vapor directo de la caldera considerada para los cálculos de la Tabla VIII A. Se puede apreciar que en el peor de los casos del valor inferior se ahorra más de la mitad de la electricidad que demanda la Destilería (56,02 %). En este caso, para el valor medio (106,11 %) del balance de electricidad virtualmente se cumplimenta casi exactamente las necesidades de electricidad.

Balance de vapor. Vapor sobrecalentado a 250 psig

Para este nivel, como es necesario alcanzar parámetros superiores del vapor, una cantidad mayor de combustible será necesaria utilizar por unidad de masa de vapor producido. De esta manera, en la Tabla VIII B se muestra que se producirá menos cantidad de vapor en esta variante que en la anterior analizada, aunque, como se verá más adelante, el balance de electricidad resulta más beneficioso. Un también importante ahorro de 61,16 % del vapor demandado y un sobrante amplio en los valores medio (115,84 %) y superior (200,16 %).

Tabla VIII B. Balance de vapor. Vapor sobrecalentado a 250 psig

		V. inferior	V. medio	V. superior	
1	Presión del vapor	250,00	250,00	250,00	psig
2	Temp. vapor sobrecal.	330,00	330,00	330,00	ºC
3	Presión de escape	15,00	15,00	15,00	psig
4	Eficiencia de la caldera	88,00	88,00	88,00	%
5	Entalpía salida de caldera	739,42	739,42	739,42	kcal/kg
6	Entalpía agua de alimentar	100,06	100,06	100,06	kcal/kg
8	Índice de consumo vapor	0,294	0,294	0,294	t vapor/hL
7	Generac. de vapor posible	3,75	7,09	12,26	t/h
9	Consumo de vapor	6,13	6,13	6,13	t/h
10	Ahorro de vapor	61,16	115,84	200,16	%

Balance de electricidad. Vapor sobrecalentado a 250 psig

Como se puede apreciar en la Tabla IX B el Steam Rate o consumo específico de vapor del Turbo-Grupo disminuye significativamente, la producción de electricidad se verá beneficiada apreciablemente con respecto a la variante anterior de vapor saturado a una presión inferior y podrán existir mayores excedentes de electricidad para exportar a la red en los valores medio y superior.

Tabla IX B. Balance de electricidad. Vapor sobrecalentado a 250 psig

1	Presión del vapor al turbo	240,00	240,00	240,00	psig
2	Temp. vapor al turbo	310,00	310,00	310,00	ºC
3	Eficiencia del turbo gen.	68,00	68,00	68,00	%
4	Steam rate turbo	11,98	11,98	11,98	kg/kW-h
5	Índice consumo eléctrico	17,33	17,33	17,33	kW-h/hL
6	Generación de electricidad	312,70	592,23	1023,38	kW
7	Consumo de electricidad	361,01	361,01	361,01	kW
8	Ahorro de electricidad	86,62	164,05	283,48	%

Se puede concluir que la generación de vapor y electricidad podría ser significativamente beneficiosa para ambos niveles de los parámetros del vapor estudiados, con la característica que habrá un poco de mayor disponibilidad de vapor en la variante de 150 psig (saturado) que en la de 250 psig y 330 ºC, aunque en esta última alternativa existe una significativa producción presenta mayor potencialidad de generación de electricidad. Un estudio casuístico es quien decidiría la solución a adoptar. Hay que señalar que un exceso de

vapor por encima de la demanda del proceso no tendría sentido práctico para las condiciones analizadas. En esta circunstancia otras alternativas beneficiosas podrían ser consideradas, como es por ejemplo, el almacenamiento de biogás.

Para cualquier otra capacidad de Destilería los resultados son proporcionalmente similares debido a la linealidad del cálculo.

En la práctica resulta necesario concebir un segundo combustible de respaldo en las calderas que asegure la generación de vapor que demanda la Planta productora de Etanol.

7. Eliminación del sulfuro de hidrógeno SH2 del biogás (Desulfurización)

Como se mostró en la Tabla VI existe un significativo contenido de azufre en forma de SH_2 siempre presente en el biogás producido, aunque las concentraciones varían con el origen de las sustancias involucradas en la fermentación anaeróbica. Algunos intentos de utilizar el biogás directamente como combustible en las calderas de vapor sin purificar, han conducido a graves problemas de corrosión que han hecho colapsar la experiencia según (4) (Agosto 2004). Por lo tanto para poder utilizarse el biogás como combustible en las calderas de vapor, resulta imprescindible realizarle al mismo un proceso de desulfurización para evitar la corrosión de las partes metálicas con las que tiene que estar en contacto el gas.

El sulfuro de hidrógeno SH_2 tiene un olor desagradable a "huevos podridos" a concentraciones tan bajas como 50 partes por el billón en volumen (el ppbv) y es tóxico a concentraciones por encima de 1000 partes por millón en volumen (el ppmv)

Los procesos más comúnmente utilizados para eliminar el SH_2 pueden ser clasificados en dos categorías en general, a saber:

(A) Desulfuración en seco
(B) Desulfuración en fase líquida

(A) Desulfuración en seco según Kaédi (2004)

De los muchos procesos tradicionalmente empleadas actualmente y que han sido utilizados a gran escala de desulfuración de gases, el llamado "proceso en seco" es adecuado para las plantas de biogás a escala pequeña.

Puede usarse para remover el SH_2 de las corrientes de gas convirtiéndolo en azufre u óxidos de azufre. Este proceso se usa cuando el azufre que contiene el gas es relativamente bajo y se requiere alta pureza. Algunos de estos métodos se describen debajo.

Introducción de aire/oxígeno en el sistema del biogás
Una cantidad pequeña de oxígeno (2 – 6 %) se introduce en el sistema del biogás usando una bomba de aire. Como resultado, el SH_2 en el biogás se oxida en el azufre y la concentración de SH_2 es disminuida.

Éste es un proceso simple y de bajo costo. No se requiere ningún equipo o química especial.

Dependiendo de la temperatura, el tiempo de la reacción y lugar donde el aire se agrega, la concentración de SH_2 puede reducirse en un 95 % hasta menos de 50 ppm. Sin embargo, cuidados deben tenerse para evitar

sobredosis de aire, debido a que el biogás en el aire es explosivo en el rango de 6 -12 %, dependiendo del contenido de metano.

Corrosión de otro metal.
El SH_2 puede purificarse corroyendo algún otro tipo de metal, por ejemplo, utilizando virutas o lana de acero. La lana metálica se pone dentro de una cámara larga. Cuando la presión de gas se establece en el digestor el gas es forzado a pasar por la lana en su trayecto hacia el recipiente contenedor del gas.

Adsorción utilizando el óxido férrico
El SH_2 reacciona con hidróxidos férricos u óxidos para formar el sulfito férrico. El biogás pasa a través de pellets de óxido férricos, para remover el SH_2. Cuando los pellets estén completamente cubiertos con el azufre, éstos son removidos. Es un método simple pero durante la regeneración se genera mucho calor.

Astillas de madera cubiertas con óxido férrico tienen una superficie algo mayor de contacto. Aproximadamente 20 g de SH_2 puede atraparse por 100 g de astillas con óxido férrico. La aplicación de astillas de madera es particularmente muy popular en EE.UU. Es un producto de bajo costo bajo, sin embargo, particular cuidado tiene que ser tomado en que la temperatura no suba demasiado alto mientras se regenera el filtro férrico con aire.

El SH_2 puede ser adsorbido por carbón activado.
El azufre que contiene el carbón puede entonces ser reemplazado con el carbón activado fresco o regenerado. Es una reacción catalizadora y el carbono actúa como un catalizador.

Desde el punto de vista de la regeneración en seco, hay que tres diferentes procesos de desulfurización según Marchaim (1992):

Sin regeneración. La cámara de purificación consiste en una caja o tambor. El absorbente es colocado dentro de ésta, sobre varias bandejas intermedias (pisos de tamices). El biogás se alimenta al fondo de la caja, y fluye a través del absorbente y abandona la cámara de la purificación por encima, libre de SH_2. Cuando el absorbente se carga con el sulfuro férrico, el gas que deja la cámara contiene SH_2 cada vez más. La cámara se abre entonces por arriba, las bandejas con el absorbente agotado son removidas, y entonces el absorbente fresco se pone en las bandejas. Después que el aire en la cámara de purificación ha sido de nuevo desplazado por el biogás la conexión de gas se reabre al usuario

Con regeneración. El absorbente también puede regenerarse exponiéndolo a oxígeno. Esto de cualquier modo puede hacerse sacando el absorbente usado de la cámara y exponiéndolo al aire, o dentro de la cámara de la purificación por simple succión de aire del ambiente a través de él.

Puesto que la regeneración dentro de la cámara requiere precauciones contra la formación de mezclas de aire-gas no deseadas y peligrosas, requeriría potentes ventiladores. Se prefiere normalmente la regeneración fuera de la cámara. El absorbente al ser regenerado se extiende fuera en el piso en una capa tan delgada como sea posible. De vez en cuando se le da vuelta con una pala. Después de unos días está de nuevo listo para el uso. Este proceso de la regeneración puede repetirse hasta diez veces después de lo que el absorbente está finalmente agotado.

Regeneración y carga simultánea. Cargando y a su vez regenerando el absorbente es un caso especial. Aquí, una cantidad pequeña de aire se agrega al biogás, para que la formación del sulfuro y la regeneración ocurran al mismo tiempo y lugar. Los absorbentes actúan eficazmente como un catalizador. Se requiere una costosa medición y mezcla del gas para este proceso, de tal forma que no es conveniente para plantas del biogás pequeñas.

Junto a los absorbentes disponibles tradicionales, pueden usarse ciertos sustitutos. Varias tierras tropicales y subtropicales contienen suficiente hierro en una forma conveniente, pero deben prepararse para obtener las características purificadoras apropiadas. El material debe estar suelto, poroso, húmedo y granular. La tierra cruda tiene que ser molida y mezclada con un mullido y riego para obtener una textura homogénea. Usando dos o más cámaras de la purificación, conectadas en serie, asegura una producción continua de gas purificado, y permite una utilización de buena capacidad. El absorbente gastado puede ser desechado de forma segura enterrándolo.

(B) Desulfuración en fase líquida

El SH_2 puede absorberse utilizando solventes. Uno de los solvente puede ser el agua. Pero el consumo de agua a presión atmosférica es muy alto para la absorción de una pequeña cantidad de SH_2. El lavado con agua también elimina gran parte del CO_2 que contiene el biogás.

Existe una tecnología comercial denominada Greenlane de FLOTECH según www.flotech.com (November 2006) que utiliza el biogás a presión. La alimentación del biogás crudo se suministra a la planta a presión atmosférica. La humedad y las partículas presentes en el gas son removidas previamente en un separador. El biogás entonces es comprimido en dos etapas hasta una presión de 9 bar (g) y enfriado. El gas crudo entra en el lavador (scrubber) por el fondo, haciendo contacto con el agua del proceso a contra-flujo hacia la salida el gas limpio por la parte superior. El lavador tiene dispositivos internos diseñados que obligar a exponer al gas tanto como sea posible con el agua del proceso. El CO_2 y SH_2 son absorbidos por el agua, de tal forma que el gas que deja el scrubber contiene entre 97 y 98 % de CH_4. El gas resultante entonces es secado en una columna gemela. El agua utilizada absorbe el SH_2 el CO_2 y tiene trazas de CH_4. Primeramente sufre un proceso de flasheo donde se separa el poco CH_4 que contiene y luego pasa a un proceso denominado stripper donde se elimina los contaminantes adquiridos por medio de inyección de aire. De esta manera se regenera el agua que vuelve a reciclarse como medio de lavado.

Procesos frecuentemente utilizados para la remoción del SH_2 consisten en el lavado del gas con una solución acuosa que tenga un pH alto o solución alcalina. Este ph incrementado puede ser de diferentes formas:

Uso de la cal por Marchaim (1992). Se puede utilizar la cal, cal apagada en forma sólida, o cal apagada en forma líquida. Esta sustancia no ha sido aplicada a gran escala durante un tiempo grande, porque la gran cantidad de residuos con mal olor, que se producen y que no pueden ser desechados satisfactoriamente. Grandes concentraciones de CO_2 que están presente en la composición del biogás hacen difícil la remoción satisfactoria del SH_2 ya que el CO_2 también reacciona con la cal viva o la cal apagada y la agotan rápidamente. Por supuesto que la eliminación del CO_2 resulta también conveniente para la utilización del biogás como combustible por lo que este proceso podría ser considerado para la desulfurización tanto como las piedras de caliza estén disponible en los países involucrados y sea bien determinado el destino de los residuos del proceso.

Una planta de biogás a gran escala se ha construido recientemente en Alemania, con cogeneración de calor y electricidad, usando un purificador de cal, pero los resultados de las pruebas a largo plazo no están todavía disponibles.

Uso del NaOH. Si algunos químicos como NaOH se agregan al agua, el proceso de absorción se refuerza. Se forma sulfito de sodio o hidrosulfito de sodio

Hay un sistema comercial llamado THIOPAQ según www.sta-at.com (20) que puede describirse como un lavador o scrubber que desulfura el biogás. La sosa consumida en la absorción del SH_2 es continuamente

regenerada en un biorreactor (método biológico). En el lavado el biogás entra en contacto con un líquido que contiene sosa. La absorción del SH_2 dentro del scrubber se da en condiciones básicas, permitiendo así la reacción química del sulfhídrico con iones hidroxilo.

El líquido de lavado, que contiene el azufre extraído de ácido sulfhídrico se transfiere al biorreactor, donde se oxida este azufre hasta azufre elemental gracias a una serie de bacterias. En esta etapa se regeneran de nuevo los iones hidroxilo empleados anteriormente, que se recirculan hacia el scrubber produciéndose dos efluentes: el azufre elemental que puede ser reutilizado posteriormente como fertilizante y/o biocida, y una purga que consiste en sales de sodio sin nada de azufre en alguna de sus formas, por lo que no representa un residuo peligroso y puede ser desechado normalmente

Absorción química de SH_2 puede tener lugar con las soluciones de sal férricas como el cloruro férrico. Este método es sumamente eficaz reduciendo los altos niveles de SH_2. El proceso es basado en la formación de precipitados insolubles.

Hay un sistema comercial de Eco-Tec según www.eco-tec.com (21) denominado BgPur™ o purificador del biogás, el cual es basado en un dispositivo de contacto gas-líquido de alta eficacia, que tiene su base en un mezclador de impelente envolvente. El scrubber o purificador remueve el SH_2 de una corriente de gas utilizando una solución depuradora en un sistema del doble-tanque.

Los gases, con más de un 2 % de contenido de SH_2 a una razón de flujo de 100 a 5000 $Npie^3$/min, son dirigidos a través de un recipiente lavador donde hasta el 99% del SH_2 es extraído por medio una solución acuosa purificadora que usa una bien conocida química reductora férrica. El vaso para la regeneración de la solución depuradora ya contaminada, utiliza oxígeno atmosférico para convertir SH_2 a azufre elemental. Este es un proceso sin peligros y puede desecharse con seguridad como biosólidos o en un basurero. La solución regenerada ahora libre de SH_2 es retornada al vaso purificador. La eficiencia de remoción se mantiene incluso cuando haya fluctuaciones del flujo y de las concentraciones, siempre que el depurador tenga una adecuada concentración del catalizador y proporción de la recirculación. Los químicos son automáticamente medidos mientras una simple unidad mecánica remueve el azufre sin tupición. El catalizador, los productos de la reacción, y el aditivo buffer son todos medioambientalmente aceptables.

Novedosa patente de Habets (Publication Date 03/03/1999). La alcalinidad natural generada durante un proceso aeróbico biológico de purificación de aguas residuales contenedoras de biomasa puede ser utilizada como lavadora en lugar de la adición de productos químicos alcalinos. El tratamiento aeróbico de las aguas residuales que tiene una alcalinidad adquirida de forma natural, se pone en contacto con el biogás que contiene SH_2 .El SH_2 será absorbido del biogás en una fase acuosa. La eficiencia que puede ser obtenida de esta forma varía entre un 50 y un 95 %, dependiendo de la relación flujo de agua/biogás y el volumen del equipamiento. Para una remoción de un 50 %, una relación de flujo de agua/gas de 0,1 es generalmente suficiente. Para eficiencias superiores deberá ser escogida una relación del al menos 0,2 y en particular 0,5 o superiores, por supuesto que dependiendo de la composición de las aguas residuales de que se trate y del contenido de SH_2 del biogás.

La gran ventaja de este tratamiento es que no se adiciona producto químico alguno, por lo que los costos operacionales son bajos. Una ventaja adicional es que el líquido lavador, el cual al final del proceso contienen dentro el SH_2 absorbido, puede ser reciclado hacia el tratamiento aeróbico sin dificultad y sin algún tratamiento adicional.

Se ha expuesto varios principios utilizados para realizar la desulfurización del biogás. Aunque muchos de ellos de utilidad para trabajos domésticos a pequeña escala. Los sistemas industriales que se ofertan

comercialmente así como otros para la gran escala aquí presentados son los que serían de utilidad para el trabajo en las Destilerías de Etanol

4. CONCLUSIONES

1. De las diferentes referencias bibliográficas consultadas se pudo escoger una serie de indicadores para cuantificar la producción de biogás a partir de las vinazas de la destilación del etanol. Estos indicadores son:
   Volumen de vinaza (m^3/hL), kg DBO en vinaza/hL de etanol**,** DQO en vinazas/litro de etanol (mg/L), Vinaza producida/litro de etanol (L/L), composición volumétrica del Biogás, índice de conversión de biogás (Nm^3/kg DQO removido) y % de DQO removido de todo la vinaza con los cuales el autor aplicó un método de cálculo.
2. Se analizó la producción de vapor y electricidad con la producción de biogás en el período crítico de demanda de energía de la Destilería que es el de No Zafra por la no disponibilidad del bagazo. Se calculó el ahorro energético utilizando como ejemplo una destilería de 50 000 L/d. Se realizaron los balances de vapor y electricidad para dos niveles de parámetros para la generación de vapor:
   a. 150 psig de vapor saturado y
   b. 250 psig con vapor sobrecalentado a 330 ºC.

   Se calculó para un valor medio y dos valores extremos superior e inferior
   Para la producción de vapor.
   Para la generación a 150 psig (saturado) el vapor disponible resulto altamente significativo ya que en el valor inferior hubo un importante ahorro de 69,34 % del vapor demandado y un sobrante amplio en el cálculo de los valores medio (131,33 %) y superior (226,94 %)

   Para 250 psig y 330 ºC un también importante 61,16 % del vapor demandado y un sobrante amplio en los valores medio (115,84 %) y superior (200,16 %) aunque no tan alto como el caso anterior.

   Para la producción de electricidad.
   Para la generación a 150 psig (saturado) la electricidad disponible resultó significativa ya que en el valor inferior hubo un ahorro de 56,02 % de la demanda y un sobrante amplio en los valores medio (106,11 %) y superior (183,3%)

   Para 250 psig y 330 ºC mayor ahorro de 86,62 % de la demanda y un sobrante amplio en los valores medio (164,05 %) y superior (283,48 %) mucho mayor que el caso anterior.

   Se puede concluir que la generación de vapor y electricidad podría ser significativamente beneficiosa para ambos niveles de los parámetros del vapor estudiados, con la característica que habrá un poco de mayor disponibilidad de vapor en la variante de 150 psig (saturado) que en la de 250 psig y 330 ºC, aunque en esta última alternativa existe una significativa producción y ahorro de vapor y mucho mayor posibilidad de exportar electricidad a la red. Un estudio casuístico es quien decidiría la solución a adoptar. Hay que señalar que un exceso de vapor por encima de la demanda del proceso no tendría sentido práctico para las condiciones analizadas. En esta circunstancia otras alternativas beneficiosas podrían ser consideradas, como es por ejemplo, el almacenamiento de biogás.

3. Se ha expuesto varios principios utilizados para realizar la desulfurización del biogás. Aunque muchos de ellos de utilidad para trabajos domésticos a pequeña escala. Los sistemas industriales que se ofertan comercialmente así como otros para la gran escala aquí presentados son los que serían de utilidad para el trabajo en las Destilerías de Etanol entre los que se encuentran:

- Sistema Greenlane™ de FLOTECH según www.flotech.com (2006) que utiliza el biogás a presión a contra flujo con agua (no usa productos químicos) con un sistema de recuperación posterior de la misma agua utilizando aire atmosférico.
- Uso de la lechada de cal por Marchaim (1992). Este medio además del SH_2 elimina también convenientemente el CO_2 del biogás por lo que merece ser considerado, en la medida que las piedras calizas estén disponible en los países involucrados y sea bien determinado el destino de los residuos con mal olor. Una planta de este tipo a gran escala se ha construido en Alemania, con cogeneración de calor y electricidad, pero los resultados de las pruebas a largo plazo no están todavía disponible.
- Sistema THIOPAQ de STA-AT según www.sta-at.com (20). El biogás entra en un lavador con un líquido que contiene sosa cáustica que absorbe el SH_2. Para regenerarse el líquido de lavado, éste se transfiere a un biorreactor, donde se oxida el azufre gracias a una serie de bacterias, produciéndose dos efluentes: el azufre elemental que puede ser reutilizado posteriormente como fertilizante y/o biocida, y una purga que consiste en sales de sodio sin nada de azufre, por lo que no representa un residuo peligroso y puede ser desechado normalmente.
- Sistema BgPur™ de Eco-Tec según www.eco-tec.com (21), El lavador remueve el SH_2 se basa en un dispositivo mezclador de impelente de contacto gas-líquido. Utiliza para el lavado una solución acuosa con una bien conocida sustancia reductora férrica. Para la regeneración de la solución lavadora se utiliza oxígeno atmosférico que convierte el SH_2 en azufre elemental. Este es un proceso sin peligros y puede desecharse con seguridad. La solución regenerada ahora libre de SH_2 es retornada al vaso lavador.
- Novedosa patente de Habets (Publication Date 03/03/1999). La alcalinidad natural generada durante un proceso aeróbico biológico de purificación de aguas residuales contenedoras de biomasa puede ser utilizada como lavadora de biogás, en lugar de la adición de productos químicos alcalinos. El tratamiento aeróbico de las aguas residuales que tiene una alcalinidad adquirida de forma natural, se pone en contacto con el biogás que contiene SH_2. La gran ventaja es que no se adiciona producto químico alguno, por lo que los costos operacionales son bajos. El líquido lavador, el que contienen dentro el SH_2 absorbido, puede ser reciclado hacia el tratamiento aeróbico sin dificultad y sin algún tratamiento adicional.

Referencias

(1) Aroca, G. et al. (23 - 25 April 2006) Perspectives of biogas production in Chile. Biofuels Research Workshop. Campinas, Brasil.
(2) Doménech F. (2008) Criterios técnicos sobre la planta demostrativa de tratamiento de vinazas. Informe interno ICIDCA.
(3) Doménech F. (2008). Análisis de propuestas para el enfriamiento de las vinazas de la destilería Heriberto Duquesne.
(4) Eco-efficiency for Australian dairy processors (August 2004). Fact sheet 5: Biogas. This project (DAV447) was funded by Dairy Australia.
(5) Estévez, R.; García, A y Varela, J. (1975) "Reporte Técnico sobre los residuales de la destilería Paraíso y el Central Melanio Hernández". ICIDCA
(6) Estévez, R. (Agosto 2007) Rehabilitación Destilería E. A. Héctor Molina. Tarea de Proyección Tecnológica. Informe interno M I N A Z
(7) Estévez, R. (Agosto 2007) Anexo Tarea Tecnológica Rehabilitación Destilería E. A. Héctor Molina. Informe interno M I N A Z
(8) Godbole J. (November 14, 2002) Ethanol from Cane Molasses. PRAJ INDUSTRIES LTD. PUNE, INDIA Hawaii Ethanol Workshop.

(9) Habets, L. (Publication Date 03/03/1999) Process for the removal of Hydrogen Sulphide (H_2S) from biogas. European Patent EP0487705
(10) Kapdi, S., et al. (2004) Biogas scrubbing, compression and storage: perspective and prospectus in Indian context. Center of Rural Development and Technology, Indian Institute of Technology, New Delhi 110 016, India received 8 May 2003; accepted 23 September 2004
(11) KENT´S (1966). Mechanical Engineers´ Handbook. Twelfth Edition.
(12) Marchaim, U. (1992) Biogas processes for sustainable development. ISBN 92-5-103126-6. FAO CORPORATE DOCUMENT REPOSITORY.
(13) Moletta R. (2005) Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion. Water Science and Technology Vol 51 No 1 pp 137-144 (c) IWA Publishing
(14) Moreira, J. R. (2007) Water Use and Impacts due Ethanol Production in Brazil. CENBIO/IEE, University of Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil.
(15) Técnicas de Conservación Energéticas en la Industria (1982). IDA. Tomo 2 Ahorro en Procesos. Ediciones R.
(16) Valdés E. (2007) Alternativas de tratamiento de las vinazas. Taller ATAC -ICIDCA,
(17) www.heritagesystemsinc.com (2008). What is the difference between BOD, COD or TOC? Why do I have to measure them? Heritage Systems Inc.
(18) www.monografias.com/ (2006). Alternativas para el tratamiento del residual de la Destilería Paraíso.
(19) www.flotech.com/ (November 2006) Greenlane™ Biogas Upgrading Systems.
(20) www.sta-at.com/ THIOPAQ: Depuración de SH_2 mediante Absorción-Biorreacción
(21) www.eco-tec.com/ BgPur™ Biogas Purification System for Hydrogen Sulphide Removal

BALANCE DE ENERGÍA EN LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE BAGAZO

Lourdes Zumalacárregui*, Osney Pérez*, Rolando Santana*, Pedro Rodríguez*, Gerardo Lombardi**

*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Cuba.**Universidad de Sao Pablo, Brasil.
lourdes@quimica.cujae.edu.cu, osney@quimica.cujae.edu.cu, gazucar@quimica.cujae.edu.cu, pedro@economia.cujae.edu.cu

Resumen

En la actualidad, el incremento del precio del petróleo ha confirmado la necesidad de buscar fuentes alternativas y renovables de energía. La combustión de combustibles fósiles ha provocado un incremento en la concentración de gases de efecto invernadero, principalmente CO_2, lo que se traduce en un incremento de la temperatura del planeta. El etanol es una de las fuentes alternativas de energía en desarrollo a nivel mundial. En el trabajo se presenta el cálculo del balance de energía asociado a la producción de etanol a partir de bagazo de caña de azúcar y se compara con el potencial energético de la utilización de éste para la producción de electricidad, determinando la factibilidad de su utilización en estas producciones. Se presenta la metodología para evaluar las emisiones de CO_2 aplicada a diferentes variantes de operación, lo que permite analizar los efectos ambientales que provoca el proceso de producción de etanol a partir de bagazo.

Palabras clave: *etanol combustible, energía, dióxido de carbono*

Abstract

At the present time, the increment of the petroleum's price has confirmed the necessity to look for alternative and renewable sources of energy. The combustion of fossil fuels has caused an increment in the concentration of greenhouse gases, mainly CO_2, which cause an increment of temperature in the planet. Ethanol is one of the alternative sources of energy in development. In this work, energy balance associated to the production of ethanol is presented, starting from bagasse of sugarcane. It is compared with the electricity that can be produced using this bagasse, determining the feasibility of its use in these productions. The methodology is presented to evaluate the CO_2 emissions caused by different operation alternatives. Environmental effects caused by the production of ethanol starting from bagasse can be analyzed.

Keywords: *etanol fuel, energy, carbon dioxide*

1. Introducción

Durante los últimos años el uso del etanol como combustible automotor ha ganado interés debido a razones ecológicas y económicas. Tradicionalmente el etanol se ha producido por fermentación de materias primas azucaradas y amiláceas. Sin embargo, esas materias primas también constituyen importantes fuentes de alimentos y su disponibilidad no es suficiente para cubrir la demanda potencial de etanol combustible (Pimentel, 2001). El bagazo y los residuos agrícolas de la caña de azúcar son materiales lignocelulósicos que

por su alto contenido de glúcidos, su bajo costo y su disponibilidad pueden ser una opción para la producción de etanol (Martín, 2002).Los biocombustibles pueden contribuir al desarrollo sostenible y a la mitigación del cambio climático, pero han de tenerse en cuenta aspectos sociales, como la seguridad alimentaria y ambiental. (Pich, 2007)
Dadas las excelentes cualidades físico-químicas y termodinámicas del etanol combustible y de las favorables propiedades ambientales del cultivo de la caña, el etanol obtenido a partir de ella, es un buen candidato para sustituir a derivados del petróleo. Este hecho justificó el estudio para la creación de una Destilería de Etanol Diversificada (DED), que integre la producción de azúcar y de etanol, a partir de mieles y de materiales lignocelulósicos, teniendo al hombre y la protección del medio ambiente como su centro. (Ramos-Rodriguez y otros, 2003)

2. Metodología

Con en el objetivo de simplificar los cálculos, se realizan algunas consideraciones que se presentan a continuación. Al haberse tomado valores próximos a los reales, las conclusiones a que se arriban en el trabajo pueden ser generalizadas.

- Al inicio de la cosecha el terreno se encuentra limpio de vegetación.
- La producción de la DED a partir de las mieles es de 40 000 L/día de etanol durante 8 meses. La densidad del etanol es igual a 789,5 kg/m^3, de donde la producción a partir de las mieles es de 31,58 toneladas de etanol por día.
- La productividad de la caña es de 67 L - 70 L de etanol por tonelada de caña (Sánchez & Cardona, 2005).
- La composición aproximada de la caña puede considerarse: sacarosa: 12,5%; xilosa: 2,5%, celulosa: 7%; lignina: 2% (Mesa y González, 2003).
- Para un 50% de humedad del bagazo se obtienen entre 0,13 y 0,17 ton de bagazo seco /ton de caña.
- El bagazo seco tiene 50% de celulosa, 30% de hemicelulosas y 20% de lignina. Cuando se reporta como composición elemental aproximada es posible considerar valores de C: 48,3%; H: 6%; O; 43,3% cenizas; 2,4% (% en peso) (Mesa y González, 2003).
- La raíz de la caña representa el 11% de la masa de la caña cortada y tiene su misma composición (Ramos y Lombardi, 2001).

Los cálculos han sido realizados considerando las aportaciones y consumos para un año natural, durante el que se realice una zafra y la destilería trabaje 244 días.
Toda la caña sembrada es recogida y procesada y el bagazo es utilizado con dos fines: para quemar en las calderas para generar la energía requerida en la fábrica de azúcar (70%) y el exceso se utiliza para la producción de etanol directamente (30%). La paja, que representa el 14% de la caña, se deja en el suelo como protección contra la germinación de hierbas dañinas, por lo que no se quema.
La energía necesaria para el funcionamiento de la destilería de etanol se obtiene a partir de petróleo y no del bagazo.

3. Resultados y discusión

En la figura 1 se presenta un esquema simplificado de las diferentes etapas que intervienen en el proceso de transformación de la caña hasta obtener el etanol.

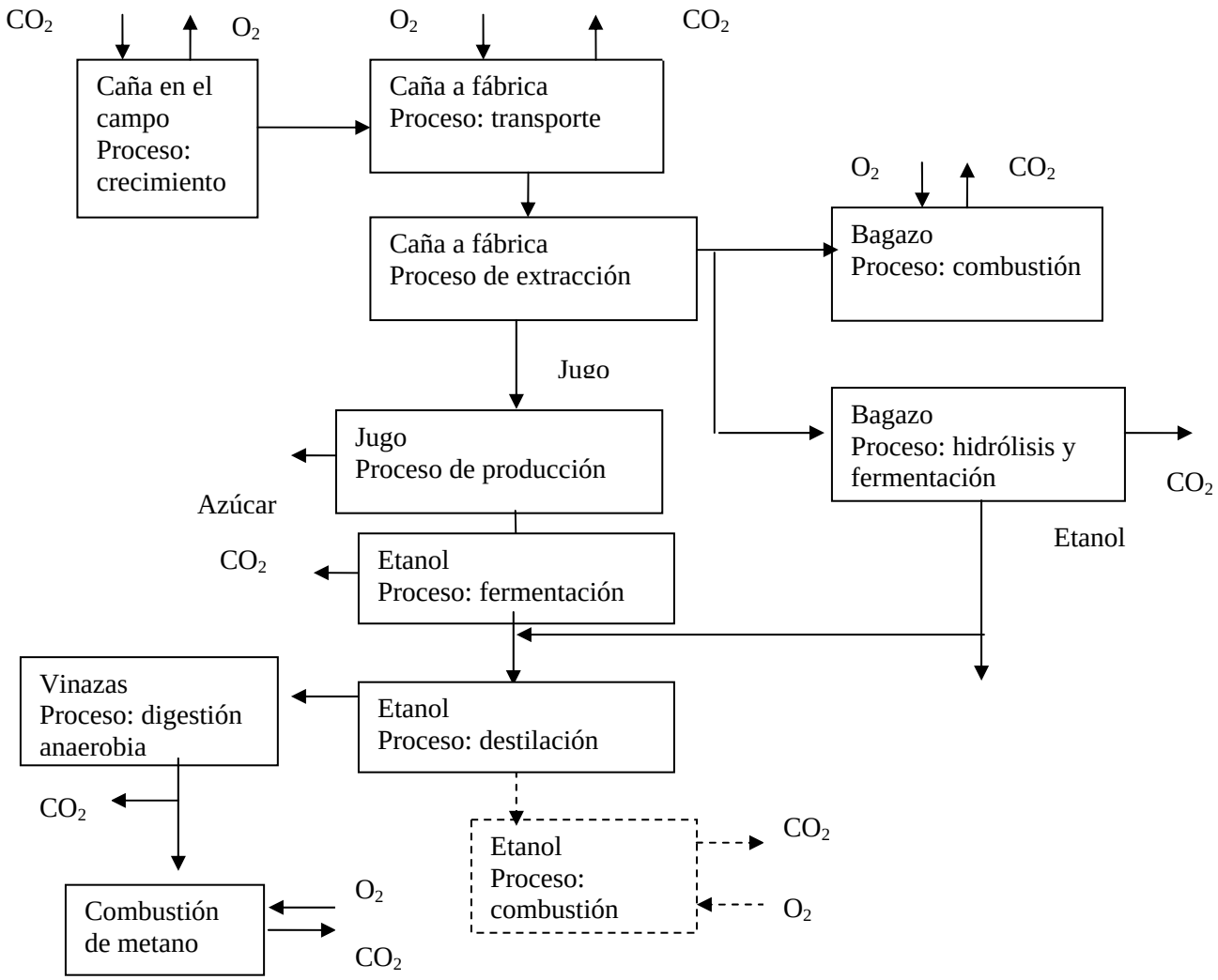


Fig. 1: Procesos que contribuyen a las emisiones durante la obtención del etanol

Formación de la biomasa en la caña

La producción de etanol, de 40 000 L/día, ocurre durante 244 días de donde se producirán a partir de la mieles 97 600 hL de etanol. Considerando que son producidos 67 L de alcohol por tonelada de caña, deben estar disponibles para el corte y procesamiento 145 672 t de caña.

Para la formación de esta masa de caña, de composición: sacarosa: 12,5%; xilosa: 2,5%, celulosa: 7%; lignina: 2%, se requiere el consumo de cantidades de CO_2 desde el medio y la devolución a éste de cantidades de O_2 según las ecuaciones estequiométricas que se presentan a continuación

Para la sacarosa: $12\ CO_2 + 11\ H_2O = C_{12}H_{22}O_{11} + 12\ O_2$

Para la celulosa: $6\ CO_2 + 5\ H_2O = C_6H_{10}O_5 + 6\ O_2$

Para la xilosa: $5\ CO_2 + 4\ H_2O = C_5H_8O_5 + 4{,}5\ O_2$

Para la lignina: $10\ CO_2 + 4{,}88\ H_2O = C_{10}H_{9{,}76}O_2 + 11{,}44\ O_2$

En la tabla I se presenta el resumen de las cantidades retiradas y aportadas de CO_2 y O_2 respectivamente para 145 672 t de caña.

Tabla I: Cantidades de CO_2 y O_2 retiradas y aportadas para la producción de la biomasa a partir de la caña de azúcar

	Rel. Esteq. CO_2/componente	Rel. Esteq. O_2/componente	CO_2 total retirado t	O_2 total aportado t
Sacarosa	528/342	384/342	28 112,1	20 445,1
Celulosa	264/162	192/162	16 617,4	12 085,4
Xilosa	220/148	144/148	5 413,5	3 543,4
Lignina	440/161,76	366/161,76	7 924,8	6 592,0
Total			58 067,8	42 665,9

Como se aprecia de la tabla I, el proceso de formación de la biomasa consume 58 067,8 t de CO_2 y entrega 42 665,9 t de O_2.
Adicionalmente dado que las raíces constituyen el 11% de la masa de caña y que éstas también se desarrollan durante el crecimiento, el valor anterior se verá incrementado en esa proporción, resultando un efecto de: consumo de 64 455,1 t de CO_2 y entrega de 47 359,1 t de O_2

Transporte de caña hacia la DED
Datos reportados (Mesa y González, 2003) estiman que el consumo de combustible promedio para el transporte de caña hacia la fábrica es de 6 kg de petróleo equivalente / t de caña. Si la composición del petróleo equivalente es C: 85,7 %; H: 10,5 %; O: 0,92 %; S: 2,8 % (% en peso) existirá una aportación de CO_2 al medio de 3,14 kg de CO_2 / kg de petróleo y un consumo de O_2 de 3,17 kg de O_2 / kg de petróleo. Dado que en el año se transportan 145 672 t de caña, el aporte de CO_2 será 2 746,5 t y el consumo de O_2 será 2 760,3 t.

Producción de etanol a partir de miel
El etanol se produce a partir de la fermentación de los azúcares según:

$$C_6H_{12}O_6 = 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$$

Por consiguiente se obtendrán 0,956 kg de CO_2 por kg de etanol producido. Dada la producción anual de etanol se producirán 9 330,6 t de CO_2.

Combustión del bagazo
El porcentaje de bagazo seco en la caña es de 17%, por lo que se dispondrá de 24 764,2 t de bagazo seco. Dada la composición elemental, es posible obtener una fórmula empírica aproximada de $C_{4,12}H_{6,14}O_{2,77}$. La combustión del bagazo, ocurre según:

$$C_{4,12}H_{6,14}O_{2,77} + 4{,}27\ O_2 = 4{,}12CO_2 + 3{,}07\ H_20$$

De la ecuación anterior se aprecia que la combustión de 1 kmol de bagazo consume 136,8 kg de oxígeno y produce 181,5 kg de CO_2. Si el bagazo a quemar es el 70% del bagazo total, en su combustión se consumirían 23 714,2 t de O_2 del medio y se aportarían a éste 31 462,9 t de CO_2.

Producción de etanol a partir de bagazo
El tratamiento del bagazo requiere de tres etapas fundamentales: deslignificación, despolimerización y fermentación. La deslignificación es una etapa de pretratamiento del bagazo que tiene como objetivo romper la matriz celulosa- hemicelulosa-lignina. Varios son los pretratamientos existentes para deslignificar el bagazo y obtener celulosas y hemicelulosas que puedan hidrolizarse hasta azúcares fermentables en la etapa de despolimerización. (Vaz, 2007) Finalmente los azúcares fermentables (hexosas y pentosas) son transformados en etanol. Este proceso se representa por las ecuaciones (Abril, 2006):

Hemicelulosas= $C_5H_{10}O_5$ + $C_6H_{12}O_6$ + otros azúcares
xilosa glucosa

$(C_6H_{10}O_5)_{2n}$ = n $C_{12}H_{22}O_{11}$ = 2n $C_6H_{12}O_6$
celulosa celobiosa glucosa

$C_6H_{12}O_6$ + *Saccharomyces cerevisiae* = 2 C_2H_5OH + 2 CO_2

3 $C_5H_{10}O_5$ + *Pichia stipitis* = 5 C_2H_5OH + 5 CO_2

Considerando que toda la celulosa y hemicelulosas contenidas en el bagazo que no se quema en las calderas (0 sea el 30% del bagazo total) se transformen en glucosa y xilosa, se obtendrían 5 826,9 t de glucosa y 3 575,6 t de xilosa. Éstas producirían como máximo 4 805,7 t de etanol y 4 596,8 t de CO_2.

Digestión anaerobia de las vinazas

Como parte del proceso de producción de etanol se generan vinazas, agua residual procedente de las columnas de destilación, que en la DED se utilizan para la producción de biogás en un digestor anaerobio. Una destilería de etanol produce 0,013 m^3 de vinazas por L de etanol, (Rocha, 2007). El etanol obtenido a partir de la miel se verá incrementado con el obtenido a partir del bagazo, de donde el etanol total producido será 12 511,2 t (15 846 991,8 L). Dada esta producción se dispondrá de 206 011 m^3 de vinazas. Estudios demuestran que se obtienen 13 - 16 m^3 de biogas / m^3 de vinaza (Valdés, 2006), de donde se producirán 3 296 176 m^3 de biogás, al considerar el valor más alto.

La composición aproximada del biogás obtenido con tecnologías convencionales puede considerarse 50% de CH_4 y 50% de CO_2. De esta forma se producirán por esta vía 1 177,2 t de CH_4 y 3 237,3 t de CO_2.

Combustión del metano en el biogás

El CH_4 contenido en el biogás se puede quemar según:

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$$

Por tanto la combustión de todo el metano aporta 3 237,3 t de CO_2 y demanda 4 708,8 t de O_2 del medio.

Combustión del petróleo requerido para producir la energía demandada en la destilería

La combustión del biogás, dado su contenido de CH_4, libera 19,8 MJ/m^3de biogás, de donde la energía producida sería equivalente a 32 632 142 MJ.

Si se conoce que una destilería demanda 3 – 4 kg de vapor /L de etanol producido (Pérez y otrosl, 2006; Vaz, 2007) se necesitarán 63 387 967 kg de vapor. (63 388 t de vapor)

Si ese vapor se produjera a partir de petróleo equivalente de valor calórico inferior (VCI) 39,7 MJ/kg en un generador de vapor de índice de generación 10 t de vapor / t de combustible, la energía producida por dicho combustible sería: 251 650 360 MJ.

Como del biogás es posible obtener 65 264 285 MJ, se requerirá generar 186 386 075 MJ a partir de petróleo, o sea a partir de 4 695 t de petróleo equivalente.

La combustión de éste producirá 14 742,3 t de CO_2 y retirará 14 883,2 t de O_2.

Balance neto

En la tabla II se presenta el resumen de las aportaciones de CO_2 y O_2

Tabla II: Balance neto de aportaciones de CO_2 y O_2. Valores negativos de aportaciones representan sustracciones.

	t/año de CO_2 aportados	t/año de O_2. aportados
Formación de biomasa (caña)	- 64 455,1	47 359,1
Transporte de caña	2 760,5	-2 760,3
Producción de etanol de miel	9 330,6	
Combustión del bagazo	31 462,9	-23 714,2
Producción de etanol del bagazo	4 596,8	
Digestión de vinazas	3 237,3	
Combustión del metano	3 237,3	-4 708,8
Combustión del petróleo para el vapor de destilería	14 742,3	-14 883,2
Total	4 912,6	1 292,6

Del resultado mostrado en la tabla II, se concluye que la DED anualmente aporta 4 912,6 toneladas de CO_2 y aporta 1 292,6 toneladas de O_2. Por consiguiente, el balance neto de la producción de etanol por esta tecnología integrada no tiene entre sus ventajas la retirada de CO_2 neta que se le atribuye.

Se aprecia que el consumo de energía en el proceso de destilación requeriría un alto valor energético, que elevaría los índices de CO_2 si no se aprovecha la energía procedente de la digestión de las vinazas. De aquí que toda modificación que se haga en la tecnología de destilación deberá comprender la reducción del consumo energético.

Por otra parte, una destilería de alcohol diversificada de 40 000 L/día de etanol, puede suministrar 5,2 MW de electricidad excedente. (Ramos y Lombardi, 2001) Si la energía eléctrica se produce en base a un ciclo combinado de 50% de eficiencia, quemando gas natural, de valor calórico 52,9 MJ/kg se necesitaría quemar 17 t de gas natural /día. Para 244 días de operación, se incorporarían 11 407 t de CO_2. Este valor sería el que se aportaría al medio al general 5,2 MW de electricidad a partir de gas natural, lo que se evita al generar dicha electricidad en la DED. (Zumalacárregui y otros, 2008)

4. Conclusiones

La caña resulta una materia prima adecuada para producir etanol combustible y para generar energía eléctrica al no ser fósil, ser renovable y ecológica.

En una destilería de alcohol diversificada en que se utilice el bagazo excedente para la producción de etanol, se logra un incremento de 1,6 veces la producción de éste. La combustión del metano producido a partir de la digestión de las vinazas contribuye también a reducir el efecto negativo sobre el medio y a la vez a la generación de energía por fuentes no convencionales. Por otra parte se reducen las emisiones de CO_2 al medio ambiente para la generación de electricidad en comparación con la requerida si se utilizaran combustibles convencionales.

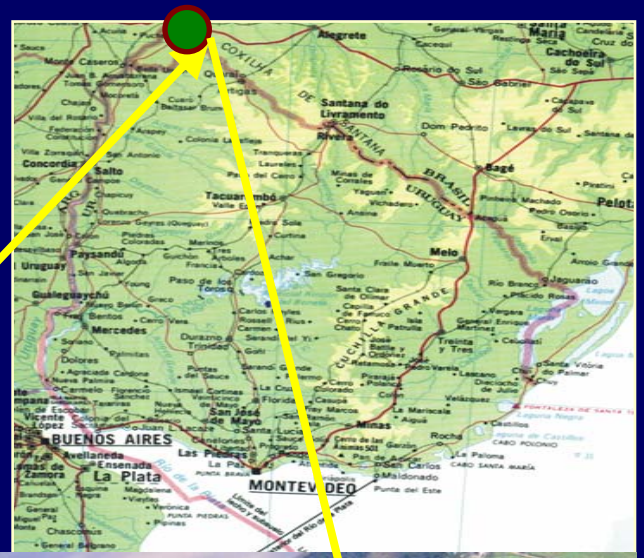
5. Referencias

1. Abril, A (2006) *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica.* Red Temática IVH. Empleo de la biomasa azucarera como fuente de alimento, energía, derivados y su relación con la preservación del medio ambiente (BAZDREAM) CYTED. Argentina.

2. Martín, C. (2002). *Estudio de la inhibición de la fermentación de hidrolizados de bagazo de caña de azúcar para la producción de etanol*. Tesis Doctoral, Facultad de Mecánica y Química, Universidad de Matanzas, Cuba.
3. Mesa, J. y González, L. (2003). *Balance de CO_2 en la obtención de energía renovable a partir de caña de azúcar*. http://www.monografías.com.
4. Pérez, O y otros (2006) *Análisis de Procesos en Destilerías de Etanol.* Taller Alternativas Combustibles a partir de la Industria Azucarera. Ciudad de la Habana, Noviembre.
5. Pich, R. (2007). Alerta Cuba sobre la necesidad de balance en producción de biocombustibles. Intervención en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro del 2-4 de diciembre del 2007. Publicado en *Periódico Granma* 5 de diciembre del 2007 Cuba.
6. Pimentel, D. (2001). Ethanol fuels: Energy, economics and environmental impact. *Int. Sugar J*., 103, 491-494.
7. Ramos, P. y Lombardi, G. (2001). *Viabilidade econômica do projeto conceitual para execução do projeto dimensional da MUAI*. Relatório de Pesquisa FAPESP. NETeF, Escola Engenharia São Carlos, USP, S.P., Brasil.
8. Ramos-Rodríguez, P, Lombarda, G Corsini, R y Pérez, O (2003) Destilería diversificada de alcohol. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia* (28), 37-49.
9. Rocha, M.H. (2007) *Avaliação da Eco-Eficiência Ambiental da Vinhaça para diferentes formas de disposição aplicando ACV*. II taller de gestión de energía y residuos de la industria sucroalcoholera, Pirassununga, Brasil.
10. Sánchez, O y Cardona, C. (2005). Producción biotecnológica de alcohol carburante I: obtención a partir de diferentes materias primas. *Interciencia*, 30, 11, 671- 678.
11. Valdés, A (2006). *Tecnologías para el Uso Eficiente de Combustibles y Energías a Partir de la Biomasa Azucarera y otras Biomasas incluyendo el Uso Ecónomo de sus Residuos y Residuales*. Monografía. Red Temática IVH. Empleo de la biomasa azucarera como fuente de alimento, energía, derivados y su relación con la preservación del medio ambiente (BAZDREAM) CYTED. Argentina.
12. Vaz, C (2007) *Etanol como combustible. Producción de etanol. Hidrólisis de bagazo, proceso organosolv. Nuevos productos a partir de la caña de azúcar.* Grupo Energía/Proyecto Etanol. UNICAMP. Brasil.
13. Zumalacárregui, L., Pérez, O., Lombardi, G., Rodríguez, P., y Zumalacárregui, B. (2008) Cálculo del beneficio ambiental de la caña de azúcar para la producción de etanol combustible. *Ingeniería y Competitividad*. Volumen 10 No 1 , 17-23

Proyecto Sucroalcoholero ALUR S. A
Ing. Mones Quintela
Bella Unión (Uruguay)

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A



Dardo Oxandabarat, Walter Bisio y Jesús Fonseca

El país posee una riqueza muy importante desde el punto de vista agroecológico para el desarrollo de las materias primas más importantes para el desarrollo de los agrocombustibles: caña de azúcar, sorgo azucarado y granífero; girasol, soja y la grasa vacuna, entre otros.
01/31/2008

En el año 2005 el gobierno nacional decidió la necesidad de comenzar a producir etanol y biodiesel con materias primas nacionales para diversificar la matriz energética nacional con el objetivo de:

- **aumentar la soberanía energética nacional,**
- **disminuir progresivamente el consumo de petróleo (los porcentajes de mezcla variaran entre un 2% y un 25%),**
- **disminuir los gases de efecto invernadero y los efectos nocivos en la salud,**
- **impulsar el desarrollo de cadenas agroindustriales que nos posicionen estratégicamente en un mundo que se inclina cada vez mas hacia las fuentes renovables de energía,**
- **impulsar el desarrollo económico y social de distintas regiones del país.**

Marco Legal
Ley Nº 18.195 (2007)
Agrocombustibles

La Ley encomienda a ANCAP a mezclar para el mercado interno:

- Etanol 5 % como mínimo hasta el 31/12/2014 para mezclar con las gasolinas.

- Biodiesel 2 % como mínimo desde el 1/1/2009 hasta el 31/12/2011 para mezclar con el gasoil. Posteriormente se pasará a un mínimo de 5 % a partir del 1/1/2012.

Fundamentos para el desarrollo de la agroenergía desde ANCAP

- Integración de ANCAP en la cadena de producción.
- Producción de cultivos agroenergéticos integrados a los actuales sistemas de producción de alimentos.
- Se requiere de alianzas público-privadas que viabilicen la producción.
- Se impulsará la creación de cadenas agroindustriales que impulsen el desarrollo local y la generación de empleo.
- Se preservará el modelo agrícola que proteja al pequeño y mediano productor.
- Se priorizará la utilización de materia prima nacional (Marco legal).
- ANCAP debe asegurar volumen y calidad suficiente para cumplir con los requisitos planteados por UNIT y el proyecto de ley sobre Agrocombustibles.

Materias primas para la producción de biodiesel y etanol

Biodiesel

Oleaginosas	girasol, soja
Industria cárnica	sebo o grasa vacuna

Etanol

Azúcar	caña de azúcar, remolacha alcoholígena y sorgo dulce
Almidón	trigo, maíz , boniato y papa
Fibra	materias ricas en celulosa (ej.: paja de arroz y residuos forestales)

SISTEMATIZACION

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A

PREPARACIÓN DE SUELOS

Características de la producción de caña de azúcar en Uruguay

- Necesidad de riego por limitada lluvia y capacidad de reserva del suelo.
- Lluvias durante la cosecha, transitabilidad limitada para maquinaria y vehículos.
- Cosecha manual, máxima recuperación de azúcar pero costo elevado.
- Período de crecimiento limitado por bajas temperaturas, reduce potencial de caña pero favorece la maduración natural.
- Insumos importados.
- No se utilizan insecticidas, fungicidas y bactericidas.
- Ocurrencia de heladas que afectan notablemente la producción.
- Duración media de la cepa 5 años.
- Unidades productivas con limitaciones de maquinaria y tecnologías atrasadas en la mayoría de los casos.

2007/05/17

ESTRUCTURA PRODUCTIVA EN BELLA UNION

➢ TAMAÑO DE LOS PREDIOS.

Superficie por productor	Número Productores
1-5	88
5-10	104
10-15	49
15-20	32
20-25	13
25-30	15
30-40	19
40-50	19
50-100	22
100-300	3
Total de productores	364

66%<15 has

2005/01/01

Fuente: Dpto. Agrícola ALUR

- En el área agrícola, el sector a sufrió un proceso muy fuerte de desinversión durante 15 años. Esto trajo como consecuencia ineficiencia desde el punto de vista productivo y un fuerte endeudamiento en un cultivo como la caña de azúcar que es clave desde el punto de vista alimentario y energético para el país.

- El Departamento Agrícola de la ex CALNU fue desmantelado y durante esos años se frenó el proceso de incorporación de tecnologías, variedades de caña de azúcar, prácticas de cultivo, manejo de cultivos, control biológico, etc. En el campo esta realidad se vio reflejada en las dificultades de los agricultores para invertir en maquinaria, herramientas, caminería, etc..

- El proyecto agrícola tiene como principal objetivo implantar unas 10.000 ha de caña de azúcar a moler para la producción de etanol, azúcar y energía eléctrica; y unas 4.000 ha de sorgo dulce para producir etanol y energía eléctrica.

Comparativo de producción Argentina, Brasil y Uruguay (Ton de caña / ha)

Año	Bella Unión	Brasil	Argentina
1970 / 1971	50	46,23	
75 / 76	49	46,48	
80 / 81	51	57,01	
85 / 86	59	63,19	
90 / 91	65	63,2	38,7
95 / 96	52	66,49	46,5
00 / 01	54,4	67,62	52,3
2004-2005	50	73,88	52,7

Fuente: Dpto. Agrícola ALUR

El plan agrícola tiene 2 objetivos fundamentales:

- Disponer de unas 10.000 ha de caña de azúcar a moler para la producción de etanol, azúcar y energía eléctrica; y unas 4.000 ha de sorgo azucarado para producir etanol y energía eléctrica.

- Lograr una mayor eficiencia productiva que permita alcanzar mejores rendimientos por hectárea y reducir los costos.

Programa de ampliación de área de caña de azúcar y sorgo azucarado

	caña de azúcar		sorgo azucarado
Fines 2005	3000	ha	
Fines 2006	6500	ha	
Fines 2007	6900	ha	
Fines 2008	10.000	ha	500 ha
Fines 2009			4000 ha

Fondo agrícola

Objetivo:

- **Financiar la ampliación del área y el mantenimiento de los cultivos.**

- **Cuando se inició la actividad en el 2006 la mayoría de los productores de Bella Unión no eran sujetos de crédito para los bancos.**

- **Este financiamiento, liberado por etapas, bajo la estricta supervisión del Departamento Agrícola y el Área Económica y Financiera de ALUR permitió llegar a las 7300 ha de caña que existen hoy.**

- **Dos instituciones financieras están negociando con ALUR la compra de esta cartera dado que la recuperación del crédito ha sido casi del 100%.**

EVALUACIÓN Y RECOMENDACIÓN COMERCIAL DE VARIEDADES

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A

TUC78-14

TUC78-14

NA63-119

NA63-109

NA73-2596

TUC77-42

TUC67-27

TUC68-18

TUC79-14

CP72-1312

TUC77-48

FAM63-18

LCP85-384

CP92-618

CP71-382

CP68-350

CP79-332

CP71-1038

FAM81-77

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A

SIEMBRA

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A

INCORPORACIÓN DE FERTILIZANTES

Variedad mas promisoria en Bella Unión
LCP85-384

	Evaluaciones realizadas por Departamento Agricola de ALUR					
	17-may-07	25-may-07	01-jun-07	26-jun-07	24-jul-07	Promedio
Variedad						
	Az/há					
TUC 78-14 PP	7681	7073	7544	7598	7269	7433
TUC 78-14 PO	9421	9012	8479	8964	8509	8877
LCP 85-384 S1	11019	12226	10796	11855	10084	11196
NA 73-2596 S1	7050	7271	7584	8081	8596	7716
CP 92-628 PO	5591	7792	7445	8263	8015	7421
CP 92-618 Soca	8032	6860	6983	7116	7161	7231
TUC 77-42 S1	7669	7661	7090	8707	8245	7875
Promedio general	8066	8271	7989	8655	8269	

Fuente: Dpto. Agrícola ALUR

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A

SISTEMAS DE RIEGO

RIEGO

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A

COSECHA

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A

COSECHA MANUAL

30/07/2007

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A
22/08/2007

FORD
GTC 4041
20/07/2007

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A
12/07/2007

LAS HELADAS Y EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR

Caña en zona baja

Caña en zona alta

Diferencia de efecto según variedad

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A

El congelamiento mata y rompe las celulas lo que produce la degradación de la sacarosa debido a:

- **Aumenta la acidez**
- **Aumenta la invasión de microorganismos**
- **Mayor actividad de las enzimas de inversión (invertasas)**
- **Disminuye la actividad de las enzimas de la sacarosa**

11/07/2007

Factores que influyen en daños de heladas

- Localidad: Zona alta, baja
- Época de cosecha: Temprana, Media, Tardía
- Factor varietal: Resistencia genética a la tolerancia del frío
- Estacionamiento Post-cosecha: Tiempo transcurrido desde corte a molienda

SORGO DULCE

CONVENIO ALUR-UDELAR

CONVENIO ALUR-ANCAP-INIA

Evaluaciones de variedades de remolacha alcoholígena y sorgo azucarado

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
Facultad de Agronomía – UDELAR
Técnicos privados

CALENDARIO TENTATIVO SORGO DULCE

SIEMBRA								
COSECHA								
15 SET	15 OCT	15 NOV	15 DIC	15 EN	15 FEB	15 MAR	15 AB	15 MAY

ALUR-UDELAR

01/31/2008

ALUR EN EL INGENIO “ALFREDO MONES QUINTELA”

- ANCAP inicia su plan de agrocombustibles, con la producción de etanol a partir de la caña de azúcar.

- A finales del 2005 CALNU comunica que entra en cesación de pagos, lo que podía significar la interrupción de la producción de azúcar a partir de caña de azúcar, por lo que se adoptaron medidas inmediatas que garantizaran la continuidad de la producción en Bella Unión y aseguraran que las 3000 ha de caña que existían pudieran ser procesadas en la zafra 2006.

- ANCAP a través de su empresa ALUR inició las negociaciones con CALNU por un lado y con el BROU por otro para poder tomar la gestión del ingenio azucarero y a su vez negociar la compra de los activos para desarrollar en base a la infraestructura ya existente un complejo agroindustrial sucroalcoholero que permitiera la producción de etanol, azúcar y energía eléctrica.

ALUR EN EL INGENIO “ALFREDO MONES QUINTELA”

- En febrero de 2006 se inicia la gestión del ingenio azucarero y de todo lo relacionado a esa cadena agroindustrial. La situación existente obligó a por un lado a desarrollar un plan de mantenimiento del ingenio para poder llevar adelante las zafras 2006 y 2007, y a crear un Fondo Agrícola para financiar la actividad agrícola, tanto de mantenimiento de las áreas de caña de azúcar existentes como del crecimiento de la misma.

- Paralelamente se elaboró un proyecto que tiene por objetivo la creación de un complejo agroindustrial sucroalcoholero que permitiera la producción de etanol, azúcar y energía.

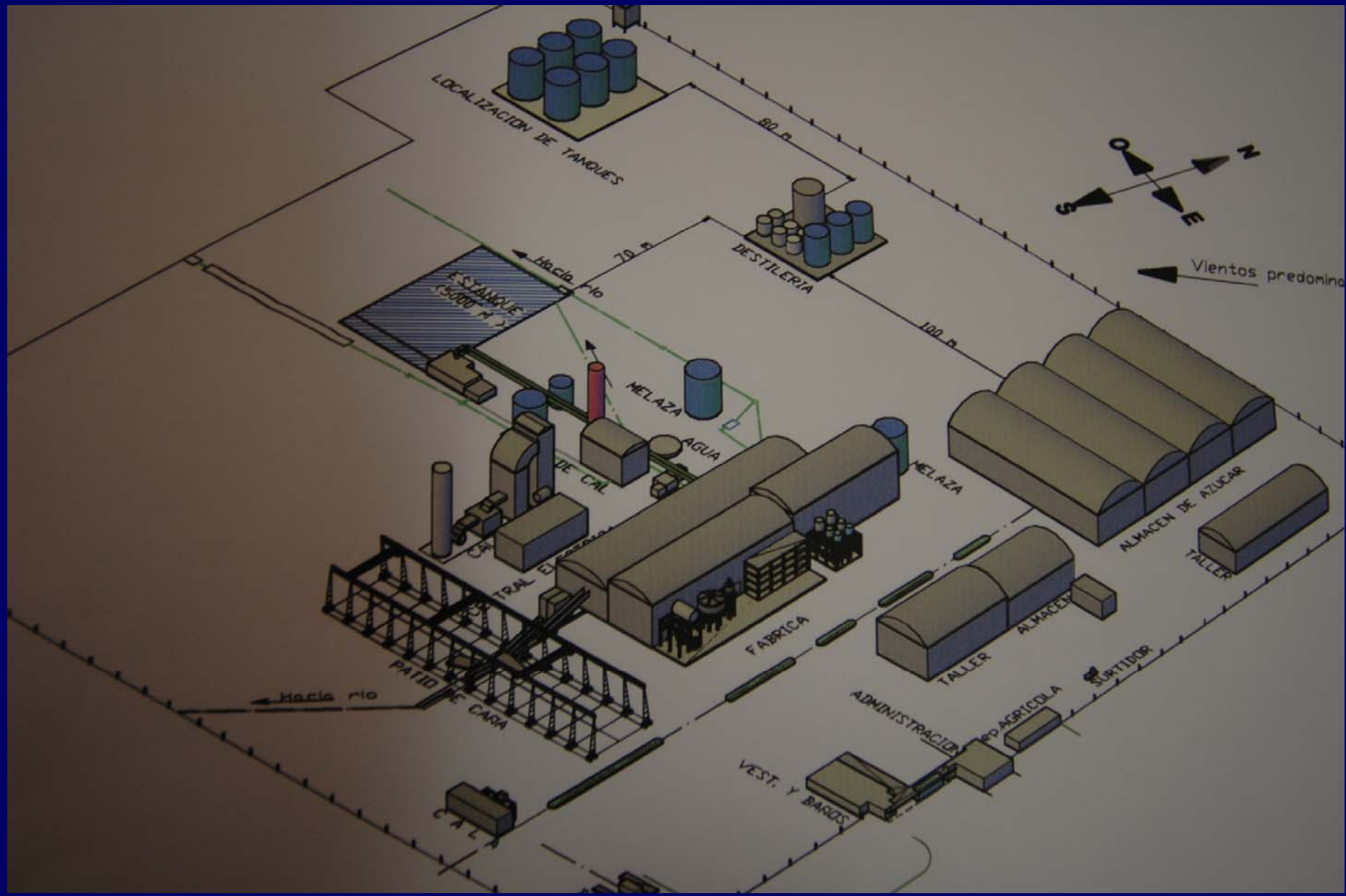
- Para lograr estos objetivos se definió un plan de inversiones industriales y un programa agrícola para implantar 10 mil has de caña de azúcar. Dentro del proyecto global se ha elaborado un proyecto de riego para modernizar y ampliar la infraestructura existente, un proyecto para incorporar al sorgo azucarado a partir de 2009 en la cadena agroindustrial para la producción de etanol y energía eléctrica.

- El ingenio azucarero contaba con mas de 10 años de desinversión y de carencia de mantenimientos adecuados, por lo que fue necesario en primer lugar, diseñar un plan de mantenimiento e inversiones para desarrollar la actividad productiva en mejores condiciones, que permitiera seguir operando la planta para desarrollar las zafras 2006 y 2007, y transformar a su vez, a través de las inversiones en un nuevo complejo agroindustrial.

- En primer lugar se comenzó el análisis de anexión de una destilería para la producción de etanol. Luego de tres meses de trabajo dicho análisis demostró que el proyecto destilería estaba comprometido desde el punto de vista energético: generación de vapor (calderas), y generación eléctrica. Por esa razón se diseñó un plan que implica un total de inversiones industriales que llega a los U$S 36.000.000 (millones de dólares).

- Este proceso de transformación que implica montaje y puesta en funcionamiento quedara pronto en el correr de 2008.

Proyecto industrial



ALUR
PLANTA
ING.
ALFREDO
MONES
QUINTELA

Proyecto Caldera acuotubular de 120 ton. de vapor/hora. Presión 42 kg/cm² . Combustible: bagazo

Esta inversión mejorará la eficiencia energética de toda la cadena industrial a partir de la generación de vapor con bagazo que no solo permitirá abastecer los requerimientos energéticos de la nueva planta, sino también generar un plus de energía para vender a UTE.

El costo de esta inversión, incluyendo obra civil, montaje, caldera y periféricos: U$S 11.800.000

Proyecto de optimización del ingenio azucarero. Decoloración y clarificador

- La anexión de un sistema de decoloración tiene dos grandes impactos: permitirá que más del 85% del azúcar producido durante zafra sea refinado y que el ingenio operará a su capacidad nominal (3.000 toneladas de caña por día), con la consecuente reducción del período de zafra

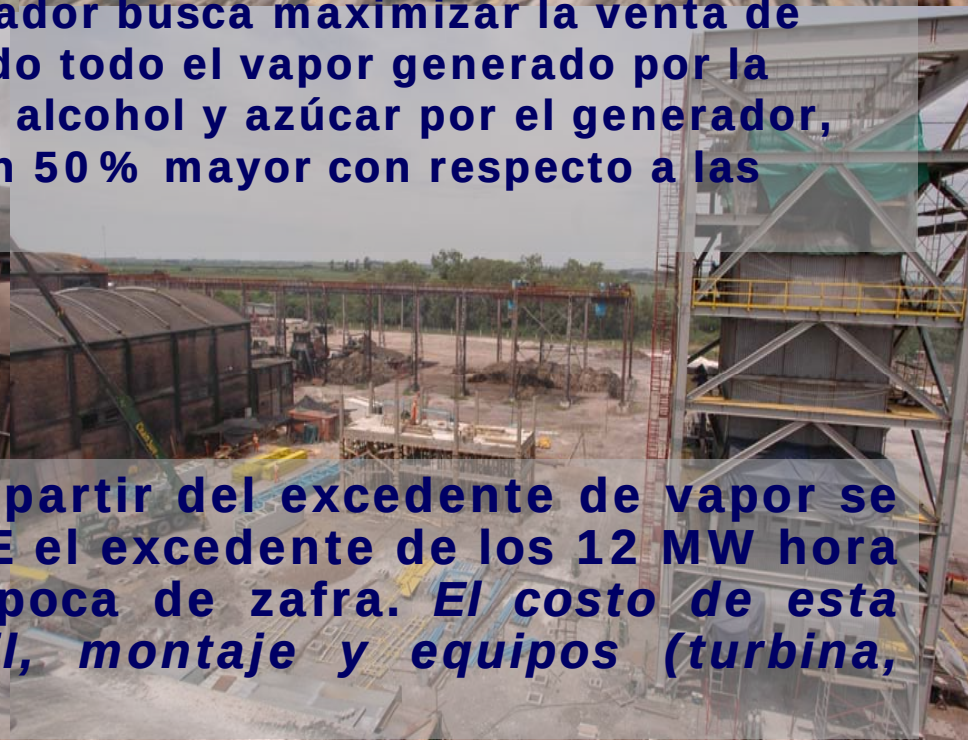
- El ingenio a su vez, posee un sistema de depuración del jugo conocido como de “doble carbonatación”. Su sustitución bajará sensiblemente los costos de insumos: piedra caliza y carbón de coque.

- Esta inversión tiene un impacto importante en la optimización del ingenio azucarero permitiendo bajar los costos de producción y mejorando la calidad del azúcar producido. ***El costo de esta inversión, incluyendo obra civil, montaje y equipos (clarificador, decantador, decoloración, etc.): U$S 4.762.000***

•Proyecto de cogeneración: Turbogenerador.-

• Dentro de los elementos que ayudaron a la decisión de la compra de la nueva caldera estuvo su potencial de mayor generación de energía eléctrica, al pasar de generar vapor de 28 bar a 42 bar.

• La potencia elegida para el generador busca maximizar la venta de energía a UTE. Esto se logra pasando todo el vapor generado por la nueva caldera para los procesos de alcohol y azúcar por el generador, debido a su eficiencia energética un 50% mayor con respecto a las turbinas existentes en el ingenio.



• Esta inversión permitirá que a partir del excedente de vapor se cogenerará y se le venderá a UTE el excedente de los 12 MW hora que se generarán durante la época de zafra. ***El costo de esta inversión, incluyendo obra civil, montaje y equipos (turbina, generador, etc.): U$S 3.500.000***

•Proyecto etanol: Destilería y deshidratadora.

• Planta de fermentación de jugos y melaza. Destilería de 120 m3/día de alcohol hidratado y deshidratadora para obtener el alcohol deshidratado (producto final).

• La producción estimada es de unos 20 millones de litros por año que permitirá a ANCAP mezclarlo con sus gasolinas. *El costo de esta inversión, incluyendo obra civil, montaje, destilería, deshidratadora, etc.: U$S 16.200.000*

- ***Proyecto Sucro-alcoholero (ALUR)***

Principales acciones previstas para 2008

Refinado 7.500 toneladas de azúcar crudo	febrero - marzo
Mantenimiento y reparaciones del ingenio	marzo -mayo
Clarificación - decoloración) obra civil, montaje y puesta en marcha	mayo
Turbo generador (obra civil, montaje y puesta en marcha)	setiembre
Destilería y deshidratadora (obra civil, montaje y puesta en marcha)	noviembre
Inicio de Zafra azucarera 2008	mayo
Finalización zafra 2008	octubre
Caldera, obra civil, montaje y puesta en marcha	junio
Siembra de otoño 2008 (2000 has)	febrero - abril
Siembra de primavera (1500 has)	agosto - setiembre

ETANOL

- Entre los años 2008 y 2010 comenzará a lograrse progresivamente una producción estabilizada de alcohol deshidratado (etanol) a partir de caña de azúcar y sorgo dulce.

- La producción anual a partir de jugos (caña de azúcar y sorgo azucarado), y de melaza (caña de azúcar), será de aproximadamente:

30.000 m^3/año

Mercados

ANCAP **18.000 m^3/año (5% mínimo de la Ley agrocombustibles)**

Exportación **12.000 m^3/año**

- Ingresos anuales: U$S 17.250.000 (millones de dólares)

ENERGÍA ELÉCTRICA

- **Entre los años 2008 y 2009 ALUR le venderá a UTE 7 MW/h de energía eléctrica durante los períodos de zafra de la caña de azúcar y el sorgo azucarado (220 días).**

- **Ingresos anuales: U$S 1.980.000 (millones de dólares)**

- **Mano de obra agrícola asalariada …….. 1550**
- **Mano de obra industrial …….. 610**
- **Productores …….. 395**
- **Transportistas de caña y graperos…….. 62**
- **Transportistas de azúcar …….. 80**
- Mano de obra total **2700**

Instituto de Agroenergía

Tecnólogo en Agroenergía

- **Objetivo: Crear un Instituto de formación, capacitación, investigación y validación de tecnologías en temas relativos a la agroenergía y los biocombustibles en Uruguay.**

- **Ubicación: Hotel ubicado en el Ingenio agroindustrial "Alfredo Mones Quintela" ALUR Bella Unión**

- **La iniciativa es coordinada por la Universidad de la República (UDELAR), el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), la Universidad del Trabajo del Uruguay (UTU), ALUR y ANCAP.**

- **Objetivos específicos: Formar profesionales capacitados en las diversas áreas que requiere la producción de energía a partir de cultivos, tanto para la producción de etanol como para el biodiesel y otros derivados de alto valor que se pueden dar en la cadena de producción (como el caso de alimento animal, azúcar, productos químicos y materias primas para otras industrias).**

- **Primera etapa hacia la consolidación de este Instituto: Tecnólogo en Agroenergía, una nueva carrera de nivel terciario.**

- **Una carrera de nivel terciario para estudiantes egresados de Secundaria y UTU que tendrá 3 años de curricula con un cupo de 30 estudiantes que ingresan cada año y que permitirá la formación de profesionales en el área de la agroenergía, tanto para las actividades agrícolas como industriales.**

- **El curso está coordinado entre UTU, UDELAR, INIA y ALUR y se iniciará en el mes de noviembre de 2008. Se ha culminando la elaboración del plan de estudio para los 3 años y se inició la selección y capacitación de los docentes. La convocatoria va a ser para estudiantes de todo el país, no solamente de la zona y las inscripciones comienzan en marzo.**

- **Los cursos se dictarán en aulas acondicionadas para este fin en las propias instalaciones del hotel, se adecuaran los laboratorios existentes y a su vez los estudiantes se alojarán en 3 viviendas acondicionadas como albergues estudiantiles en el predio de la empresa.**

PERSPECTIVAS ESTRATÉGICAS

- La inversión total de unos 44 millones de dólares que incluye la compra del ingenio al BROU, el acondicionamiento y la inversión para la creación del nuevo complejo industrial; permite contar con un complejo que si lo tuviéramos que construir de cero implicaría una inversión de unos 150 millones de dólares.

- Queda por delante una importante transformación del área agrícola para mejorar la productividad de la caña de azúcar y la incorporación a la cadena agroindustrial del sorgo azucarado. Este plan de transformación tiene prevista la introducción de nuevas variedades, la racionalización del uso de insumos y cambios importantes en la logística de cosecha que hoy consume casi el 40% de los costos de la materia prima.

- El proyecto tiene un fuerte impacto social y productivo en la zona. Hay unos 500 trabajadores en la fábrica, unos 400 pequeños y medianos productores que abastecen el ingenio y unos 1500 trabajadores agrícolas en las tareas de siembra, mantenimiento y cosecha, todos ellos con salarios dignos y buenas condiciones laborales.

- Pero la importancia mayor del proyecto es que el país a través de esta inversión esta posicionándose estratégicamente en un área que de acuerdo a los valores del petróleo de hoy cada día se hace más importante.

- Cuando se llegue a las 10 mil ha de caña molible el complejo agroindustrial estará en condiciones de producir unas 45 mil toneladas de azúcar (45% del mercado del país), 30 millones de litros de etanol (6% del total de gasolinas) y 12 MW de electricidad que en parte se venderán a UTE. A precios de mercado de hoy se estima una facturación anual de unos 40 millones de dólares en el conjunto de esta producción.

  Se está analizando la inclusión del proyecto en los MDL (bonos de carbono).

- Estas nuevas agroindustrias estarán referenciadas por el precio internacional del petróleo. El etanol, el azúcar, la energía eléctrica, el biodiesel, la harina de girasol y de soja, entre otros coproducíos, dependerán en gran medida del precio del petróleo.

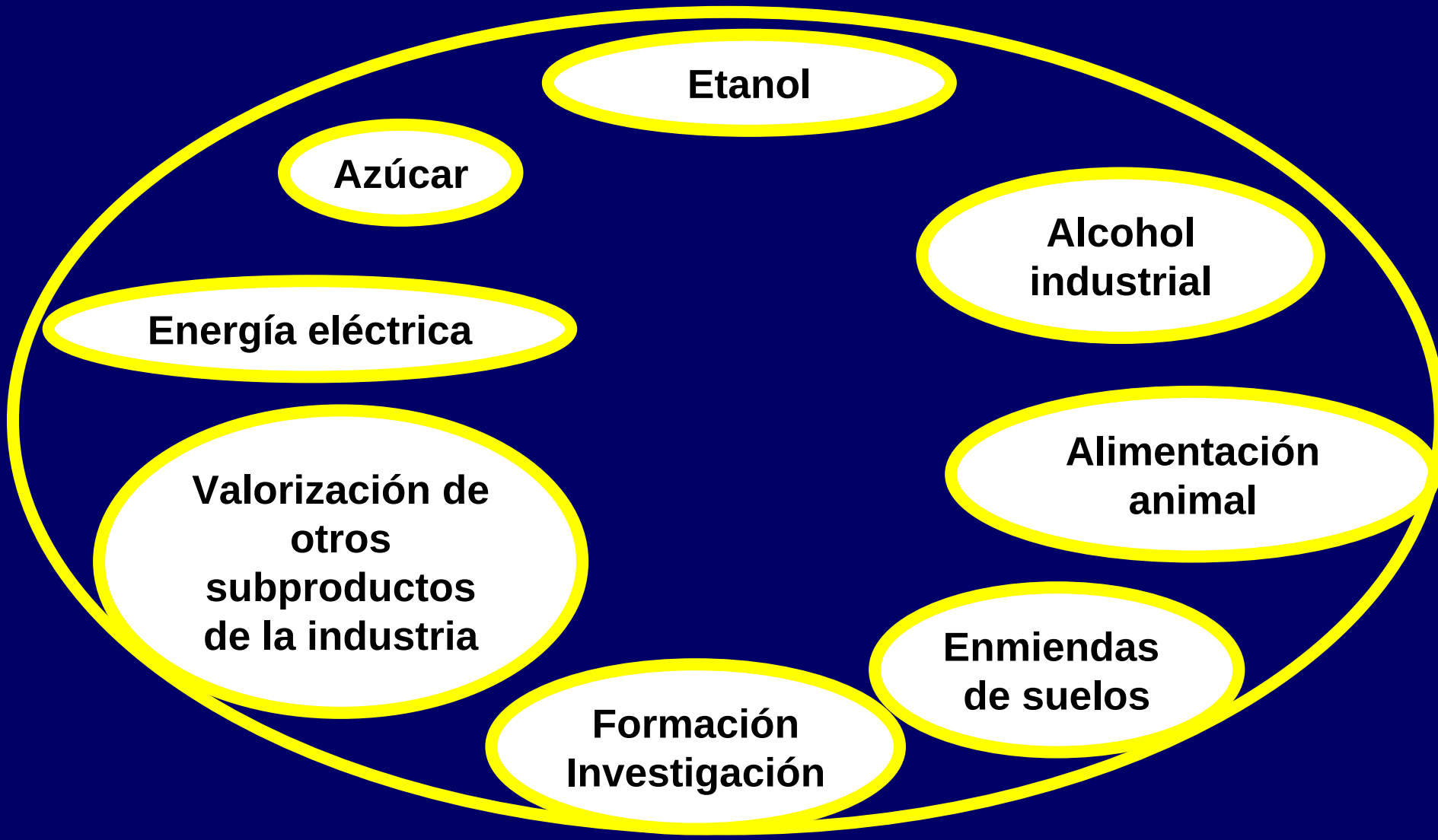
- Es por todo lo expresado que va a existir una lucha por el territorio, entre la producción de alimentos y la agroenergía. Esta claro por lo tanto, que el tema central son las políticas y los modelos en que se desarrollaran la producción de alimentos y de agrocombustibles.

- Esta política que inicia el país es en definitiva una propuesta nueva de gestión del territorio, que se basa en algunos pilares: el papel del Estado en la definición de políticas verticales, la producción agrícola, el trabajo, la soberanía energética y alimentaría**.**

- En Uruguay el Estado deberá jugar un papel fundamental y en especial, en el caso de empresas como el Grupo ANCAP, deberá ser herramienta fundamental para el desarrollo. El Estado debería establecer políticas de ordenamiento productivo, redefinición del papel del crédito para la producción nacional, como ser la creación de fideicomisos (fondos) que permitan el acceso también, a los pequeños y medianos agricultores e industriales a estas nuevas cadenas agroindustriales.

- Para esto se deberán poner en marcha nuevas cadenas agroindustriales generadoras de energía que sean económicamente rentable, y a la vez capaz de reducir el gasto que significa la importación de petróleo para el país, promoviendo simultáneamente las actividades agrícola e industrial. Además se deberá poner énfasis en aspectos no sólo económicos, como la eficiencia, el crecimiento, el ahorro de divisas, sino también en el esfuerzo conjunto, permanente y coordinado, en una distribución equitativa del desarrollo logrado, integrando conceptos de responsabilidad y compromiso social, gestión participativa, seguridad laboral y valor agregado local.

El objetivo de este proyecto es la producción integral de energía y alimentos en un marco social , económico y ambiental sostenible.



Muchas
Gracias

MEDIO AMBIENTE

TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DE LA PRODUCCIÓN DE CERA CRUDA DE CACHAZA MEDIANTE FILTRACIÓN MECÁNICA

Alberto García, José Villaseñor*, Pablo Cañizares*, Ignacio Gracia*, Amaury Alvarez, Rafael Cañete

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
C.P11000, La Habana, Cuba **e-mai**l: alberto.garcia@icidca.edu.cu
*Dpto. de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas, UCLM, 13004 Ciudad Real, España

RESUMEN

Se muestran los resultados alcanzados en el tratamiento de suspensiones residuales de cachaza a la salida del proceso de extracción de cera cruda de caña de azúcar. En primer lugar se realiza una separación sólido/líquido mediante una unidad comercial de Filtración Contínua del tipo MASKO-Zoll y posteriormente, un tratamiento fisicoquímico de la corriente líquida efluente. Los resultados obtenidos utilizando la unidad de filtración mecánica Masko-Zoll ponen de manifiesto que dicho sistema constituye un procedimiento técnicamente viable, separándose un sólido técnicamente manejable. Por otro lado, los rendimientos alcanzados en el tratamiento fisicoquímico de los efluentes líquidos generados durante los ensayos de filtración fueron 98.7%, 91.9% y 99.4% en la eliminación de turbidez, DQO y sólidos en suspensión respectivamente. Como alternativa a este tratamiento del agua residual se propone una sedimentación previa de la misma y su posterior tratamiento fisicoquímico, lo que permite una reducción del 55% en el consumo de coagulante y hace innecesaria la adición de floculante. Un estudio económico permitiría seleccionar la alternativa mas adecuada.

Palabras clave: Cera de caña, cachaza, tratamiento físicomecánico, filtración mecánica

ABSTRACT

This paper describes the treatment of wastes from sugarcane crude wax extraction plants from filter mud by solid liquid separation step using a pilot filtration device, followed by chemical treatment of the waste water in the effluent. The results obtained using the mechanical filtration unit “Masko-Zoll” indicate that this system is a technically viable procedure. The obtained solid is easily handled. The results obtained in the chemical treatment of the liquid wastes generated during the filtration test were 98.7%, 91.9% and 99.4% for removal effficiencies turbidity, COD and suspended solids, respectively. A different option studies was previous settling of wastewater followed by physicochemical treatment, which allows reducing 55% the coagulant consumption and it makes unnecessary the flocculants addition. An economic study would decide the most adequate alternative

Keywords Sugar cane wax, Sugar cane filter cake, filter mud, physicochemical treatment, mechanical filtration

INTRODUCCIÓN

La Producción comercial de cera cruda a partir de la cachaza la caña de azúcar se inició en Cuba en la década de los años 50"s en los antiguos centrales Delicias y Chaparra, pertenecientes a la Cuban American Sugar co. en la actual provincia de las Tunas García (1988).

En la década del 90 se patenta y registra en cuba el fármaco Policosanol Mas (2000) y para su producción comercial es necesario disponer de nuevo de cera cruda de caña de azúcar. La tecnología de extracción según la patente Sweenson Sweenson, (1949) origina un fuerte impacto ambiental por los residuales líquidos que consisten en fangos difíciles de manejar, con un contenido de sólidos en suspensión del 6%. Esto representa un importante obstáculo para su transporte cuando se usa como fertilizante, y en cualquier caso, es un residuo de alta carga contaminante De la Vega (1986). El proceso químico y térmico para extraer la cera de la cachaza genera 4 Ton de fango con 6% de sólidos por 1 Ton de cachaza con 75% de sólidos que entra a la planta. Este fango de color pardo tiene olor desagradable, contiene productos de descomposición de los azúcares, bagacillo muy biodegradable y trazas de hidrocarburos. En Cuba la cachaza sólida, con un contenido de humedad de un 75% que entregan los filtros rotatorios al vacío en la fabricación de azúcar crudo se transporta en carretas para su uso directo como fertilizante y para la elaboración de compost.

Algo mas del 50 % en peso de la cachaza corresponde a finas partículas, con un tamaño medio inferior a 0.5 mm. Las partículas mas grandes poseen un tamaño medio próximo a 20 mm
Cañete y otros (1994). Para reducir la carga contaminante de las suspensiones se hace necesario disponer de un sistema de separación sólido/líquido como decantadores o filtros Allan (1976), y de un tratamiento posterior del efluente líquido.

En este trabajo se muestran los resultados obtenidos en pruebas de separación sólido/líquido de suspensiones de cachaza a escala de planta piloto mediante la unidad comercial Masko-Zoll, con el objetivo de estudiar una alternativa a los procesos habituales de separación utilizados. La unidad Masko-Zoll es un equipó de filtración mecánica en continuo, cuyo funcionamiento ha sido ampliamente evaluado en el tratamiento de aguas residuales urbanas Bergheim, (1977).

El líquido efluente de la unidad Masko-Zoll es una corriente de agua residual que contiene todavía una elevada carga contaminante. Estas aguas, al igual que otros efluentes industriales, podría ser depurada mediante tratamiento biológico (digestión anaeróbica) o tratamiento fisico-químico. Su concentración de DQO es muy elevada mientras que la relación DBOs/ DQO es muy pequeña por lo que no se recomienda un proceso biológico convencional .Se ha considerado que el tratamiento fisicoquímico es el método más adecuado para la depuración de la corriente líquida proveniente de la unidad Masko-Zoll, debido a su sencillez, y que ha sido ampliamente utilizado en otro tipo de efluente industriales similares Beltrán de Heredia y González (1991); Hernández y Sánchez, (1991). En este trabajo se han realizado diversos experimentos con el fin de elegir las condiciones mas favorables (pH, cantidad y tipo de coagulantes y floculantes) para el tratamiento del fango residual proveniente de la planta de extracción de cera cruda de caña de azúcar.

MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

En La figura 1ª se muestra un esquema de la unidad Masko-Zoll utilizada en este trabajo. Básicamente consiste en un tubo horizontal cuya mitad inferior está perforada y actúa como tamiz. La suspensión residual entra por uno de los extremos del tubo y el líquido atraviesa el tamiz por gravedad. Mientras que el sólido permanece retenido en el mismo. Gracias a unas paletas que van barriendo la superficie del tamiz en una única dirección, el sólido se va transportando hacia el otro extremo del tubo, saliendo compactado por un tubo de evacuación. La unidad funciona de modo automático gracias a un controlador de nivel de líquido en el interior de la misma. La capacidad de tratamiento de cada unidad varía de 100 a 400 m^3/h, con un tamaño de poro en el tamiz de 0.6, 0.8 ó 1.0 mm. Esta unidad es fabricada y comercializada en España por SOGADE S:A:

En la figura 1b, se muestra un esquema de la instalación experimental usada para llevar a cabo las pruebas de filtración en continua a escala de planta piloto. La instalación consta de las partes siguientes: Un tanque de alimentación (1) provisto de agitación mecánica, una bomba (2) que impulsa la suspensión hacia la unidad de filtración, la unidad de filtración Masko-Zoll (3) con un tamaño de poro en el tamiz de 0.8 mm, con un medidor electromagnético de caudal (4) y una válvula (5) usada para regular el caudal. Durante el funcionamiento de la unidad, las corrientes liquida y sólida separadas vuelven al tanque de alimentación, con lo que se consigue operar en continuo. El alimento (A) es una suspensión de cachaza residual que se obtiene a la salida de la columna recuperadora de una planta de extracción de cera cruda, la concentración de sólidos es bien conocida, y perfectamente homogeneizada en el tanque de alimentación.

Se realizaron varios experimentos, durante los cuales se tomaron varias muestras de la corriente alimento (A) y de las dos corrientes de salida: líquida (L) y Sólida (S). En el alimento (A) y en la corriente líquida (L) se determinaron las concentraciones de sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), sólidos en suspensión totales (SS), sólidos en suspensión volátiles (SSV), demanda química de Oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y en la corriente de sólidos (S) se determinó el contenido en agua (humedad, H, expresada como porcentaje en peso de agua). Todos los análisis se llevaron a cabo de acuerdo con los métodos normalizados de análisis de aguas potables y residuales (A.P.H.A., 1995). El rendimiento en la eliminación de los diferentes parámetros medidos se expresó mediante la ecuación $R\ (\%) = (X_0 - X)\ 100/X_0$ donde X_0 y X representan las concentraciones de dichos parámetros en las corrientes alimento (A) y de salida (L o S) respectivamente.

El estudio del tratamiento fisicoquímico de la corriente líquida (L) se llevó a cabo mediante diferentes ensayos de coagulación/floculación en un equipo "Jar-Test" de laboratorio, con capacidad para tratar simultáneamente 6 muestra de un litro de volumen cada una.. Las muestras de líquido para estos ensayos corresponden a la corriente líquida de salida de la unidad Masko-Zoll en uno de los experimentos de filtración en continuo (el realizado con un caudal de 5 m^3/h y una concentración e cachaza C_0 = 3 %). Previamente a los ensayos de coagulación/floculación se seleccionaron las condiciones de operación que se muestran en la tabla I. El pH de las muestras se ajustó antes de cada ensayo mediante la adición de NaOH 3M. Los coagulantes se añadieron al comienzo de los ensayos, mientras que los floculantes se añadían al final de la primera etapa de agitación rápida. Los reactivos utilizados en los ensayos fueron:

- Coagulantes: Sulfato de Alúmina y Policloruro de Aluminio (PAC, 18 Al_2O_3).
- Floculantes :Cyanamid Superfloc C-494 (floculante catiónico de acrilamida) y Cyanamid Superfloc A-120 (floculante aniónico de poliacrilamida)

Tabla I Condiciones de operación utilizadas en los ensayos "Jar-Test"

	Agitación rápida	Agitación lenta	Sedimentación
Tiempo (min.)	3	8	10
Velocidad de agitación, r.p.m.	150	15	0

Los parámetros medidos en el agua tratada y clarificada al finalizar los ensayos fueron la turbidez, la demanda química de oxígeno (DQO) y la concentración de sólidos en suspensión (SS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Pruebas de filtración en Planta Piloto

Se llevaron a cabo diferentes pruebas en las que se estudió la influencia del caudal (Q m^3/h) y la concentración de sólidos en la corriente de alimento (C_0, %) sobre la eficacia de la separación y las características de la corriente de salida. Posteriormente se estudió la influencia de la longitud del tubo de evacuación de sólidos.

3.1.1Influencia del caudal Q

En primer lugar se realizaron pruebas en estado estacionario en las que se varió el caudal entre 2.5 y 9 m^3/h, manteniéndose constantes el resto de las variables. Las características de las corrientes efluentes, sólida y líquida, de salida permanecían prácticamente constantes en el intervalo de caudales utilizado. Estos resultados ponen de manifiesto que el caudal, en el intervalo investigado, no afecta a la eficacia de la separación sólido/líquido.

3.1.2 Influencia de la concentración de sólidos C_0

Se realizaron tres pruebas utilizando suspensiones de cachaza de diferentes concentraciones y manteniendo constantes las demás variables: caudal de alimentación ($5m^3/h$) y un tubo de evacuación de sólidos de 40 cm. en forma de codo de 90 ^{o}. En la tabla II se indican las características de las tres suspensiones utilizadas (a) y los resultados obtenidos en las pruebas de filtración en estado estacionario (b).
En la tabla IIb, se observa que la humedad del sólido de salida permanece constante, en torno al 88%, independientemente de la concentración C_0, lo que representa un sólido perfectamente manejable de cara a su transporte. Por otro lado, se observa que el rendimiento de eliminación de sólidos aumenta con la concentración C_0. Este hecho se debe posiblemente a la acumulación de una mayor cantidad de sólidos en el tamiz, aumentando la eficacia de la torta filtrante formada. Esta circunstancia puede compararse al hecho de trabajar con un diámetro de poro mas pequeño Bergheim (1997) Es importante indicar que, puesto que las eficacias de separación para las partículas mayores del diámetro del poro del tamiz son siempre del 100 %. La distribución de tamaño de partículas en el sólido utilizado es un factor importante en el rendimiento, por lo que se mantuvo constante durante todo el estudio (el 15 % en peso de los sólidos en la suspensión inicial tenía un tamaño medio superior al diámetro de poro del tamiz, 0.8 mm.

Tabla II[a] Características de las corrientes de alimentación utilizadas

Prueba	C_0 (%)	ST (g/l)	STV (%)	SS (g/l)	SSV (%)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)
1	2	20.5	72.7	18.5	79.1	12 150	1 715
2	3	30.5	74.5	28.5	78.7	17 385	2 025
3	4	40.9	73.3	36.0	76.8	22 490	2 930

Tabla IIb

Características de las corrientes de alimentación utilizadas y resultados de las pruebas de filtración en cada caso

Prueba	Corriente sólida	Corriente líquida				Rendimientos de eliminación, %		
	H, %	SS (g/l)	DQO (mg/l)	DBO_5 (mg/l)	Turbidez (NTU)	SS	DQO	DBO_5
1	88.9	15.0	9 050	1 257	-	18.9	25.5	10.9
2	88.8	10.5	9 358	1 685	2 315	63.1	46.2	16.8
3	88.6	14.0	8 950	2 148	-	61.1	60.2	26.7

Los rendimientos en la eliminación de DQO y DBO_5 se muestran asimismo en la tabla IIb. De igual forma que ocurre con los rendimientos de eliminación de sólidos, en este caso se observa también un aumento con la concentración inicial. El efecto es más acusado en el caso de la DQO, pues probablemente la mayor parte de la carga de DQO se encuentra en forma de sólidos, que son retenidos en el tamiz. Por el contrario, la mayor parte de l concentración de DQO_5 puede corresponder a la materia orgánica en estado líquido, soluble en agua o inmiscible con ella, que atraviesa el tamiz, haciendo que el rendimiento aumente en menor medida que en el caso de la DQO.

3.1.3. Influencia de la longitud del tubo de evacuación de sólidos

En la mayoría de las ocasiones, la corriente sólida se compacta en el tubo de evacuación. Esta compactación podría favorecer la eliminación de la humedad del sólido, lo que ocurriría en mayor medida cuanta mayor fuera la longitud del tubo. Sin embargo, en los experimentos realizados no se observó una variación significativa de la humedad del sólido en función de la longitud del tubo. Por otro lado, se comprobó que un aumento excesivo de dicha longitud puede provocar problemas de funcionamiento por la excesiva presión que debe ejercer el sistema hidráulico que va empujando el sólido hacia la salida .este último aspecto no parecía importante en el caso de utilizar suspensiones de cachaza pero si lo era en el caso de utilizar suspensiones de serrín o de alperujo de aceituna, como experimentalmente se comprobó.

3.2 Tratamiento fisicoquímico de la corriente efluente de la unidad Masko-Zoll

3.2.1. Influencia del pH y de la dosis de coagulante

Con el fin de estudiar el tratamiento fisicoquímico del efluente líquido de la unidad Masko-Zoll se realizaron diversos ensayos “Jar-Test” utilizando el efluente de uno de los experimentos de filtración (C_0 =3%, prueba 2 de la tabla 2b) y Sulfato de Alúmina como coagulante a diferentes valores de pH (6.7, 7.0 y 7.3) Se eligió la turbidez del efluente tratado como parámetro significativo de la eficacia del tratamiento. En la figura 3, se muestra la variación de la turbidez el agua tratada en función de la dosis de coagulante y el pH usado. Se observa que a partir de 270 ppm la turbidez permanecía prácticamente constante sin que mayores dosis de Sulfato de Alúmina consiguieran mejorar el tratamiento. El pH mas adecuado fue 7.0

Una vez seleccionadas las condiciones óptimas para el Sulfato de Alúmina, se llevaron a cabo una serie de experimentos comparativos utilizando Policloruro de Aluminio (PAC) comercial. Este tipo de coagulante no ve alterada su eficacia en función del pH, debido a la presencia de grupos hidroxílicos al final de sus cadenas. En la figura 4a, se indica la turbidez del agua tratada en función de la dosis de los mismos (expresada en ambos casos como ppm de Al_2O_3) para un pH del agua igual a 7.0 Puede observarse que, prácticamente en todo el intervalo de dosis empleada , la turbidez del agua tratada es sensiblemente inferior cuando se utiliza Sulfato de Alúmina como coagulante. En la figura 4b, se comparan las eficacias máximas de eliminación de turbidez, DQO y SS utilizando ambos coagulantes. Se observa que el Sulfato de Alúmina permitió conseguir una mejor calidad del agua tratada, incluso utilizando una mayor concentración de PAC (un 22 % mas, tal y como se deduce de la figura 4ª). Por todo ello se eligió el Sulfato de Alúmina como coagulante, una dosis de 27º ppm y un valor del pH del agua bruta de 7.0.

3.2.2. Influencia de la dosis de floculante

Con el objetivo de mejorar los resultados del tratamiento seleccionado anteriormente, se estudió el efecto de la adición de diferentes agentes floculante, utilizando dos polielectrolitos, uno aniónico y otro catiónico. Estos se añadían al comienzo de la etapa de agitación lenta en los ensayos “Jar-Test” En la figura 5a, se muestran los resultados de los ensayos, en los que, además de las condiciones antes seleccionadas, se añadieron diferentes dosis de ambos floculantes. Puede observarse que el floculante aniónico no mejoró lo resultados con respecto al tratamiento sin floculante . Sin embargo, la utilización de un floculante catiónico reduce sensiblemente la turbidez del agua tratada para una dosis de 2 ppm. La figura 5b, muestra el efecto de la adición del floculante catiónico seleccionado sobre, los rendimientos máximos de eliminación de turbidez, SS y DQO, comparados con los correspondientes al tratamiento sin floculante. Se observa que se produjo un ligero aumento de dichos rendimientos, excepto en la eliminación de DQO. Sin embargo. a pesar de que la mejora en las características del agua tratada no es muy importante, se consiguió una mejora significativa en el proceso de floculación y en la sedimentabilidad del fango. Esta circunstancia influiría decisivamente sobre el dimensionado del decantador necesario para llevar a cabo el tratamiento fisicoquímico, reduciendo notablemente el tamaño necesario de éste.
A la vista de estos resultados se seleccionó finalmente un tratamiento consistente en la adición de Sulfato de Alúmina (270 ppm de Al_2O_3) y floculante catiónico Cyanamid Superfloc C-494 (2 ppm) para un pH del agua bruta de 7.0. Las características del agua tratada fueron las siguientes: turbidez = 30.1 NTU. DQO = 758 mg/l y SS = 63 mg/l.

3.2.3. Decantación de la corriente líquida efluente de la unidad de filtración previa al tratamiento fisicoquímico

La corriente líquida de salida de la unidad de filtración Masko-Zoll contiene una elevada concentración de sólidos sedimentables. En el caso de la muestra utilizada en los ensayos “Jar-Test” , ésta posee un índice volumétrico de 156 ml de sólidos sedimentables por litro de suspensión . Estos sólidos sedimentables son responsables de gran parte del consumo de reactivos durante el tratamiento fisicoquímico, lo que contribuye a aumentar el coste del proceso. Por ello, una alternativa al tratamiento anteriormente seleccionado podría ser la inclusión de una etapa de sedimentación del agua efluente de la unida Masko-Zoll , previa al tratamiento fisicoquímico, con lo que se evitaría el consumo de reactivos originado por os sólidos sedimentables . En la tabla 3, se muestran las características del agua de salida de la unidad Masko-Zoll y sedimentada durante una hora. Puede comprobarse una gran disminución en todos los parámetros con respecto al agua residual sin sedimentación (Tabla IIb, C_0 = 3 %) principalmente en las concentraciones de DQO y SS. Mediante esta sedimentación se eliminan un 76 %, 95% y 91 % de la turbidez, SS y DQO respectivamente del agua residual de salida de la unidad de filtración.

Tabla III Características del agua residual de salida de la unidad Masko-Zoll tras una hora de sedimentación

Turbidez (NTU)	SS (mg/l)	ST (g/l)	DQO (mg/l)	DBO_5 ((mg/l)
555	525	1.46	842	470

Tras dicha sedimentación previa se realizó de nuevo un estudio que permitiría seleccionar la dosis de reactivos mas adecuados para el tratamiento fisicoquímico de este efluente. En primer lugar se investigó la dosificación de Sulfato de Alúmina para un pH de 7.0. En la figura 6, se muestran los niveles de turbidez del agua tratada en función de la dosis de coagulante, y se compara con los obtenidos en el caso del agua bruta sin sedimentación. Se observa que en el caso del agua residual sedimentada se necesita una concentración de Sulfato de Alúmina (15º ppm como Al_2O_3) mucho menor que en el caso del agua bruta (270 ppm) para obtener el mismo nivel de turbidez en el agua tratada.

Posteriormente, una vez fijada la dosis de coagulante, se estudió la influencia de la concentración de floculante catiónico C-494 comprobándose que su contribución al aumento de rendimiento era prácticamente despreciable. Por ello, se consideró innecesario el uso de floculante en el tratamiento fisicoquímico del agua residual previamente sedimentada. Las características del agua tratada (una hora de sedimentación y tratamiento fisicoquímico con una dosis de Sulfato de Alúmina de 150 ppm) fueron: 59 NTU de Turbidez, 97 mg/l de SS y 740 mg/l de DQO.

En la figura 7 se muestran los rendimientos máximos de eliminación de DQO y SS obtenidos para ambos tratamientos, observándose en ambos casos valores muy similares. Las diferencias en la eliminación de turbidez son, así mismo, muy pequeñas, aunque un tratamiento fisicoquímico del agua efluente de la unidad Masko-Zoll, sin sedimentación previa mejora ligeramente la calidad del agua tratada. Este hecho puede ser relacionado con la presencia de sólidos sedimentables que mejorarían el mecanismo de floculación de la materia coloidal en suspensión, responsables de la turbidez observada en al agua tratada.

La sedimentación previa del agua bruta permite reducir un 55% la dosis de coagulante. Sin embargo, en este caso sería necesaria la existencia de un decantador previo al tratamiento fisicoquímico. Un análisis del coste global de ambas opciones (con o sin sedimentación previa) permitiría seleccionar la alternativa mas adecuada.

CONCLUSIONES

La filtración mediante la unidad comercial Masko-Zoll representa un procedimiento viable en la separación sólido/líquido de los fangos líquidos de cachaza residual proveniente de las plantas de extracción de cera cruda de caña de azúcar, con la consiguiente disminución del impacto ambiental de estas plantas. El sistema hidráulico que elimina los sólidos funciona sin esfuerzos mecánicos excesivos con este tipo de suspensiones. El sólido obtenido (88 % de humedad) es perfectamente manejable y su contenido de humedad es independiente del caudal de suspensión tratado y de la concentración de la misma, por lo que puede utilizarse la máxima capacidad de diseño de la unidad sin perjudicar las características del sólido obtenido.

El agua residual generada en uno de los ensayos de filtración ($Q = 5\ m^3/h$, $C_0 = 3\%$) se sometió a un tratamiento fisicoquímico de coagulación/floculación, seleccionándose el pH y la dosis y tipos de coagulantes y floculantes mas adecuados. Se eligió un pH = 7.0, Sulfato de Alúmina (270 ppm) como coagulante y un poli electrolito catiónico comercial (2 ppm) como floculante. Los rendimientos de eliminación de SS, DQO y Turbidez fueron 99.4 %, 91.9 % y 98.7 % respectivamente, y las concentraciones de salida de dichos parámetros en el agua tratada fueron : 63 mg/l,758 mg/l y 30.1 NTU, respectivamente.

Como alternativa al proceso anterior, se propone una sedimentación del agua efluente de la unidad Masko-Zoll previa al tratamiento químico. De este modo, se redujo drásticamente el consumo de reactivos (un 55 % del coagulante y un 100 % del floculante), aunque requiere un paso previo de sedimentación. La calidad del

agua tratada es muy similar al proceso anterior un análisis de costes indicaría la opción mas adecuada. El agua tratada por ambos métodos podría ser ya depurada mediante un proceso biológico convencional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Public Health Association / American Water Works Association / Water Environment Federation.Standard Methods for the examination of Water and Wastewater (1995) 19thedn. Washington DC USA

García, A., Tio, M., Alvarez, A. (1988) Subproductos y derivados de la industria azucarera. Colección Geplacea, Serie Diversificación, p. 315.

Más, R. Policosanol. Drugs of the Future (2000), 25(6). 569-586

Swenson, O.J US pat 2456655 (July 26,1949)

De la Vega E. And Namer I (1986),. Sobre los Derivados de la Caña deAzúcar, 20 (3), 28-31 La Habana, Ed. ICIDCA

Cañete R, Villar J and Pozo A. (1994). International Sugar Journal, 96 (1151S), 469 – 471

Allan L. Recovery Sugar Cane Wax U:S: Patent 3 931 258 C11B-001/10 January 6, 1976

Beltran de Heredia J and Gonzalez M:C (1991) In Quim ., 273,131-134.

Bergheim A. (1997) Documentation of sewage treatment efficiency of Masko-Zoll screen filter. RF-Rpglaland Research.Report RF97/018,

Hernández L. and Sánchez J. (1991). Rev. Ing.Quim., 262,181-185

CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS DEL DSP DE LA EMPRESA MIELERA "HERIBERTO DUQUESNE" POR EL MÉTODO DE LOS RADIOTRAZADORES

Griffith J, Derivet M; Cuesta J, Flores P, Valdés J.

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ), MINAZ
Carretera Central M. Prieto Km 21/2 Boyeros, C. Habana
E-mail:jose@ceaden.edu.cu

Resumen

Se presentan los resultados preliminares alcanzados en la evaluación de las características hidrodinámicas del Disolutor-Sedimentador-Preacidificador (DSP) ubicado en la Planta de Tratamiento de Residuales de la Empresa Mielera "Heriberto Duquesne", trabajando en régimen continuo empleando fluido de Vinaza tratada diluida con agua.

En calidad de trazador se empleó Tc-99m la inyección del mismo se realizó en forma instantánea con la entrada del fluido de vinaza tratada al DSP y con la ayuda de detectores de radiación se monitoreó el paso del trazador en diferentes puntos de la unidad. A través del método discreto, mediante la toma de muestras periódicas, se llevó el control de determinados parámetros del fluido como el pH, conductividad, temperatura, Brix (sólidos disueltos), Demanda Química de Oxigeno (DQO) e Índice de Sedimentación.

Los resultados han mostrado que el patrón de flujo se encuentra alejado del que teóricamente se debe esperar para un Sedimentador, se observa que el modelo hidrodinámico se ajusta a una combinación de flujo de tanques en series con intercambio de zonas "muertas", motivado por el diseño de los bafles y la entrada irregular del fluido al sistema.

Se brindan recomendaciones dirigidas a eliminar las deficiencias señaladas que deben repercutir en la elevación de la eficiencia del DSP.

Palabras Clave: Sedimentador; Características hidrodinámicas, Radiotrazadores

Abstract

Preliminary results achieved in the evaluation of the hydrodynamic characteristics of the settling dissolute unit at the wastewater treatment plant located in the molasses enterprise "Heriberto Duquesne" working in continuous regime employing distillery slops diluted with water are presented.

Tc-99m was employed as tracer, its injection was performed instantaneously with the treated distillery slop fluid and the monitoring of the tracer through different areas of the unit was carried out with the help of radiation detectors. The control of specific parameters of the fluid as pH, conductivity, temperature, Brix (dissolved solids), Chemical Oxygen Demand (COD) and Settling Index was performed through the discrete sampling method.

Results achieved during the evaluation have shown that the pattern flow is far away from the theoretical one that is expected for a settling unit, the hydrodynamic model reflects the combination of a Tank in series flow with interchangeable “dead “zones due baffle design and the irregular fluid inlet to the system.

Recommendations are presented in order to eliminate the above mentioned deficiencies with the aim to increase the efficiency of the settling unit.

Keywords: Settling Unit, Hydrodynamic Characteristics, Radiotracers.

Introducción

La planta de tratamiento de residuales de la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne” en Remedios, Villa Clara, según tecnología del ICIDCA Obaya y Col (2004) esta concebida para tratar 800m^3 de vinazas y disminuir mediante este proceso la contaminación que la descarga de estos residuales provoca al medio circundante.

Una de las unidades fundamentales de la planta es el Disolutor Sedimentador Preacidificador destinado a la eliminación de los sólidos luego de la neutralización y alcalización con lechada de cal (4 Bx) de la vinaza diluida. El proceso de sedimentación que tiene lugar en esta unidad conlleva a una reducción sustancial de la carga contaminante y su eficiencia esta regida entre otros factores por la velocidad, tiempo de sedimentación y el diseño de la instalación de forma tal que se alcance un alto porciento de separación sólido-liquido para un determinado tiempo de retención hidráulico..

Tomando en cuenta esta premisa resultaba impostergable llevar a cabo una evaluación de las características hidrodinámicas de dicha unidad controlando los principales parámetros del proceso y verificar si el modelo hidrodinámico se enmarcaba dentro del régimen de flujo disperso en pistón que debe imperar en este tipo de instalación. Levenspiel O.(1974), Guidebook on Radiosotope Tracers in Industry(1990).

Como es conocido el método de los trazadores ha sido ampliamente utilizado para la evaluación de las características hidrodinámicas de instalaciones industriales, así como para la determinación de los parámetros de eficiencia de mezclado de procesos continuos y discontinuos Guidebook on Radiosotope Tracers in Industry(1990). Motivado por todo ello se decidió llevar a cabo la presente evaluación del DSP con el objetivo de brindarle a los tecnólogos de la planta datos que permitieran optimizar el funcionamiento de la misma.

Material y Método

- En calidad de trazador se empleó Tc-99m ($T_{1/2}$ = 6.02 horas, Energía = 140 KeV) proveniente de un Generador Radioisotópico de Mo-99/Tc-99m. La inyección de los 150 mCi se realizó a la entrada del fluido de vinaza en el lado derecho de la zona delimitada por el bafle del DSP (ver esquema figura 1).

- Para el monitoreo continuo de la actividad del trazador se empleo el sistema de detección de la FORCE TECHNOLOGY compuesto por 6 detectores de centelleo de INa que transmiten su señal a través de 50 m de cable coaxial a un equipo de registro acoplado a una computadora portátil que tiene instalado el Programa PM4 de visualización de la actividad del trazador (Conteos/min.) vs. el tiempo transcurrido después de la inyección.

- La vinaza fue tratada con Urea y con Cal (no se disponía de Fosfato), la disolución con agua se realiza de forma separada en la propia zona delimitada por el bafle.

- Las mediciones de pH, se realizaron con el pH-metro PROFLINE, las de conductividad con el Conductimetro PORTMEAS, la determinación de Brix con la ayuda de un Refractómetro ABBE y en la determinación del índice de sedimentación se empleó el espectrofotómetro "GENESYS". La determinación de DQO se llevó a cabo por el estándar método.

- Con el objetivo de evaluar en toda la extensión del DSP y verificar algunos resultados alcanzados en pruebas anteriores del grado y el tiempo de homogenización del fluido, se situaron detectores en diferentes zonas de la instalación en la disposición que esquemáticamente se muestra en la Fig.1.

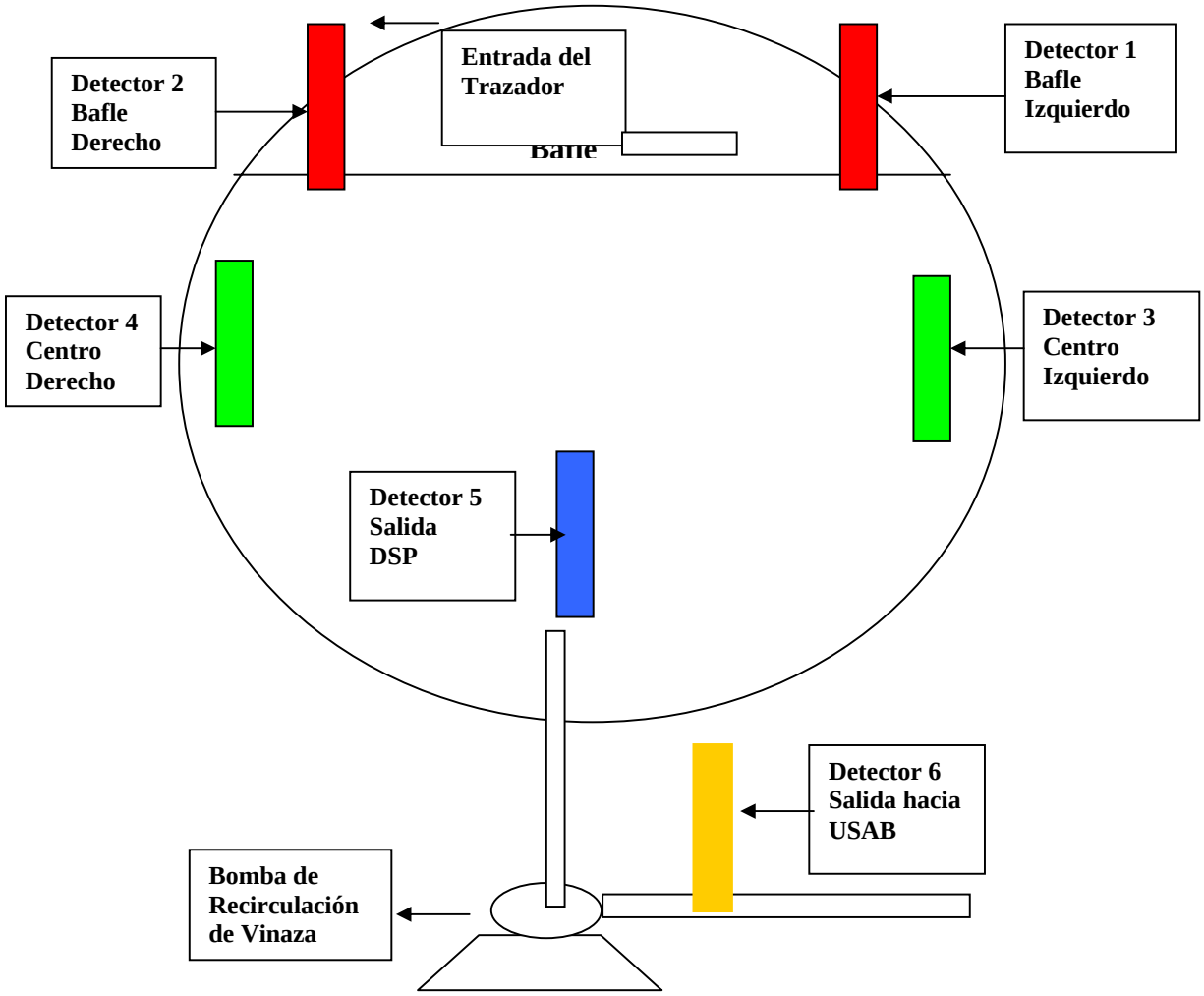


Figura 1 Esquema de Instalación de Detectores e inyección del trazador (Tc-99m) en el DSP.

- Se utilizó el Programa DTS PRO Leclerc J.P (1998) para el procesamiento de las curvas respuestas al impulso (Curva C). El mismo permite introducir corrección por la desintegración del trazador en

el tiempo, la resta del fondo y la normalización de las curvas para su posterior comparación independientemente de la actividad del trazador empleada.

Resultados

En las figuras 2, 3 y 4 se muestran las Curvas respuestas ante la entrada del trazador de los detectores situados en los puntos señalados en el esquema. El detector #6 situado en la tubería de salida del fluido hacia los reactores USAB de la planta se encontraba colimado y por ello presenta menor tasa de conteos.

Se puede apreciar que debido al inesperado tiempo de retención en la región del bafle que se deriva por la forma de las curvas respuestas de los detectores #1 y # 2, en correspondencia con ello, las curvas de respuestas de los detectores # 3,4 ,5 y 6 acusan visualmente un patrón alejado al modelo de flujo disperso en pistón que debe predominar en este tipo de instalación por la esencia del fenómeno de sedimentación que debe tener lugar en la misma.

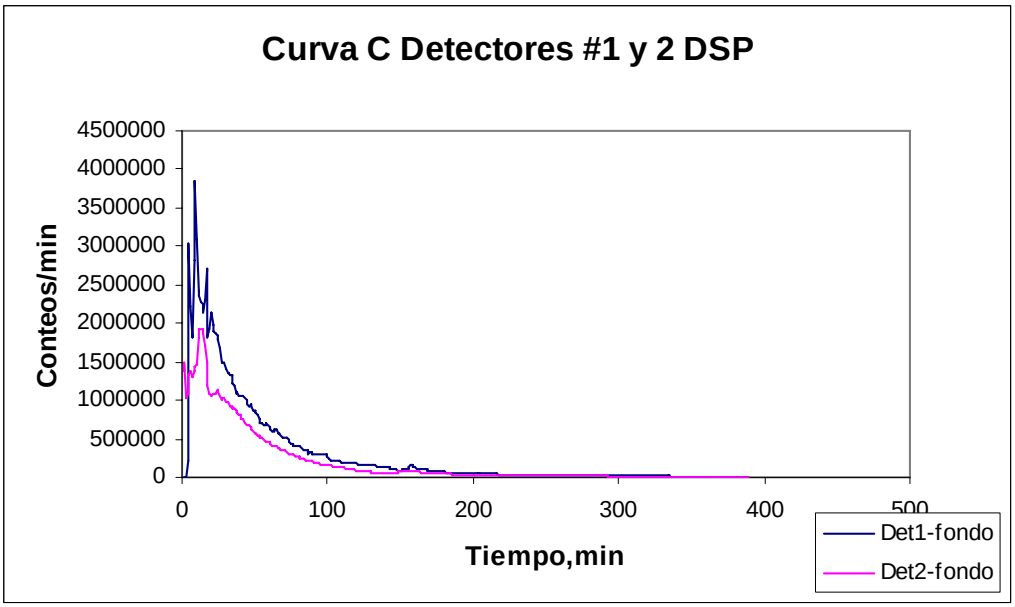


Figura 2 Curva Respuesta Detectores #1 (Bafle izquierdo) y #2 (Bafle derecho) DSP.

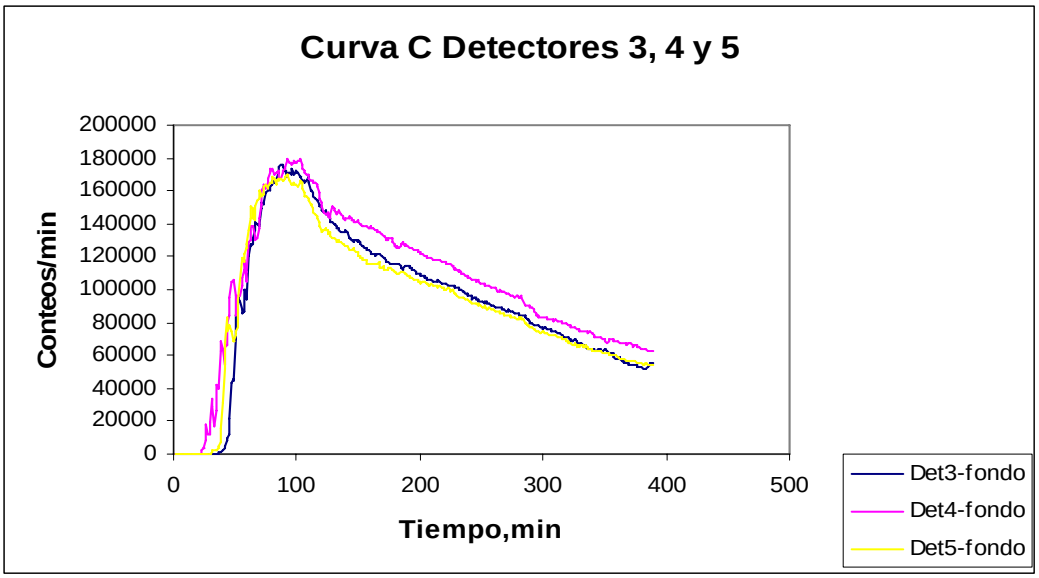


Figura 3 Curvas Respuestas detectores #3,4 y 5.

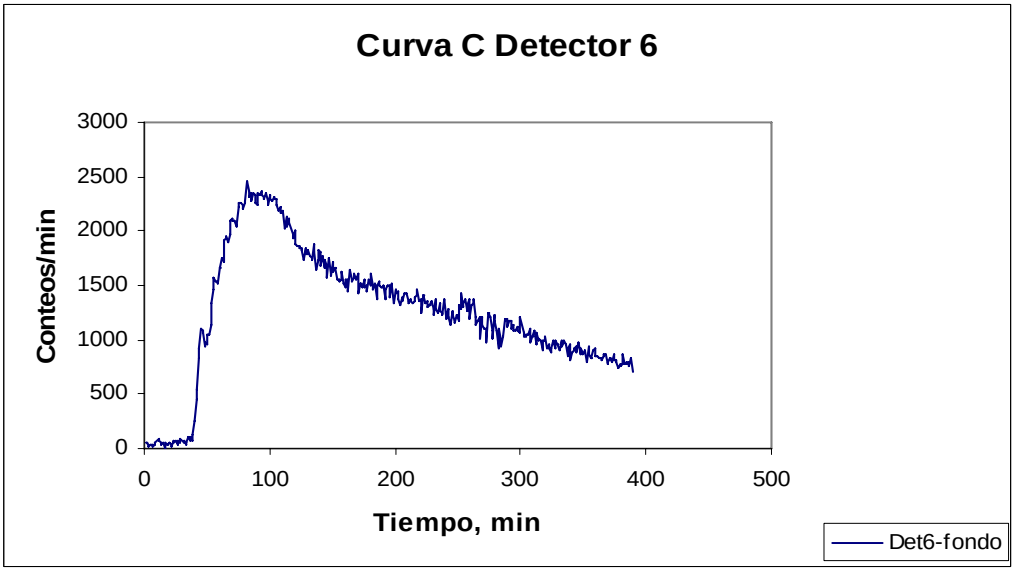


Figura 4 Curva Respuesta Detector #6 (Colimado situado en tubería salida hacia USAB).

Con el empleo del Programa DTSPRO se realizó un primer ajuste de las curvas respuestas a modelos teóricos de Distribución de Tiempos de residencia (DTR) o Función E(t) y se determinaron los parámetros principales de dicha distribución que se muestran en la Tabla I. Para las curvas respuestas de los detectores #1 y #2 situados en la región del bafle, el modelo teórico que mejor se ajusta a la curva experimental es aquel que compromete un bloque de tanque en serie perfectamente mezclado con J(numero de tanques)=6 conectado a un bloque de tanque en serie con recirculación (Fig.5) En el caso de las curvas respuestas de los detectores #3,4,5 y 6, el modelo teórico se ajusta a un sistema que compromete en paralelo dos bloques, uno

con tanques en serie perfectamente mezclado y otro (el de mayor incidencia) de tanque en serie con intercambio con zonas muertas (Fig.6).

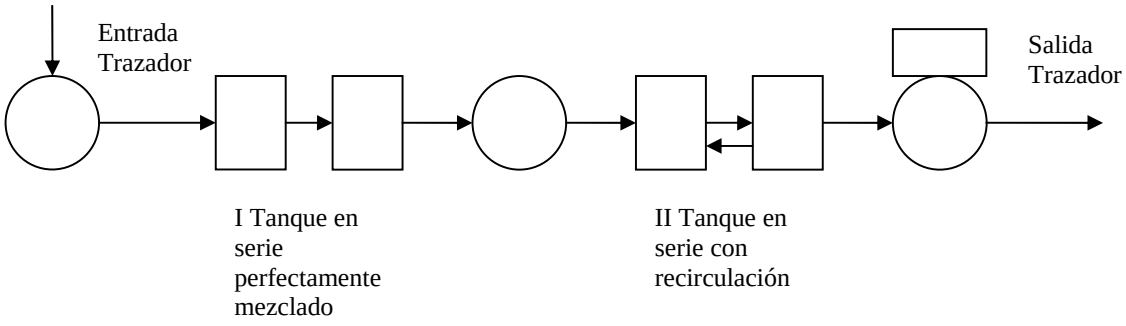


Figura 5 Esquema del modelo teórico del patrón de flujo para los detectores #1 y 2.

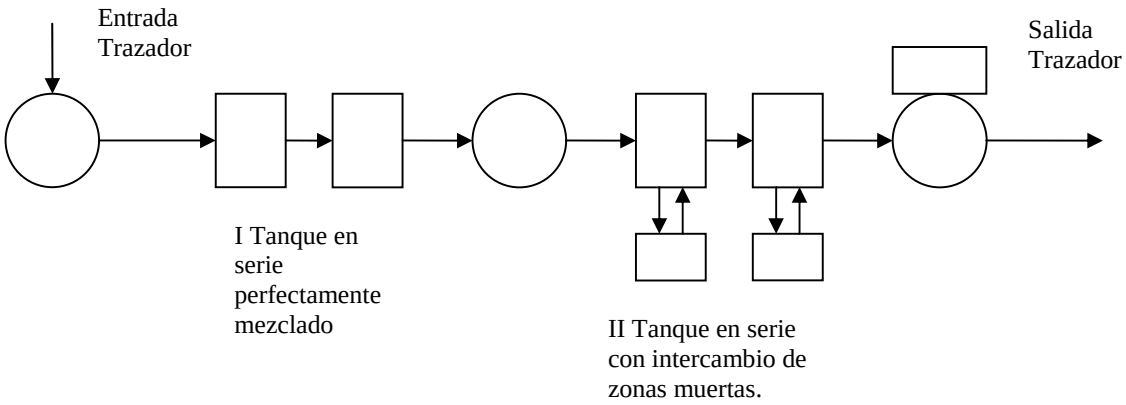


Figura 6 Esquema del modelo teórico del patrón de flujo para los detectores #3,4,5 y 6.

Tabla I Parámetros de las Curvas DTR en los puntos de ubicación de los detectores

Parámetros Curva DTR	Detector #1	Detector #2	Detector #3	Detector #4	Detector #5	Detector #6
1er momento (Tiempo de residencia), min.	60	56	188	187	185	187
2do. momento	8195	7370	43945	44239	43270	44056
Varianza (dispersión)	4588	4228	8537	8937	8949	9099

A modo de ejemplo en las figuras 7 y 8 se muestran los modelos teóricos de ajuste de las Curvas experimentales obtenidas para los detectores #1 (alejado de la entrada del trazador) y #5 (salida del DSP). Visualmente se puede observar que el ajuste resulta adecuado y por lo tanto describe el modelo de patrón de flujo que impera en esa parte de la unidad.

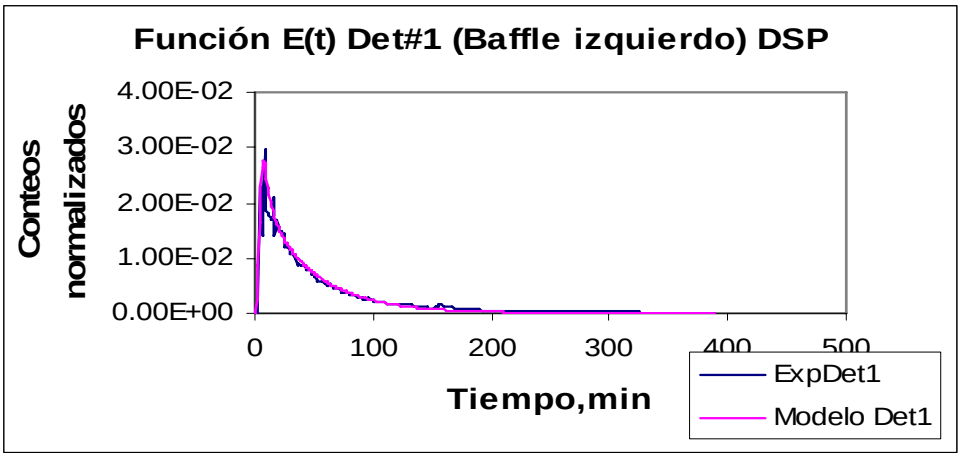


Figura 7 Curva DTR Detector #1

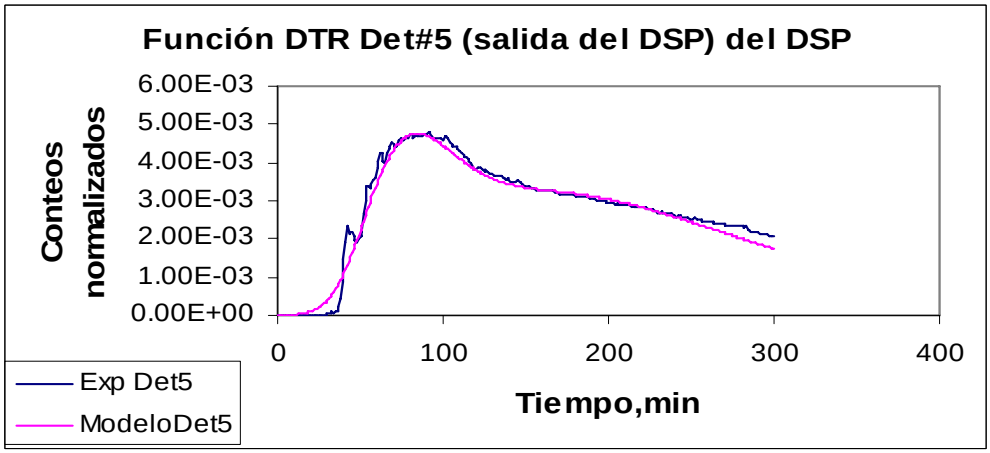


Figura 8 Curva DTR Detector #5.

Los resultados de los análisis realizados a muestras discretas tomadas a la salida y entrada del fluido al DSP durante la evaluación se muestran en las Tablas II y III

Tabla II. Valores de los parámetros analíticos practicados a las muestras de entrada del DSP

Hora muestreo	pH	Conductividad, mS	Brix	Absorbancia (a 720nm)	Temperatura ^{o}C	DQO (g/l)
11.15 am	4.46	11.99	5.25	2.413	28	32.63
12.15 pm	4.46	9.94	3.50	2.317	27	-
1.15 pm	4.10	14.18	5.00	2.735	29	-
3.15 pm	4.09	13.38	4.75	2.749	30	38.41
4.15 pm	4.08	14.61	4.25	2.451	32	40.38
5.15 pm	4.09	14.80	4.75	2.467	32	41.28

Tabla III. Valores de los parámetros analíticos practicados a las muestras de salida del DSP

Hora muestreo	pH	Conduc-tividad, mS	Brix	Absorbancia (a 720nm) Sin centrifugación	Absorbancia (a 720nm) con centrifugación	Tempe-ratura ^{o}C	DQO (g/l)
11.45 am	4.90	9.75	3.25	2.037	1.424	23	18.84
12.45 pm	4.89	9.54	3.25	2.042	1.501	23	-
1.45 pm	4.90	9.24	3.25	2.127	1.427	22	20.64
2.45 pm	4.90	9.13	2.75	2.294	1.426	23	-
3.45 pm	4.88	9.20	2.50	2.285	1.412	23	-
4.45 pm	4.84	8.71	2.75	2.205	1.303	24	-
5.45 pm	4.79	8.75	3.25	-	1.282	24	12.56

Tomando en consideración que la medición de la absorbancia a la longitud de onda de 720nm, es proporcional al grado de turbidez del fluido, la comparación de los valores obtenidos para las muestras de entrada y para las correspondientes muestras de salida desplazada en un tiempo de 3 horas (tiempo de residencia obtenido en el DSP), pueden servir como criterio para evaluar la Eficiencia de Sedimentación (ES) en el DSP en condiciones industriales. La evaluación de este parámetro se realiza a través de la expresión:

$$\%ES = ((ABS_{ENTRADA} - ABS_{SALIDA})/(ABS_{ENTRADA}))x100$$

donde:
%ES, por ciento de Eficiencia de Sedimentación.
$ABS_{ENTRADA}$, Absorbancia a longitud de onda de 720nm de la muestra de entrada
ABS_{SALIDA}, Absorbancia a longitud de onda de 720nm de la muestra de salida desplazada 3 horas respecto a la muestra de entrada.

Por otra parte, con el objetivo de evaluar la eficiencia del proceso de sedimentación en condiciones ideales, se introduce el concepto de Índice de Sedimentación (IS), en el cual se compara la absorbancia de la muestra de salida del DSP sin centrifugar con la propia muestra pero aplicando el proceso de centrifugación que prácticamente elimina todo vestigio de turbidez. El principio del método se basa en la expresión siguiente:

$$\%IS = (ABS_{FSC} - ABS_{FC})/ABS_{FSC})x100.$$

donde:
%IS, por ciento del Índice de sedimentación.
ABS_{FSC}, Absorbancia a longitud de onda de 720nm de la muestra de salida sin centrifugar.
ABS_{FC}, Absorbancia a longitud de onda de 720nm de la muestra de salida centrifugada.

En esencia, el método compara el grado de sedimentación que se obtiene en el sedimentador industrial (el DSP en este caso) con el grado que se alcanzaría en condiciones ideales con el incremento de la fuerza de gravedad en el proceso de centrifugación.

En la Tabla IV se muestran los valores obtenidos para el %ES y el %IS en las muestras analizadas durante la evaluación del DSP.

Tabla IV Determinación del %IS y del %ES

No. Muestra (Hora)	ABS muestra entrada	ABS muestra salida sin centrifugar	ABS muestra salida centrifugada	% Eficiencia de Sedimentación	% Índice de Sedimentación
1. (11.15am)	2.413	2.294	1.424	4.93	37.92
2. (12.15pm)	2.317	2.285	1.412	1.38	38.05
3. (1.15pm)	2.735	2.205	1.303	19.37	40.90

Como puede observarse los valores obtenidos reflejan que en el DSP el % de Eficiencia de sedimentación se encuentra alejado del % del Índice de Sedimentación, exceptuando la muestra extraída al final de la evaluación.

Discusión de los resultados

De acuerdo a los resultados alcanzados en la evaluación de las características hidrodinámicas del DSP el patrón de flujo, como bien se subraya mas arriba no corresponde al modelo de flujo disperso en pistón que debe prevalecer en este tipo de proceso.
Las causas de esta anomalía según nuestro criterio se deben fundamentalmente a la retención del fluido en la zona demarcada por el bafle, motivada por la entrada del fluido (Vinaza tratada y agua de dilución) por una esquina de dicha región y no por centro como la lógica establece. Esta situación condiciona que el fluido se desplace mas rápido por el lateral derecho que por el izquierdo, de forma tal que el tiempo de aparición del trazador, como puede observarse de la Tabla V, sea mas largo en la zona del lateral centro izquierdo donde se ubica el detector #3 que a la salida del DSP donde se encuentra el detector #5 (ver esquema Fig.1), hecho este que solo se explica porque en los primeros momentos casi todo el fluido que arriba a la salida del DSP es el que viene desplazándose mas rápido por el lateral derecho debido a la entrada del fluido por esta zona.

Tabla V. Tiempo de aparición del trazador

No. Detectores	Posición del detector en el DSP	Tiempo de aparición del trazador (min.)
#3	Centro lateral izquierdo	37
#4	Centro lateral derecho	23
#5	Salida del DSP	31
#6	Salida tubería al reactor USAB	44

Otro hecho que puede haber influido en este resultado es el relacionado con el diseñó del bafle. Según el proyecto el paso del fluido desde la zona del bafle a la que la precede se produce por una abertura en el fondo a todo lo largo de la pared del bafle, ello condiciona la posibilidad de cortocircuito del fluido "empujado" por la presión que ejerce la entrada del fluido por el lado derecho de esta zona delimitada por el bafle.

Para lograr una distribución mas homogénea del fluido desde la zona del bafle hasta la restante del DSP, resultaría mas adecuado ubicar la entrada del fluido hacia el centro de dicha zona y colocar aberturas equidistantes en el fondo de la pared del bafle en los extremos derecho e izquierdo, ello obligaría al fluido a recorrer el mismo camino y emerger al mismo tiempo a la zona del DSP, independientemente del caudal del fluido de entrada.

Como prueba de la anomalía en el patrón de flujo se constata el hecho reflejado en la Tabla No. 1 en la cual se observa la similitud de las curvas DTR para los detectores #3,4, 5 y 6 que acusan tiempo de residencia prácticamente idénticos, lo que señala que la contribución de la presencia del fluido que intercambia con zonas muertas tiene mayor influencia (es superior) a la del fluido del tipo pistón que debía prevalecer en este tipo de instalación.
No obstante a todas estas deficiencias, llama la atención de que de acuerdo a los análisis practicados (Tablas II y III) el fluido a la salida del DSP presenta características que indican que ha tenido lugar cierta separación de los sólidos en suspensión y disueltos que presentaba el fluido a la entrada. Puede observarse por regla general una disminución del Brix (sólidos disueltos), conductividad y grado de turbidez (menor absorbancia), así como cierto grado de disminución de la DQO. Todo ello presupone que el acercamiento del patrón de flujo al modelo esperado debe ejercer una marcada contribución a elevar la eficiencia del DSP.

Conclusiones

- El patrón de flujo en la instalación del DSP en la planta de tratamiento de residuales de la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne” no corresponde al modelo de flujo disperso en pistón que debe prevalecer en este tipo de instalación.
- El % de eficiencia de sedimentación en el DSP es bajo y se encuentra relativamente alejado del estimado por el criterio del % de Índice de Sedimentación.
- Existen evidencias que no obstante a las deficiencias detectadas en el modelo del patrón de flujo del DSP, hubo cierta separación de los sólidos en suspensión y disueltos en el fluido de entrada.
- Los tiempos de residencia relativamente altos en la zona demarcada por el bafle, señalan bien una entrada irregular del fluido al sistema o problemas en el diseño del bafle.

Recomendaciones

- Reconsiderar la propuesta de realizar la entrada del fluido de vinaza tratada al DSP por el centro en la zona demarcada por el bafle.
- Analizar la posibilidad de rediseñar la abertura que presenta actualmente el bafle mediante la colocación de aberturas solo en los extremos derecho e izquierdo para obligar que el fluido tenga que recorrer el mismo camino hacia la salida independientemente del caudal.

Referenciasbibliográficas

1. Obaya, C y Col. (2004). Tratamiento combinado de la vinaza de destilería y residuales azucareros en reactores USAB Tecnología de Agua, 78-85
2. LEVENSPIEL O.(1974) Ingeniería de las Reacciones Químicas 2da. Edición. Ed. Reverté
3. GUIDEBOOK ON RADIOSOTOPE TRACERS IN INDUSTRY(1990).. Technical Reports Series No. 316, IAEA, Vienna
4. LECLERC J.P (1998). DTS PRO V4.2 A software for interpretation of Tracer Experiments in Industrial Processes. PROGEPI, France

Agradecimientos

- Al Organismo Internacional de Energía Atómica ()IEA) por el apoyo brindado en la realización del trabajo como parte del Proyecto CUB/8/021.

EFECTO ECONÓMICO PARA LA SOLUCION INTEGRAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA AZUCARERA HÉCTOR MOLINA

Raúl Oscar Carrillo Urrutia.

Ingeniero Agrónomo, Especialista de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, Profesor del MINAZ, Departamento: Recursos Humanos, Empresa Azucarera "Héctor Molina"
e-mail: sala 203@hab.minaz.cu, Telef. 6-2403 (Pizarra) Extensión 330, 331; 6 2305 Dirección de la Empresa, MINAZ, San Nicolás de Bari, La Habana.

RESUMEN

Se relaciona el tema medio ambiental con la producción azucarero – alcoholera, describiendo los renglones productivos más importantes de ambas industrias e identificando los mayores focos contaminantes que dañan el medio ambiente colindante de las Empresas "Héctor Molina" al sureste de La Habana. Determinando que la generación de desechos líquidos en casi medio millón de metros cúbicos representa uno de los aspectos más importantes a solventar; una vez tratadas las aguas residuales para incrementar su utilización en el fertirriego de más de 805 hectáreas de caña de azúcar. El Complejo de obras a construir dentro de ambas industrias y en el campo comprende entre otros la instalación de dos lagunas de oxidación (embalses reguladores), que almacenaran 43 000 metros cúbicos cada 4 ó 5 días y la inversión en moneda total que asciende a $ 770 065 pesos se recupera en el primer año de cosecha de la caña, debido al salto en el rendimiento agro azucarero esperado de más de 60 toneladas de caña por hectárea, que producirán más de 5 000 toneladas de azúcar crudo adicional anualmente. En dos años se obtendrán ganancias aproximadas de $ 40 000. pesos netos anuales, mejorando ostensiblemente el aprovechamiento económico de los residuales, conjuntamente con el ahorro y la eficiencia del uso del agua y de los portadores energéticos y sin la agresión del flujo productivo al medio ambiente.

Palabras clave: Impacto económico, aguas residuales, caña de azúcar, fertirriego.

ABSTRACT

The environment aspects on sugar and alcohol yield were relationships. It describing the major productive process in both factories and identifying the principal pollution focus that dangerous the surrounding environment on Hector Molina enterprises at southeast from Havana. It concluded that waste waters formation approach in near medium million of cubic meters represent the most important aspect to solve, one more waste waters treatment, in order to high the fertilizer and irrigation use on more of 805 hectares the sugar cane crop. The works building complex inside two factories and the country area compound two oxidation ponds with 43 000 cubic meters of capacity each 4 or 5 day intervals and the investment in total money that rich to $ 770 065 dollars it recovery at the first year of sugar cane harvest, due to the increase of sugar yield in more of 60 cane tonnages for hectares in order to obtain 5000 t. the additional sugar annually. In two years it will get approximately gains for $ 40 000 annual dollars, improvement the economic available residuals joint to the saving and efficiency in waters and energetic carriers use, without the contradiction to the productive process on environment.

Key words: economic effect, waste waters, sugar cane, fertilizer & irrigation.

INTRODUCCIÓN

La etapa colonialista y capitalista de republica mediatizada que atravesó la Cuba de ayer, es decir, antes del año 1959, se caracterizó por las influencias negativas que el desarrollo socio – económico ejerció sobre las condiciones naturales, lo cual se puso de manifiesto en una irracional explotación de los propios recursos, la progresiva degradación o el deterioro de algunos componentes del medio ambiente, la anárquica utilización espacial del territorio, la tala indiscriminada e irracional de los bosques, el uso y abuso de los suelos, el propio monocultivo de la caña de azúcar y otros, por solo citar algunos ejemplos. En cambio es bien conocido que en el período revolucionario cubano se destaca prioritarimante la voluntad política del gobierno (decisores) en función del uso racional y equilibrado de los recursos y la diversificación de la producción y la economía, el desarrollo de la industria y dentro de ella, muy particularmente, la agroindustria azucarero-alcoholera, a ello se suma la búsqueda de la reducción de los desequilibrios y del desarrollo social sobre una base de equidad, siendo el objetivo fundamental la elaboración sostenida de la calidad de vida del hombre como premisa esencial e indispensable para la propia supervivencia humana.

Sin embargo, con el auge de la industria desde un punto de vista genérico, se crea una nueva infraestructura que no siempre ha garantizado la mitigación, ni la reducción de los impactos nocivos – degradantes y ambientalistas negativos, lo que unido a la carencia de una educación y cultura ambientalista generalizada constituyen nuevos elementos medulares a tener muy en cuenta en la preservación del entorno natural cubano actual y la posible influencia que esto pueda tener en los cambios climáticos globales y a los distintos niveles, hacían referencia el Colectivo de autores (s.a).

Las empresas azucareras más antiguas que se mantienen e insertan en el sistema MINAZ constituyen de acuerdo a los nuevos conceptos de producción más limpia (PML), tecnologías al final del tubo, es decir, no contemplaron los posibles impactos negativos en su flujo productivo, y por tanto hemos heredado los problemas ambientales que aún hoy nos agobian y hay que resolver al más corto plazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El complejo Agroindustrial – Azucarero, CAI “Héctor Molina Riaño”, Actual Empresa Azucarera, se halla ubicada a 4,5KM del municipio San Nicolás de Bari en la provincia La Habana y colinda a 19 KM de la playa Caimito en la costa sur. Fue fundada en 1850 como ingenio Santa Teresa teniendo 158 años de funcionamiento sostenido o continuado, según MINAZ (2001) como coloso del occidente Cubano, con una norma diaria de molida potencial de 650 000@ de caña, cuenta con más de 12 000 hectáreas dedicadas al cultivo de la caña de azúcar.

Con un rendimiento agrícola actual entre 25 y 30 toneladas de caña por hectárea. Y una tecnología en el proceso fabril que tiene una obsolescencia de los años 1970. La destilería adjunta o aledaña a la empresa, lleva su mismo nombre y fue fundada en 1944, por lo que cuenta con una tecnología de la década del 40, la producción de alcohol absoluto se realiza de forma semi-automática con una capacidad potencial instalada de 500 Hl. diarios. Establecida como una Unidad Económica Básica Empresarial desde el año 1999, de acuerdo a los datos reportados por Pérez (2001).

Tabla I. Principales renglones productivos que van en notable aumento.

Azúcar crudo comercial base 96^{o}	40 000 tm
Biofertilizantes (compost).	4 000 tm
Bagazo.	184 000 tm
Cachaza.	31 000 tm
Miel final.	19 000 tm
Cenizas de Centros de Acopio.	40 tm
Cemento alternativo	9 tm
Energía eléctrica al SEN.	5 000 Mw./h
Alcoholes Técnicos “A” y “B”, rones.	63 000 Hl.
Aguardientes, licores, flemas.	2 000 Hl.
Alcohol F-5.	30 000 Hl.
Crema Termolizada.	1 300 tm

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para lograr estas producciones básicas y a partir también de los residuales obtenidos fundamentalmente de la caña y el alcohol, se generan grandes cantidades o volúmenes de desechos líquidos, sólidos y gaseosos que contaminan el medio ambiente o entorno circundante y los ecosistemas frágiles del territorio. Se estiman anualmente que se, producen alrededor de 500 mil m^3 de aguas residuales, de la cual, un poco mas del 50 % procede de la industria, estos desechos líquidos presentan los siguientes características generales, según el trabajo de Carrillo (1998).

Características generales de las aguas residuales:

1. Cuando trabajan de conjunto (fabricación de azúcar y destilación de alcohol).

C.E. Conductividad eléctrica en mili siemens
C.E. 15 MS
PH 4,5
SDT sólidos disueltos totales en mg/l o ppm
SDT 16 000 mg/l

2. Vinaza (mosto de destilería) sola.

C.E. 60ms o más
PH 4 o más bajo
SDT 45 000mg/l o más.

De los parámetros estudiados para la caracterización de las aguas residuales, se observa una elevada concentración de sales disueltas, un pH que tiende a ser muy bajo y la alta C.E., los clasifica como aguas salinas, por lo que no pueden ser vertidas a ningún curso receptor sin antes ser tratadas, lo que se relaciona estrechamente a los datos aportados en las auditorias del ICIDCA (2003,2005), actualizada por Carrillo (2006), con respecto a la producción más limpia, llevadas a cabo en ambas fábricas.

Por todo ello, se procedió a diagnosticar los principales problemas ambientales, Carrillo (2002), para así desplegar una lucha integral sobre los mismos, mediante la gestión ambiental, CITMA (2001), la

innovación tecnológica, Lorenzo' (2001) y el Forum de Ciencia y Técnica, como indica la Comisión Nacional (2001); De tal manera, que los principales riesgos ambientales detectados en la empresa son:

- Adición a las aguas residuales de la industria del ácido clorhídrico de la limpieza de equipos y procesos.
- Alrededor de medio millón de metros cúbicos de las aguas residuales de desechos líquidos de ambos procesos fabriles contaminen las aguas terrestres, superficiales y subsistemas en el sur de La Habana y las aguas marinas en la playa Caimito.
- Emisión de monóxido de carbono y partículas de hollín a la atmósfera.
- Derrame de grasa y hidrocarburos al suelo en el taller de Locomotoras por tupición del foso.
- Falta de control y uso excesivo del agua en los procesos productivos tanto de la industria como en la destilería siendo esta ultima la más agravante.
- Salideros y derrames de agua en la industria y destilería
- Diferentes niveles de erosión, compactación y drenaje deficiente (interno y superficial) en las áreas de las unidades productoras cañeras (UBPC y CPA)
- Malas condiciones, locales pequeños y poco aireados para el almacenamiento de pesticidas en general en algunas unidades productoras cañeras.
- La elevada producción de bagazo, bagacillo y las malas condiciones de almacenaje en la industria, provocan contaminación al suelo y a la atmósfera en las áreas aledañas.
- Comúnmente existe tupición o reboso y mal drenaje de conductos y zanjas (Atarjeas) por donde tienen que evacuarse las corrientes de las aguas residuales del proceso industrial azucarero.
- Parte de la ceniza producida en los Centros de acopios se pierden o están subutilizadas.
- Los desechos sólidos y excretas de vaquerías o de cochiqueras están subutilizados y pueden contaminar el lugar donde se vierten.
- La tala excesiva o el uso continuado de árboles maderables y frutales con fines de leña o material combustible para los fogones en comedores obreros o albergues y campamentos cañeros, pueden crear deforestación, si no hay reposición de árboles forestales a corto plazo.
- Perdida de biodiversidad por el uso de productos químicos sintéticos (pesticidas en general), la quema de caña y la contaminación de las aguas terrestres y marítimas.
- Falta de amianto o recubrimiento en equipos y tuberías que propicia el escape de vapor, la elevación de la temperatura ambiental y favorece el riesgo de accidentes.

De todos los focos contaminantes identificados de las industrias: azucarera y alcoholera “Héctor Molina”, son las aguas residuales, las más peligrosas y agresivas sobre todo los mostos de destilería (vinaza), por su bajo PH, el DBO de 4018 ton/año y la elevada conductividad eléctrica, hacen un agua no apta para el riego a gran escala, además el ácido que se vierte a la zanja producto de la limpieza de equipos y procesos degrada e impermeabiliza el suelo.

Actualmente a la zanja desemboca una tubería que trasiega agua potable (cruda) para diluir un poco estos desechos, atenuando en parte dicho efecto, sin embargo esa no es la solución definitiva.

Entre ambas industrias, de las cuales una ínfima parte (25%) se aplica como beneficio en el fertirriego de la caña de azúcar en 201 hectáreas, ahorran aproximadamente $64 000, debido a la sustitución de fertilizantes órgano- minerales, combustibles y lubricantes, y mano de obra, de acuerdo a los resultados de Carrillo (1998).

Por otro lado, existen evidencias años atrás procedentes del daño que provocan estos desechos en playa Caimito (Costa sur), con la muerte de peces, cultivo de arroz empobrecido y la influencia que ejerce en la pérdida de la biodiversidad. (Guano prieto).

De las inspecciones: del Centro Nacional de Medio ambiente, la Delegación Provincial del CITMA e inspectores de la pesca del MIP, nos señalan como una empresa contaminante, dejando un plan de medidas a realizar para disminuir o mitigar en gran medida la carga contaminante aportada al medio ambiente pero la solución integral de los residuales(desechos líquidos, sólidos y emisiones a la atmósfera) requieren de un elevado financiamiento o respaldo económico para solventar totalmente esta situación problemica y preservar la salud y seguridad de los trabajadores con la consiguiente recuperación de los ecosistemas vulnerables, la flora y la fauna, y el mejoramiento suelo-cultivo del entorno natural del territorio.

Además, corremos el riesgo de multas por contravenir la ley 81 que legisla todo lo relacionado con la protección del medio ambiente, promulgada en la gaceta oficial por Alarcón (1997), o que se nos aplique un cierre parcial o total, temporal o permanente de la empresa, a causa de la reiteración del incumplimiento de dicha ley marco a través de los años.

Resolver toda esta situación, incluye el mejoramiento y la ampliación que debe realizarse al sistema o técnica de riego por gravedad, para en un futuro con esas aguas tratadas, fertirrigar más de 805 hectáreas a un costo ínfimo por la mano de obra fundamentalmente.

VALORACION ECONÓMICA

El costo total de la inversión asciende a $770 065 pesos e incluye la construcción de: dos lagunas de oxidación (según proyecto nuevo) de casi 1 hectárea cada una, que almacenarán diariamente 43 000 m^3 de aguas residuales.

Un tanque concentrador, dos desarenadores, cuatro tanques de grasa, un tanque para ácido, cimientos para bombas, registros, canales, trasiego de ácidos, limpieza y neutralización, registros industriales, tuberías para Arí y drenaje pluvial, canales de drenajes, piso y cubierta, instalaciones hidrosanitarías, tubería principal, otros inducidos, proyecto de riego y drenaje, obras en los embalses, obras de entrada y salida, canal colector, etc.

En el primer año de tratamiento de las lagunas y el fertirriego se espera un incremento adicional del rendimiento agrícola de más de 60 toneladas de caña por hectárea, es decir, se alcanzará un total de 85 toneladas de caña por hectárea , siempre y cuando se aplique al cultivo la cantidad de agua y número de riego que requiere en base a las condiciones edafoclimáticas y fenológicas, referían: Fonseca (1986); Duarte (1997); Fonseca y Lamelas (1989), que en plantaciones de caña de azúcar en producción, con la aplicación de las aguas residuales, o la fertilización unida al riego, al compararlos con riego y secano, se obtienen incrementos del rendimiento entre 16 y 27 toneladas de caña por hectárea, para que el riego se justifique y sea costeable o factible.

También al regionalizar y optimizar el empleo de las técnicas de riego en el cultivo, según Carrillo y otros (1985), hallaron similar respuesta en una unidad productora de caña de la propia Empresa. Por tanto habrá una producción adicional de 48 300 toneladas de caña, que al precio de 50,90 pesos, la tonelada genera una ganancia de $2 458 470 por su comercialización, con lo cual se amortiza y recupera la inversión inicial, pero para producir una tonelada de azúcar, se requiere aproximadamente 9 toneladas de caña, por ello, se producirán 5 366,7 toneladas de azúcar, que al precio de comercialización en sacos de 50 Kg. La tonelada vale $ 678,95 pesos y al costo real $ 617.57 pesos la tonelada de azúcar, origina una ganancia de 61,38 pesos acumulando $32 940,80 pesos.

Por otro lado, no se tuvo en cuenta las 40 toneladas de sal industrial que se producirán como alimento animal en el tanque concentrador – neutralizador, por la unión del ácido y el hidróxido y quizás algún remanente de ácido clorhídrico diluido, se pudiera expender a los trabajadores como salfumante industrial, tampoco se contempló la producción de bagazo, cachaza, miel final, alcohol, etc. Adicional que corresponden a las 48 300 toneladas de caña más que se procesaran.
De acuerdo con los costos y el ingreso anual el tiempo de recuperación de la inversión.

$$\text{TRI en años} = \frac{\text{Costo total de la inversión}}{\text{Ganancia anual generada}}$$

TRI.en años = 0.313 Cuando se trata de la producción adicional de caña
TRI en años =31.74. Cuando se trata de incremento adicional del Azúcar.

Cuando la inversión realizada se recupera en un periodo menor de 3 a 5 años, de acuerdo a Triana (1975), la misma es factible de ejecución , en nuestro caso significa que a la vuelta de un año de la construcción de todo el complejo de obras a ejecutar en la industria y en el campo, cuando se aplique el fertirriego a la caña de azúcar, con los desechos líquidos tratados se recupera y amortiza la inversión para la solución integral de los residuales generales, cuando se trata de la comercialización de la caña, siendo la agricultura la mas beneficiada, mejorando a su vez la calidad agrícola del agua para riego, en armonía con los resultados de Carrillo y Álvarez (1989); Carrillo y otros (1994).
No obstante, la elección de una inversión puede no ser ventajosa desde el punto de vista económico, pero si ser decisiva en cuanto a los planes futuros de transformación agroindustrial, la salud pública y el medio ambiente, sin embargo esta decisión e impulso de la actividad financiera para lograr dichos objetivos corresponde a los decisores y a las instituciones y organismos superiores.

CONCLUSIONES

Dada la necesidad del financiamiento de las obras propuestas en el nuevo proyecto, que irán entrando paulatinamente para quedar todo terminado en el año 2010 , las mismas se recuperan y amortizan en el periodo de un año, debido al incremento cañero-azucarero alcoholero y de sus derivados. A partir del 2008-2009 la empresa tendría una ganancia neta de casi $40.000 anuales a su favor, el consiguiente ahorro de fertilizantes órgano-minerales y otras producciones secundarias.
Por la implicación que todo ello tiene nos puede convertir en un centro innovador y obtener el preciado reconocimiento nacional ambiental que otorgan el CITMA por la no agresión al medio-ambiente con estas acciones de producción más limpia y la mejora en el aprovechamiento económico de los residuales producidos.

RECOMENDACIONES

Se debe fertirrigar la mayor cantidad de área posible de caña de azúcar,a fin de obtener ,mas incremento en la producción agroindustrial diversificada a partir de sus derivados en la empresa Héctor Molina Riaño acrecentando el impacto económico, ecológico y social logrado, para introducirnos verdaderamente en el perfeccionamiento empresarial que demanda la Empresa Estatal Socialista Cubana, sobre todo la inmersa en nuestro sistema MINAZ, a raíz de los cambios necesarios sucedidos a la organización y diversificación de la producción conocida como la tarea Álvaro Reinoso I y II, que también aplica el estudio como fuente de empleo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Colectivo de Autores (s.a.) "Introducción al conocimiento del Medio Ambiente" Tabloide Suplemento Especial, 31pp, Universidad para todos, Edición Editorial Academia, Ciudad de La Habana.
2. MINAZ, Delegación Territorial Habana. (2001). "Síntesis Monográfica sobre el Sector Azucarero en la rovincia de La Habana", Monografía 13 pp., Delegación Territorial Habana MINAZ .Ciudad de La Habana.
3. Pérez R, N. (2001) "Protección del Medio Ambiente en la Destilería Héctor Molina. Diplomado de Seguridad, Salud y Medio Ambiente, 44 pp., CAI Héctor Molina, CNCA, MINAZ, La Habana.
4. Carrillo, U.R. (1998). "Calida Agrícola para Riego y Efectividad Económica Agroindustrial de las aguas residuales del CAI Héctor Molina de La Habana". Impresión Ligera 10pp Inédito CAI Héctor Molina Riaño, MINAZ, La Habana.
5. Carrillo, U. R. (2002). "Principales problemas ambiéntales del CAI Héctor Molina Riaño de la Habana .Posibles vías de Solución". Impresión Ligera ,12pp, Inédito CAI Héctor Molina Riaño, MINAZ, La Habana.
6. CITMA. (2001). "II Encuentro Medio Ambiente y Empresas, Gestión Ambiental Empresarial 2000-2001". Impreso en Cuba Energía 27pp, La Habana.
7. Lorenzo, L.R (2001). "Innovación Tecnológica en el Sector Agroindustrial Azucarero". En Revista Cuba Azúcar No. 30 (4): 54-58 Publicaciones Azucareras, MINAZ, Ciudad de La Habana.
8. Comisión Nacional del FORUM. (2001). "llamamiento al 14 FORUM –Nacional de Ciencia y Técnica". Periódico Granma p.7 Órgano Oficial PCC, Ciudad de La Habana.
9. Alarcón de Q, R. (1997). "Ley 81/97 de Protección al Medio Ambiente", Gaceta Oficial de la República de Cuba, Edición Extraordinaria. No. 7, p 17, 39pp. Consejo de Estado, La Habana.
10. Fonseca, A.J. (1986). "Drenaje parcelario y régimen de riego en caña de azúcar". Folleto Mimeografiado, Curso de Postgrado, p.55-60, Estación Central de Riego y Drenaje INICA-MINAZ ,77PP. Ciudad de La Habana.
11. Duarte, L J. (1997). "Fertirriego con residual Azucarero". Revista Cañaveral Abril-Junio p.40-41, MINAZ, Ciudad de La Habana.
12. Fonseca, J. R. y C. Lamelas. (1989). "Influencia del Riego y la Fertilización sobre el rendimiento de la caña de azúcar, Empresa Rubén Martínez Villena". Revista Agrotecnia de Cuba 15(1): 1-19 CIDA, Ministerio de la Agricultura, MINAGRI, Ciudad de La Habana.
13. Carrillo, U.R, J. Paumier y otros. (1985). "Regionalización de la Técnica de Riego en la UBPC Cañera Jesús Martínez del CAI Héctor Molina Riaño de La Habana", en Trabajo de Curso, Centro Nacional de Capacitación Azucarera, CNCA, 25pp. MINAZ, Ciudad de Habana.
14. Triana, C. A. (1975). "Recuperación de las Inversiones," en Revista Voluntad Hidráulica. p. 7-9, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, INRH, La Habana.
15. Carrillo, U.R. y M Álvarez. (1989). "Calidad Agrícola del agua de Riego en tres pozos de bombeo por el método de Palacios-Aceves", en Rev. Ingeniería Hidráulica. 10 (1): 70-76, ISPJAE., MES, Ciudad de La Habana.
16. Carrillo, U.R., C. Duarte y P. Álvarez. (1994). "Evaluación de la Calidad Agronómica del agua en la Estación Experimental de Riego y Drenaje Pulido" en Rev. Ingeniería Hidráulica 15 (2): 3-9, ISPJAE, MES, Ciudad de La Habana.
17. ICIDCA. (2003). "Asesorìa rápida de P más L en la fábrica de azúcar Héctor Molina". Impresión Ligera, 14 pp., Punto Focal ICIDCA, MINAZ, Ciudad de La Habana.
18. ICIDCA-CENGMA. (2005). "Asesorìa rápida de P más L en la fábrica de azúcar Héctor Molina". Impresión Ligera, 23 pp., Punto Focal ICIDCA-CENGMA, MINAZ, Ciudad de La Habana.
19. Carrillo, U.R. (2006). "Asesoria rápida de P más L en la fábrica de azúcar Héctor Molina". Impresión Ligera, 24 pp. (Datos Inéditos), Punto Focal ICIDCA, CENGMA, MINAZ, Ciudad de La Habana.

SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE CALIDAD VINCULADO A LAS PRODUCCIONES MÁS LIMPIAS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA Y DERIVADOS

Felipe Eng Sánchez[1], Grisel Ortega, Yaniris Lorenzo Acosta

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca No 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón. Ciudad de La Habana Cuba.
E.mail: felipe.eng@icidca.edu.cu
[1]Autor para la correspondencia

RESUMEN

En este trabajo se expone en que consiste una auditoria de Producción Más Limpia (PML) en una organización teniendo en cuenta que este concepto se basa en la aplicación continua de una estrategia ambiental integrada y preventiva a procesos y productos, con el objetivo de reducir riesgos al ser humano y al medio ambiente, a partir de la conservación de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas, así como la reducción en cantidad y toxicidad de todas las emisiones y residuos antes de que abandonen el proceso, haciendo un análisis desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del producto. La vinculación de la PML con el Sistema Integrado de Gestión (SIG) de la calidad se basa en combinar de forma armónica el concepto de PML con los sistemas de gestión de la organización, de calidad, gestión ambiental y de salud y seguridad del trabajo, buscando las sinergias de integración, evitando inconsistencias, doble trabajo y por tanto incrementando la aceptación de los trabajadores y reduciendo la demanda de tiempo para su implementación. Las actividades a realizar dentro de este sistema integrado tendrán que ser planeadas sistemáticamente, implementadas, realizadas, controladas y auditadas. Todas estas acciones se basarán en el principio de la mejora continua y las acciones preventivas.

Palabras clave: *sistema integrado de gestión, calidad, producción más limpia, medio ambiente, seguridad y salud del trabajo*

ABSTRACT

In this paper it is exposed in that consists an audit of Cleaner Production (CP) in an organization keeping in mind that this concept is based on the continuous application of an integrated environmental strategy and preventive to processes and products, with the objective of reducing risks to the human being and the environment, starting from the conservation of matters cousins and energy, the elimination of matters toxic cousins, as well as the reduction in quantity and toxicity of all the emissions and residuals before they abandon the process, making an analysis from the extraction of matters cousins until the final disposition of the product. The linking of the CP with the Integrated System of Management (ISM) of the quality it is based on combining in a harmonic way the concept of CP with the systems of management of the organization, of quality, environmental management and of health and security of the work, looking for the integration synergies, avoiding inconsistencies, double work and therefore the acceptance of the workers of the organization and reducing the time demand for it implementation. The activities to carry out inside this integrated system will have to be planned systematically, implemented, carried out, controlled and audited. All these actions will be based on the principle of the continuous improvement and the preventive actions.

Key words*: Integrated System Management (ISM), quality, Cleaner Production, environment, security and health of the work*

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de una norma ISO para la integración de los sistemas de calidad, medio ambiente y seguridad y salud del trabajo parece cada día más lógico, basada en la similitud de estos sistemas pues ya que los principios de una buena gestión y de calidad son los mismos.
En cualquier caso, las organizaciones van integrando sus sistemas en mayor o menor medida y no puede decirse que no existan especificaciones, directrices o modelos a su disposición para poder ayudarse en el diseño, implantación y mantenimiento de sus Sistemas Integrados de Gestión.
En auxilio a la integración de los sistemas de gestión se desarrolló de forma independiente el concepto de Producción Más Limpia (PML) como una estrategia de las organizaciones hacia una economía y desarrollo sostenibles.
En este trabajo se expone la base del sistema integrado y la vinculación que podría darse entre la aplicación de estrategias de PML con dicho sistema, con vistas al mejor funcionamiento de las organizaciones.

DESARROLLO

1. Sistemas integrados de gestión (SIG)

La idea de un Sistema Integrado de Gestión (SIG) es combinar los sistemas de calidad, medio ambiente y salud y seguridad del trabajo que se encuentran separados, Ej. de acuerdo a la ISO 9001, la ISO 14001 y la ISO 18001.
Las actividades productivas tienen que ser planificadas sistemáticamente, implementadas, realizadas, controladas, verificadas y mejoradas. Se puede realizar una integración sinérgica y de esta forma se evitan las inconsistencias y el trabajo duplicado. La integración de los elementos existentes reduce la demanda de tiempo e incrementa la aceptación de los trabajadores.
La integración es más que sumar elementos de sistemas que han sido estructurados por expertos. El punto de partida de un sistema integrado de gestión real está centrado en los procesos de la organización.
En muchas organizaciones la gestión de calidad, medioambiente y salud y seguridad del trabajo existen como tres sistemas paralelos, pero separados. Esta separación no ayuda a aquellos que tienen que trabajar con estos sistemas. Para éstos no queda claro quién define los requerimientos especiales de su trabajo, si el director de calidad, el de medioambiente o el de seguridad. Debe conocerse cuál es el resultado de las tareas a partir de estos requerimientos y dónde y cómo puede obtenerse la información que necesita. Para apoyar al trabajador en sus tareas, el sistema de gestión debe describir los requerimientos consistentemente orientados sobre los procesos reales.

1.1 Conexiones entre los sistemas

Es evidente que cualquier fallo en una operación de la organización puede tener efectos en la calidad del producto o en el servicio que se brinda, pero a la vez puede tenerlos en la seguridad y la salud de los trabajadores, y en el medio ambiente. También es cierto que determinadas actividades que aumentan la productividad o la calidad, pueden repercutir negativamente en la seguridad o el medio ambiente y viceversa. Se ha podido observar que las organizaciones con Sistemas de Gestión de Calidad o Medio Ambiente implantados, son más receptivas a los Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.
Hay que tener en cuenta que las funciones de calidad, medio ambiente y seguridad han seguido un desarrollo independiente y paralelo en el mundo industrial. Así en muchas organizaciones la seguridad sigue dependiendo de recursos humanos, mientras que la calidad lo hace de operaciones, y medio ambiente se ubica en áreas técnicas (ingeniería, I+D, etc.). Además, sus fuerzas motrices tuvieron un origen diferente. La

calidad se ha desarrollado impulsada fuertemente por la competencia, por la necesidad de mejorar la competitividad empresarial, mientras que la seguridad ha sido impulsada por el establecimiento de regulaciones gubernamentales y por la presión de las organizaciones sindicales, mientras que el medio ambiente lo ha hecho por la legislación y la sociedad. Aún así, estas funciones tenían en el pasado una filosofía común de gestión: la retrospectiva, basada en el análisis de indicadores que mostraban lo que ya había ocurrido.

En particular la gestión de la calidad ha evolucionado desde el control al final del proceso para eliminar los productos defectuosos, pasando por el control estadístico del proceso basado en especificaciones que debían cumplir los operarios y los equipos, para llegar a los Sistemas de Gestión participativa de la calidad y los Sistemas de Gestión de la Calidad Total.

Se pueden establecer no obstante, las siguientes coincidencias en los Sistemas de Gestión citados:

- *Es un proyecto permanente*. Las metas no pueden ser estáticas. El Sistema de Gestión debe estar inmerso en un proceso de innovación y mejora continua, ante la dinámica del mercado y de los procesos y la aparición de nuevos riesgos empresariales.
- *Debe existir el compromiso y liderazgo de la Dirección de la organización*. Sólo si la Alta Dirección de la organización, está comprometida, no sólo con palabras, sino con hechos, se logrará el éxito. No debe tratarse sólo como un problema técnico, como era la tendencia clásica.
- *Se basa fundamentalmente en la acción preventiva y no en la correctiva*. Es prioritario actuar antes de que los fallos acontezcan, en lugar de controlar sus resultados, aunque también estos han de ser considerados. La eficacia debe medirse fundamentalmente por las actuaciones.
- *Ha de aplicarse en todas las fases del ciclo de vida de los productos y en todas las etapas de los procesos productivos*. Es prioritario prevenir fallos tanto en las condiciones normales como anormales que puedan acontecer.
- *Debe ser medible el sistema*. Sólo será eficaz, si se es capaz de medir y evaluar la situación en la que estamos, y a dónde vamos. En las tres áreas, las técnicas de evaluación son similares, e incluso algunas idénticas. Es muy importante que las mediciones se realicen sobre indicadores prospectivos.
- *Es tarea de todos*. Está claro que sin una implicación de todas las personas que trabajan en una organización, es improbable obtener éxitos en calidad, medio ambiente o seguridad, ya que es un proceso continuo e integrado en toda la estructura de la organización.
- *Se logra mediante la formación*. La formación es la clave principal de todos los aspectos que se desarrollan en las organizaciones. Partiendo de la base de que sólo cuando se tiene dominio de lo que hay que hacer se puede empezar a asegurar algo.

1.2 Ventajas e inconvenientes de los Sistemas Integrados

Podemos señalar las siguientes ventajas de la integración de los Sistemas de Gestión para una organización que tenga adquirida la cultura de la calidad (López Cachero, 1998):

- Las auditorias de implantación, seguimiento y revisión de los tres sistemas se realizarían al mismo tiempo, en los plazos correspondientes, por un equipo auditor polivalente. Con ello se reducirían los costos que para una organización supone la preparación de dichas auditorias.
- En general debería tener un costo menor de certificación que la certificación de los tres Sistemas de Gestión considerados independientemente (Calidad, Medio Ambiente y Prevención de Riesgos Laborales).
- El registro de organización certificada en las tres áreas de gestión se conseguiría más rápidamente al ser un único certificado para los tres Sistemas de Gestión.
- Permitiría que la certificación de cada nueva área fuese más sencilla, al no ser necesario tener en cuenta nada más que los aspectos específicos de la nueva área en cuestión.
- Sería un incentivo para la innovación en las organizaciones, que proporcionaría valor añadido a sus actuaciones.
- Simplificaría la documentación necesaria al ser ésta única, lo que traería consigo transparencia, facilidad de manejo y reducción de costos de mantenimiento.

- Al tender a un sistema único y, por lo tanto a un sistema más fácil de manejar, desarrollar y mantener, ayudaría y animaría a las organizaciones a mejorar su competitividad y su situación en el mercado. A este respecto hay que tener en cuenta que cada vez más los contratistas principales exigen a sus subcontratistas que al menos tengan el Certificado ISO 9000.
- Esta manera de trabajar en las organizaciones permitirá establecer medidas proactivas que, por un lado la fomenten, y por otro disminuya las presiones sobre las mismas en busca de la eficacia e eficacia del nuevo sistema.

También existen desventajas:

- Mayor esfuerzo en materia de formación, de organización y de cambio de la cultura empresarial.
- Mayor costo de implantación, en relación con un solo sistema particular de gestión. Si ya es difícil en cualquier organización poner a rodar uno solo de estos sistemas, hay que pensar lo que sería implantar los tres a la vez. Por esto la tónica actual de las organizaciones es implantar un Sistema de Gestión de la Calidad y posteriormente ir integrando la gestión medioambiental y la seguridad y salud en el trabajo.

1.3 El proceso de integración

Un sistema integrado de gestión tendría que conseguir:

- La protección medioambiental, incluyendo la protección contra la contaminación y los desechos.
- El proceso de calidad que influya sobre la mejora de productos y servicios y la satisfacción del cliente.
- La seguridad y la salud en los puestos de trabajo, así como podría incluir también la seguridad de los productos y servicios.
- La integración, por tanto, de dichos elementos en el sistema general de gestión de una organización.

Para alcanzar un sistema totalmente integrado, la organización tendrá que plantearse un proceso en el que dependiendo de su situación inicial y del camino elegido para conseguir la integración, es decir del grado de integración de las metodologías y de la estructura organizativa existente en cada momento, podrá situar a la organización encuadrada en uno de los siguientes cuatro casos:

Caso A: Integración nula:

- Diferente documentación para los diferentes sistemas, lo que se traduce en exceso de la misma, y más trabajo.
- Diferentes responsables para los distintos sistemas, de forma que alguno puede que ni siquiera exista. Esto repercute en un aumento de costos de estructura.
- Sistemas muy enfocados al control y poco a la mejora.
- Enfoque aconsejado en el proceso de integración: integración metodológica.

Caso B: Integración organizativa:

- Estructura documental mínimamente integrada.
- Un solo responsable con desequilibrio entre las distintas áreas por deformación según el origen formativo del responsable. Metodológicamente se sigue lejos de la integración.
- Enfoque aconsejado en el proceso de integración: integración metodológica.

Caso C: Integración metodológica:

- Tenemos integración documental y por lo tanto menor cantidad de documentos.
- Cuanto menos integrado esté el sistema, más se favorece la influencia del técnico. Por esto el técnico suele ser el freno a la integración.
- Varios responsables pero con integración metodológica. Se mantienen altos costos de estructuras y se favorecen los conflictos entre disciplinas. Es común en las grandes organizaciones.
- Enfoque aconsejado en el proceso de integración: integración organizativa, ya que hay madurez suficiente.

Caso D: Integración total:

- Un solo responsable de calidad, medio ambiente y prevención, con una verdadera función *staff*. Existirán conflictos pero no afectarán a las actividades por ser *staff.*
- Documentación reducida.
- La integración suele afectar a los procesos operativos críticos, pero puede extenderse a todos los demás.

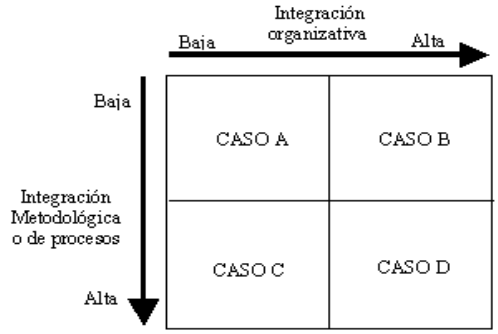


Figura 1. SITUACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN ANTE LA INTEGRACIÓN

Lógicamente, en la estructura organizativa y en la asignación de responsabilidades de un sistema altamente integrado de gestión, debe reflejarse la jerarquía establecida a todos los niveles para desarrollar, implementar, y mantener, cada una de las ramas que afectan a cada área particular de gestión. Debido a ello, es conveniente que la organización designe a una persona con suficiente autoridad y que se responsabilice de coordinar la implantación y mantenimiento del Sistema Integrado de Gestión, de forma que dicha persona rinda cuentas a la Dirección de la organización (López Cachero, 1998:12). Esto puede provocar reticencias, así por ejemplo en una organización pequeña donde antes existía un responsable de calidad y otro de prevención, debería quedar un solo responsable del sistema integrado, lo que puede hacer pensar que uno de ellos termine fuera de la organización.

Una organización con un sistema integrado de gestión, deberá reflejar esta circunstancia en su organigrama, de manera que sea posible su desarrollo, implementación y mantenimiento en cada rama de la organización

Conviene en cualquier caso afrontar el proceso de integración con un programa definido, a continuación exponemos el siguiente:

Análisis de la situación inicial. En calidad, seguridad y medio ambiente.

- *Detección de las acciones a realizar*. Para cumplir la legislación vigente, la normativa de tipo voluntario, y para establecer un sistema de gestión integrado.
- *Definición del sistema*. Grado de integración a lograr, documentación de soporte, método de gestión y mantenimiento del sistema.
- *Establecimiento del programa de trabajo*. Tareas a realizar, orden de precedencia en el tiempo, recursos necesarios (humanos, materiales y económicos), responsables de la ejecución de cada tarea y plazos estimados para ello.
- *Desarrollo e implantación del sistema*. Ejecución de las actividades programadas, seguimiento y control de las posibles desviaciones.
- *Formación y difusión*. Actividades a realizar en distintos momentos del proyecto con el fin de dar a conocer el sistema y las modificaciones que suponga en la sistemática de trabajo habitual.
- *Certificación del sistema de gestión*. Como consecuencia de las actividades realizadas, y una vez normalizada las correspondientes a la gestión, se procederá a la solicitud de la auditoria de certificación por una entidad autorizada, en su caso.

En todo caso en el proceso de integración será necesario tener en cuenta una serie de condicionantes que tendrán diferentes influencias en la gestión y a los que estará sujeta la organización empresarial. En este sentido podemos considerar los siguientes condicionantes:

1. *El marco legislativo obligatorio y el normativo voluntario*. Distintos en calidad, medio ambiente y seguridad. Así el marco normativo en calidad es escaso aunque el normativo voluntario es amplio (y condicionado por el mercado), mientras que en la gestión medioambiental tenemos un desarrollo legislativo y normativo voluntario, ambos de orden medio, y respecto a la seguridad y salud en el trabajo nos encontramos con un desarrollo legislativo amplio y normativo voluntario bajo.

2. El enfoque organizacional actual. En calidad suele existir un responsable y un Departamento de Calidad, con un amplio desarrollo metodológico y una fuerte actividad verificadora de los productos y supervisora de los métodos, apoyados en una estructura documental amplia. Sin embargo en medio ambiente suele existir un responsable con recursos compartidos con otras funciones y además solamente en sectores con alto impacto en el medio ambiente. El medio ambiente se orienta hacia el asesoramiento en instalaciones y productos, y hacia la supervisión de procesos con impacto en el medio ambiente, mediante un desarrollo metodológico centrado en las técnicas de control y reducción del impacto, una estructura documental limitada y un enfoque táctico y estratégico en la gestión. En seguridad y salud se tiene un servicio de prevención ajeno o mixto que realiza las tareas de prevención, con una actividad centrada en la eliminación o minimización de riesgos, un enfoque más reactivo que preventivo y más táctico que estratégico y un menor nivel de integración en general.

3. *Los elementos específicos que condicionan la gestión empresarial*. Estos pueden resumirse por un lado en que la organización debe obtener resultados rentables, gestionando sus recursos, que siempre son escasos y que limitarán el volumen de negocio, de una forma eficaz y eficiente y por lo tanto con el mayor aprovechamiento posible.

4. El entorno o variables externas que condicionan la gestión de la organización. Respecto a los condicionantes externos o el entorno, entre otros tenemos a los agentes sociales, que aunque no son en general determinantes, sí que pueden provocar una respuesta del mercado para resolver reclamaciones y cambios en los suministros que entren en el sistema. Estos condicionantes sociales funcionan de forma informativa en calidad (quejas y reclamaciones) y de forma sensibilizadora y de denuncia en el medio ambiente y la prevención de riesgos laborales. Los clientes por otro lado tienen una influencia fundamental en la organización, así la calidad condiciona la compra al aceptar o rechazar el producto o servicio que se les entrega, lo que realimenta el sistema de forma sustancial, mientras que el medio ambiente sensibiliza aunque también puede condicionarla.

En resumen, la gestión integrada tendría que atender los requisitos, exigencias y presiones de tres de los cuatro condicionantes y supondría una ventaja competitiva con respecto al cuarto, ya que los competidores que no supiesen aprovechar las sinergias creadas como consecuencia de esa gestión integrada, perderían oportunidades.

El proceso de integración no es más que aplicar los principios del enfoque de la gestión por procesos propugnado por la teoría actual de gestión empresarial: la idea es gestionar el conjunto de procesos que forman la organización de forma única

Todo esto en fin no es más que aplicar los principios del enfoque de la gestión por procesos propugnado por la teoría actual de gestión empresarial, en la que la organización se entiende como un conjunto de procesos que deben verse desde una perspectiva global y equilibrada para conseguir la máxima eficacia y eficiencia empresarial y de satisfacción del cliente y la sociedad, y no desde el punto de vista de la especialización en actividades desconectadas del proceso global. La idea es gestionar el conjunto de procesos que forman la organización de forma única pero teniendo en cuenta los requisitos específicos aplicables en calidad, medio ambiente, seguridad y salud, etc., en vez de gestionar cada función desde puntos de vista diferentes e independientes.

1.4 La estructura de los sistemas integrados

Un sistema integrado de gestión tendría una estructura de árbol, con un tronco común, y tres ramas

correspondientes a las tres áreas de gestión: calidad, medio ambiente y seguridad y salud laboral.
El tronco contendría el sistema de gestión común a las áreas especificadas, teniendo en cuenta todos los elementos, desde la política, a la asignación de los recursos, etc., pasando por la planificación y el control de las actuaciones y terminando con la auditoria y la revisión del sistema.
Cada rama específica de gestión recogería de forma complementaria las cuestiones particulares que la incumben, teniendo siempre en cuenta los aspectos comunes del tronco.
En general, las organizaciones con un sistema ya implantado, podrían ampliar su sistema de gestión a otros campos, al menos en cuanto al tratamiento documental, con sólo incrementar los documentos ya existentes, evitando las redundancias e incluyendo referencias cruzadas e interrelaciones entre los distintos elementos específicos de los diferentes sistemas.

Figura 2. ESTRUCTURA EN FORMA DE ARBOL DE LOS SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN

2. Producción Más Limpia (PML)

Los métodos de PML ofrecen una excelente forma para analizar los procesos productivos, discutirlos con el objetivo de reducir el uso de sustancias químicas, las emisiones y los desechos y sensibilizar a la fuerza laboral y a la dirección sobre la situación medioambiental. Especialmente en las pequeñas organizaciones, esto permite al mismo tiempo, lograr una mejora inmediata en la salud ocupacional y en el funcionamiento medioambiental y de la calidad.
La experiencia real en la mejora del funcionamiento medioambiental por la adaptación de los procesos y los procedimientos formarán las bases para comprender la aproximación hacia un desarrollo sostenible y dirigirse continuamente hacia el aprendizaje y el perfeccionamiento.
La PML es la estrategia seguida por la organización para reducir el impacto medioambiental mediante la aplicación sistemática de los principios de la prevención. Presta especial atención a las fuentes de emisiones y desechos y a los cambios en la organización, las materias primas y procesos tecnológicos a lo largo del ciclo de vida del producto con el claro propósito de reducir los desechos y las emisiones.
Los proyectos de PML ofrecen un análisis sistemático de los desechos y las emisiones e incluyen una evaluación y una prioridad: la dirección se dirige hacia donde están los problemas y puede invertir recursos para resolverlos de forma efectiva. Los primeros éxitos y los ahorros financieros garantizan una motivación continua.
Estos principios pueden ser las bases de las estrategias de las organizaciones: la investigación activa sobre la causa de los problemas, el mejoramiento continuo, la aplicación de las mejores tecnologías donde sea apropiado, son principios claves del éxito para un desarrollo de la innovación.
Las herramientas de PML tales como los análisis de entrada/salida, los análisis de flujo de materiales y energía constituyen la base de un sistema de información el cual permite determinar la eficiencia del uso de materiales y de energía y la efectividad de su cuantificación.
La transparencia en los flujos de materiales nos da una base para la sensibilidad y la creación de una conciencia. El entrenamiento puede ser más efectivo si se tienen claras las prioridades y si se brindan ejemplos prácticos de la organización en cuestión. Los sistemas de dirección aseguran la consistencia y la

continuidad. Por razones prácticas, los elementos de los sistemas de dirección que ya existen deben ser integrados para evitar desarrollos paralelos.
Un proyecto de PML motivará a la dirección ya que los resultados ayudan a reducir los costos diariamente. A la política de la organización se le agrega una estrategia de prevención la cual puede ser una guía útil para los trabajadores en el diseño de los productos y los procesos durante la operación y garantizará una experiencia práctica con el equipo de trabajo prestando atención a los problemas. Las herramientas para el control medioambiental están creadas y aplicadas prácticamente lo que permite una comprensión profunda de los impactos medioambientales y las vías para resolverlos.

2.1 Auditoría de PML

Del análisis de las causas de las no conformidades de la auditoria PML, saldrán las acciones correctivas. Para ello es importante formular un Plan de Acción. Esto usualmente se realiza en la reunión de cierre o luego de la presentación del Informe de la auditoria. El plan de trabajo debe incluir quién, qué, cuándo y con qué recursos. Este programa estará sujeto a seguimiento durante las reuniones de gestión.

2.1.1 Informe de la auditoria de PML

Los informes son una parte importante de la auditoria y los sistemas de gestión. Se debe preparar para la Alta Dirección un Informe de la Auditoria de PML. El Informe debe ser elaborado de manera clara y concisa, éste incluye:

- Toda la información disponible sobre las operaciones unitarias, materias primas, productos, consumos de agua y energía;
- Las fuentes, cantidades y tipos de residuos generados.;
- La identificación clara donde se ubican los procesos ineficientes y las áreas con inadecuada gestión;
- Las actividades que pudieran estar causando impacto ambiental e información sobre su cumplimiento legal.;
- La identificación de oportunidades de PML y la estimación de los costos de implementación y los beneficios potenciales;
- Las oportunidades de PML identificadas. La prioridad debe darse en base a medidas con mínima inversión o inversión cero y a aquellas con periodos muy cortos de recuperación de la inversión;
- Un "Plan de Acción", que describa cómo deben ser implementadas las medidas de PML en la organización.

Los cálculos contemplados en las recomendaciones de prevención de la contaminación y de eficiencia energética deberán considerar los planes de crecimiento de la organización.
Si el Informe de la auditoria es persuasivo y convincente, es más probable que la Alta Dirección inicie una acción inmediata. Para escribir informes efectivos, es importante:

- Hacer entender a los usuarios y lectores el Informe de la auditoria
- Usar los cinco elementos de una observación para darle forma al escrito: condición, criterio, causa, efecto y recomendación;
- Revisar la escritura viendo la lógica, claridad, impacto, tono, concisión y legibilidad;
- Usar tendencias actuales de informes de auditoria, incluyendo estilo colaborativo y consultivo;
- Resaltar claramente los potenciales de ahorro de costos;
- Señalar claramente riesgos y responsabilidades de la Alta Dirección.

Para documentar las actividades de PML, se ha propuesto una gran variedad de formatos de Informes en muchos manuales/documentos.

2.1.2 Atributos personales del equipo asesor de PML

El asesor ideal tiene un número de cualidades clave:

- Diplomacia
- Habilidad para escuchar y buenas técnicas de comunicación

- Actitud crítica
- Flexibilidad para adaptarse a la cultura de la organización

2.1.3 Conocimientos y habilidades del equipo auditor de PML

El equipo asesor debe comprender el proceso desde diferentes puntos de vista: teórico, práctico, de la organización, de los trabajadores, de eficiencia y del ambiente, y debe tener conocimiento acerca de prácticas de PML en el sector. La curiosidad técnica del equipo auditor es indispensable sobre todo para detectar y medir pérdidas por el inadecuado manejo y control de parámetros operativos (por ejemplo, inadecuado cálculo y/o aplicación de especificaciones técnicas), incluyendo derrames, fugas y otros.

El rol del asesor debe ser estimulante y activo. El asesor de PML puede jugar un rol importante para identificar residuos innecesarios, cuestionar prácticas existentes y estimular nuevas y mejores soluciones.

El asesor debe tener conocimiento de legislación, regulaciones, códigos y estándares organizacionales relevantes.

La autoridad, reconocimiento y apoyo dentro de la organización, le debe permitir:

- Acceso a personal y asesores capaces de traducir cumplimiento de obligaciones legales u otros a procedimientos organizacionales diarios.
- Acceso a todos los niveles de la organización, como sea necesario.
- Acceso a los responsables de la toma de decisiones.

2.1.4 Requisitos adicionales del líder del equipo asesor de PML

Los líderes de los equipos deben tener conocimientos y habilidades adicionales con el fin de conducir la Auditoria de manera eficiente y eficaz.

El asesor líder debe ser capaz de:

- Planificar la Auditoria y hacer un uso eficaz de los recursos durante su desarrollo;
- Representar al equipo en las comunicaciones con el cliente y la organización;
- Organizar y dirigir a los miembros del equipo;
- Proporcionar dirección y orientación a los asesores en formación;
- Conducir al equipo para llegar a las conclusiones de la Auditoria;
- Prevenir y resolver conflictos; y
- Preparar y completar el Informe de la Auditoria.

3. Vinculación SIG y PML

A pesar de enfocar diferentes aspectos del desempeño de las organizaciones, los sistemas de gestión de calidad, ambiente y salud y seguridad ocupacional tienen mucho en común. Las actividades productivas tienen que ser planeadas sistemáticamente, implementadas, realizadas, controladas, auditadas y mejoradas. Se pueden hacer sinergias en la integración, evitando inconsistencias y doble trabajo. La integración de los elementos existentes reduce la demanda de tiempo y aumenta la aceptación de los empleados.

Los sistemas de gestión son creados considerando estos pasos como una mejora continua y sistemática para el uso de los recursos siguiendo los principios de prevención. Como resultado se logrará la minimización de las emisiones así como la reducción de los costos de producción.

La metodología empleada por los Sistemas de Gestión es conocida como Planear- Hacer- Verificar- Actuar. A continuación se describe en que consiste dicha metodología:

- Planificar: Establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con la política de la organización.
- Hacer: Implementar los procesos.
- Verificar: Realizar el seguimiento y la medición de los procesos respecto a la política, los objetivos, las metas y los requisitos legales y otros requisitos, e informar sobre los resultados.
- Actuar: Tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño del sistema de gestión.

En este proceso se deben estimular métodos creativos que amplíen los límites de los sistemas de la optimización en la organización. Se debe centrar la atención en el rediseño y la reorganización de los

sistemas de suministro y en los beneficios.
Las ideas que promueven la investigación básica (desarrollo de metodologías para entender la percepción de los beneficios para los consumidores y diseñar servicios sostenibles innovadores, el diseño de sistemas para el reciclaje de los productos o componentes de los productos mientras se preserva su valor) y a la investigación aplicada (diseños de sistemas de producción eficientes con el propósito de lograr cero emisiones, cero defectos y la eliminación de materiales auxiliares) deben ser tratados con la misma urgencia.
La interpretación de desarrollo sostenible, entendido e implementado poco a poco, es un reto y una tarea. Este proceso puede ser tratado con una estrategia paso a paso que incluya PML, gestión integrada, influencia en la cadena de suministro y el mejoramiento de la característica de los productos.
El método de la eco-eficiencia generalmente evita las emisiones y los desechos. Un sistema de gestión presta atención al trabajo en equipo y al mejoramiento continuo de la calidad, de los aspectos medioambientales y de salud y seguridad garantizando su continuidad. El nivel de compromiso de los suministradores, los consumidores, las autoridades y los vecinos expandirán, paso a paso, el alcance del mejoramiento fuera de los límites de la organización.

CONCLUSIONES

1. En el proceso de integración se aplica el enfoque de la gestión por procesos.
2. Las PML ofrecen una excelente forma para analizar los procesos productivos permitiendo la reducción del uso de sustancias químicas, las emisiones y los desechos y sensibilizan a la fuerza laboral y a la dirección sobre la situación medioambiental; así como determinar la eficiencia del uso de materiales y de energía y la efectividad de su cuantificación.
3. Un sistema de gestión integrada vinculado a Producciones más limpias es creado estableciendo el modelo de mejora continua para el uso de los recursos siguiendo los principios de prevención.
4. El sistema integrado vinculado a producciones más limpias debe estar documentado, debe ser auditado empleando personal competente y que posea los atributos requeridos.
5. El desarrollo sostenible es un proceso que puede establecerse como estrategia paso a paso que incluya PML - gestión integrada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ISO 19011. Directrices para la Auditoria de los Sistemas de Gestión de la Calidad y/o ambiental. ISO. Ginebra, 2002.

Book 2: CP Auditing Guidelines for Enterprises. Qi Hongwei y Yao Mingkuan. Centro Nacional de Producción Más Limpia de China. http://www.chinacp.com/eng/cptools/cpt_books.htm (último acceso: marzo 2008).

The Cleaner Production Knowledge Series. United Nations Environment Programme (UNEP), 1994. Government Strategies and Policies for Cleaner Production. UNEP Industry and Environment. Paris.

United Nations Environment Programme (UNEP), 1995. Cleaner Production: A Training Resource Package. UNEP Industry and Environment, Paris.

United Nations Environment Programme (UNEP), 1996. Guidance Materials for the UNIDO/UNEP National Cleaner Production Centres. UNEP Industry and Environment. Paris.

Cleaner Production Assessment in Dairy Processing. http://www.agrifoodforum. net/publications/guide/ (último acceso: mayo 2008).

UNIDO Cleaner Production Toolkit. A comprehensive Train the Trainer Toolkit in 10 volumes. Capítulo 9 Auditoria. United Nations Industrial Development Organization.

Liste relevanter Dokumente bei der Umweltprüfung mit Arbeitssicherheit. SiraTec Unternehmensberatung GmbH. Sarre, 2002.

Gute Betriebsprüfung. Pilotvorhaben zur Unterstützung umweltorientierter Unternehmensführung in Entwicklkungsländer (P3U). GTZ-P3U. 2003.
Guía Técnica de Producción Más Limpia para Curtiembres. Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles – CPTS. La Paz, 2003.
Informe Completo de Casos Exitosos. PML/ficha de descripción de proyecto/caso exitoso. http://www.cet.org.pe. Lima, 2004.
ONUDI – Manual de Producción más Limpia. Auditorías técnicas y auditorías de PML, 2007.

AVANCES EN LA PRODUCCION DE PLASTICOS BIODEGRADABLES: POLILACTATOS, PROMESAS Y REALIDADES

G. Michelena*, D. Bello*, A. Bell*, L. Alba*, A. Brown*, J. Hernández*, E. Carrera*.

*Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 807 esq. a Carretera Central, P.O. Box 4026, Ciudad de La Habana, Cuba;
georgina.michelena@icidca.edu.cu

RESUMEN

La producción de plásticos biodegradables es un reto productivo que se impone por la necesidad de no continuar incorporando al medio ambiente materiales perennes o de difícil degradación.
Los polilactatos constituyen dentro de los bioplásticos una de las opciones productivas más atractiva. Sin embargo, en la naturaleza es escasa la presencia de cepas productoras de altas concentraciones de Ácido Láctico D(-) con perfiles homofermentativos, necesarias para la producción por vía fermentativa del ácido láctico D(-) con el cual se logran adecuadas propiedades físico-mecánicas de estos polímeros.
En este trabajo se demostró que los sustratos azucareros son fuente de bacterias lácticas D(-) y se logró el aislamiento y purificación de la cepa 10.7 con potencialidades industriales.
Se determinó en fermentaciones de bioreactores de 5L, concentraciones de AL D(-) superiores a 100 g/L y productividades por encima de 3 g/Lh cuando se trabajó entre 100-150 g/L de ART iniciales.
Se diseñó un medio industrial de producción con guarapo como fuente de carbono e hidrolizado de levadura como fuente de nitrógeno orgánico, que incrementó la productividad del sistema en 35 %.
Se lograron condiciones de síntesis de reacción para la producción del PLA menos drásticas utilizando la irradiación ultrasónica. La caracterización por RMN refleja la aparición de grupos característicos de las unidades de lactato y de formación del grupo éster del poli- lactato.

Palabras clave: *Bioplásticos, PLA, Acido lactico*

ABSTRACT

The biodegradable plastics production is being imposed by the necessity of not continuing incorporating to the environment perennial materials or of difficult degradation.
The polilactates constitutes inside them one of the most attractive options. However, in the nature it is scarce the presence of strains producers of high concentrations of Lactic Acid D (-) with profiles homofermentatives, necessary for the production of the lactic acid D (-) with which appropriate physical-mechanical properties are achieved.
Sugar industrial substrates are source of lactic bacterias D (-) and it was achieved the isolation and purification of the one strain with industrial potentialities. It was determined concentrations of LA D (-) higher than 100 g/L and productivities above 3 g/Lh when one worked among 100-150 g/L of initial ART.
An industrial medium was designed with sugar juice like source of carbon and yeast hidrolyzate like source of organic nitrogen which are increased the productivity in 35%.

Conditions of reaction less drastic synthesis were achieved for the PLA production using the ultrasonic irradiation. The characterization for RMN demonstrated groups of the lactate units and of formation of PLA ester.

Key words*: Byoplastics, PLA, Lactic acid*

INTRODUCCION

La mayoría de los plásticos y polímeros sintéticos de uso cotidiano se obtienen a partir de productos petroquímicos, los mismos persisten en el medio ambiente por largos períodos de tiempo constituyendo así una significativa fuente de contaminación ambiental. El uso de fuentes de energía renovables para la producción por vía fermentativa de compuestos orgánicos que pueden ser usados como monómeros para la síntesis de polímeros biodegradables se ha convertido en una importante labor de investigación debido al progresivo agotamiento de los combustibles fósiles en el planeta y a las ventajas para el medio ambiente que este tipo de polímero ofrece en términos de biodegradabilidad.

De modo particular los polímeros producidos a partir de Ácido Láctico D(-) han mostrado aceptables propiedades físico-mecánicas, comparables a la de los plásticos producidos a partir de reservas fósiles de energía y elevadas tasas de biodegradabilidad. Por estas razones el ácido láctico D(-) constituye uno de los sillares producido por vía fermentativa, que mayores posibilidades brinda en el desarrollo y la producción de los plásticos biodegradables.

En el proceso de producción de ácido láctico, durante la fermentación de los carbohidratos no sólo se produce este ácido, sino también se encuentran diversas sustancias en solución como carbohidratos no fermentados, subproductos de la fermentación, nutrientes utilizados para el cultivo de las bacterias, proteínas y otras sustancias que constituyen impurezas.

El grado de pureza de la disolución acuosa de ácido láctico es un factor para determinar su posible empleo y consiguientemente su precio en el mercado. Además, para empleo industrial es también necesario que la purificación, y opcionalmente el proceso de concentración de la disolución acuosa de ácido láctico sea simple y económico. En la producción de polímeros de AL D (-) se requiere altos grados de pureza del ácido láctico que además se vean reflejado en muy bajas unidades de color. Para ello es necesario procesos de purificación rigurosos.

Las potencialidades del ácido poliláctico y sus copolímeros en el campo medicinal, farmacéutico y alimenticio, abarcan desde el empleo de dispositivos quirúrgicos tales como fibras sintéticas para suturas reabsorbibles por el organismo y su capacidad para formar películas (poder filmógeno) hasta su posible uso en sistemas de liberación controlada a partir de microesferas. Todas estas potencialidades justifican el estudio de estos nuevos materiales.

El objetivo de este trabajo es mostrar el avance logrado en el ICIDCA en la obtención de bioplásticos, específicamente Polilactatos, a partir de ácido láctico.

Producción de PLA a partir de ácido láctico obtenido de cepas autóctonas.

a. Cultivo de muestras colectadas a partir de sustratos azucareros.

Este estudio abarcó la colección de 86 muestras de sustratos azucareros de 6 empresas azucareras del país. La tabla 1 muestra los principales resultados alcanzados en cuanto a concentración de ácido láctico y estereoespecificidad de las muestras cultivadas.

Tabla I. Selección del cultivo de las muestras colectadas a partir de sustratos azucareros a 40^{o}C .

Muestra	Acido Láctico (g/L)	D(-) Acido Láctico %
1-001	18.20	63.11
3-001	23.35	70.00
3-002	23.79	92.62
5-001	29.39	100
6-001	10.10	100
6-002	10.37	100
4-001	15.03	100
1-003	20.08	85.80
1-002	23.65	100
1-010	18.16	100
4-005	15.50	76.47
6-001	42.50	95.58
5-002	42.00	89.96
3-003	36.11	91.00
1-018	39.25	76.29
5-010	40.00	75.05

Como puede observarse, solo 1 muestra alcanzó una producción de más de 25 g/L ácido láctico y 100 % de D(-), valor apropiado para los trabajos de selección de cepas industriales.

La posibilidad de hallar estas cepas en ambientes naturales según los estudios de muestreos realizados y cultivados a 40 ^{o}C fue de 5,8 % (5 muestras de 86 colectadas), lo cual es indicativo de la rareza que representa encontrar cepas industriales productoras del isómero D(-) del ácido láctico. Este hecho ha motivado el desarrollo de trabajos de ingeniería metabólica principalmente sobre *Escherichia coli*; logrando mutantes que requieren como nutrientes solamente sales minerales y glucosa y producen el isómero D(-) con purezas superiores al 98% (Zhou et al,2003; Nikkila et al,2000; Ho et al 1997; Ho et al a,1997).

Aislamiento de bacterias productoras de ácido láctico D(-).
A la muestra se le realizó el procedimiento de aislamiento de las bacterias productoras de ácido láctico, obteniéndose 68 posibles colonias. Estas colonias fueron sembradas en medio MSC y fueron incubadas a 40, durante 48h. Solamente de las 68 colonias sembradas, 27 presentaron turbidez, y 4 produjeron ácido láctico con una pureza estereoespecífica superior al 95% de D(-). Se seleccionaron dos cepas (codificadas como 10.7 y 10.9) para proseguir el trabajo de producción del ácido láctico.

b. Caracterización de las cepas productoras de ácido láctico D(-).
Se observa que la cepa 10.7 tiene una lenta producción de AL con concentraciones inferiores a los 30 g/L a las 24 horas de fermentación. Este comportamiento debe corresponder a un lento crecimiento con una fase

lag larga considerando que la fermentación láctica es asociada al crecimiento. Sin embargo, una vez que logra la adaptación al medio la producción de AL D(-) de la 10.7 es superior al de la cepa 10.9.
La producción de AL comienza a ser significativa posterior a la hora 48. En ambos casos el tiempo de fermentación de 72 horas no fue suficiente para culminar las potencialidades productivas de la cepa, por lo que se decidió prolongar la fermentación en posteriores estudios.
De los datos cinéticos se obtuvieron los parámetros fermentativos para ambas cepas que muestra la tabla 2.

Tabla II. Parámetros fermentativos a 40^0C y pH 6 de las cepas autóctonas 10.7 y 10.9.

	%D(-)	P (g/L)	$Y_{X/S}$	$Y_{P/S}$	Perfil fermentativo
10.7	100.0	1.65	0.15	0.82	homofermentativo
10.9	97.0	0.93	0.21	0.70	homofermentativo

La comparación productiva de ambas cepas hicieron seleccionar la 10.7 para los estudios posteriores al presentar mayor productividad y rendimientos, concentraciones de ácido láctico superiores a 80 g/L y 100% de D(-) y un perfil homofermentativo.

El mayor agotamiento de los azúcares en la fermentación, la alta concentración de AL en el caldo fermentado, la pureza en la estereoespecificidad y el perfil homofermentativo implican procesos de separación y purificación del AL más sencillos y rentables.

Estudios de caracterización de cepas en cuanto a la influencia de la fuente de nitrógeno y a la concentración inicial de azúcares.

La cepa 10.7 no mostró diferencias a las concentraciones en el extracto de levadura en el medio MSC para la producción de ácido láctico, por lo cual es adecuado trabajar 6 g/L de extracto de levadura por 5 g/L de peptona como lo indica el medio de estudio. Se pudo observar que una disminución de la concentración de sustratos nitrogenados (en el medio de MSC) influye de manera importante en la productividad de la cepa 10.7, confirmándose los mejores resultados cuando se diseña el medio con 6 g/L de extracto de levadura y 5 g/L de peptona.

En este trabajo se demostró que no existía afectación en la esteroespecificidad del isómero de ácido láctico con la cepa 10.7 cuando hay variación en la naturaleza y concentración de la fuente nitrogenada en el rango de estudio. Se observó que puede trabajarse a cualquiera de las 3 concentraciones sin obtenerse diferencias significativas ni ocurrir inhibición en la producción de ácido láctico por elevadas concentraciones de azúcar (mayor de 150g/L).

Según la reacción estequiométrica, analizándola desde el punto de vista de masa por cada 100 g de sacarosa se puede formar 105 g de AL, para un relación de 1,05. Considerando esta relación, los rendimientos $Y_{P/S}$ fueron mayores (cercanos al rendimiento teórico) a concentraciones de 100 y 150 g/L.

La cinética determinó tiempos finales de producción a las 120 h. Tiempos superiores no incrementan la producción por lo que afectan la productividad del sistema.

Varios autores (Hongo et al ,1986); han trabajado en sistemas en continuos con reactores de membranas o electrodiálisis con el objetivo de disminuir los efectos de inhibición por producto, logrando concentraciones en el orden de los 85 g/L y productividades de 20 g/Lh. Aunque no se hizo ningún ensayo específico para mostrar características acidófilas de la cepa, tampoco se observó afectación en la producción por la presencia de altas concentraciones de AL en el medio. Esto puede ser debido a la presencia de $CaCO_3$ que ejerce un

efecto tampón en el medio o a características propias de la cepa que no presente una considerable inhibición por producto. Es necesario realizar estudios posteriores para definir este aspecto.

c. Influencia de la temperatura sobre la cinética de producción de ácido láctico D (-) en fermentadores de 5 L.

El efecto de la influencia de la temperatura es mostrado en la tabla 3.

Tabla III. Influencia de la temperatura sobre la cinética de producción de ácido láctico D (-) en fermentadores de 5 L.

	37°C	40°C	43°C	46°C
Productividad media (g/Lh)	3,12	3,21	3,48	2,76
Velocidad específica de crecimiento maxima (h^{-1})	0,16	0,14	0,15	0,10

Los resultados mostraron que a 46 °C ocurren las menores velocidades específicas de crecimiento máximas y productividad media de producción de AL lo que muestra que la cepa comienza inhibir su crecimiento a esa temperatura. Entre 37 y 43 °C no se observan diferencias en cuanto a la velocidad específica de crecimiento, sin embargo, la comparación de los resultados en relación con los valores de productividad media, indican mejores valores a 43 °C. Lo que permite concluir que la cepa 10.7 tiene su mejor temperatura de trabajo a los 43^0C.

Las características termófilas moderadas de esta cepa y la alta concentración inicial de sacarosa que permite la producción de AL sin inhibición junto a los resultados positivos en cuanto a características fermentativas obtenidas y alta concentración de ácido láctico en el medio, la hacen una buena candidata a cepa industrial permitiendo altas concentraciones de lactato de calcio en el medio antes de que ocurran afectaciones por la presencia de precipitado.

d. Estudios de optimización del medio de cultivo para la producción de AL D(-) con la cepa 10.7 .

La posibilidad de uso del hidrolizado de levadura es un resultado muy positivo, pues permite su empleo como fuente de nitrógeno industrial, sustituyendo al extracto de levadura y la peptona a la misma concentración de nitrógeno total.

En fermentadores se realizó el estudio de las variantes que se presentan en la tabla 4 con el objetivo de disminuir el costo de producción por la sustitución de la sacarosa como fuente de carbono y utilizando hidrolizado de levadura como fuente de nitrógeno orgánico más económico y disponible.

Se siguió la cinética de fermentación determinando concentración de AL, y estereoespecificidad a la muestra final. Se realizó la comparación de los resultados considerando concentración final de AL, g/L y productividad máxima, g/Lh.

Tabla IV. Estudio de optimización de medio en fermentadores Marubishi, MDL-500 y MD 300.

Variante	**Medio**	Conc. final AL, g/L	Productividad máx, g/Lh	Esteroespecificidad, %
1	MSC con sacarosa 150 g/L	68,9	1,373	100
2	Guarapo, 150 g/L + sales de MSC	42,3	0,846	100
3	Guarapo 150 g/L	59,9	1,09	100
4	MSC con Guarapo 150 g/L	85,0	1,277	100
5	Guarapo 150 g/L + Hidrolizado de levadura 11 g/L + sales de MSC	93,4	1,542	100

De esta experiencia pueden ser numerados los siguientes resultados:

1. El empleo del guarapo como fuente de carbono es factible para la producción de ácido láctico, incrementando la producción en un 25% por encima del patrón sacarosa. (variante 4/1). Este sustrato no incorporó color al medio de fermentación por lo que no se esperan afectaciones por esta sustitución en el proceso de purificación.

2. El uso del guarapo como único componente del medio y peor aún con la adición de sales del medio MSC afectó la producción de AL por lo que se demuestra la necesidad de la adición de la fuente de nitrógeno orgánico, (variante 3 y 2).

3. El hidrolizado de levadura es un sustrato efectivo en la producción industrial de ácido láctico al lograr duplicar la producción cuando se incorpora con el medio guarapo (variante 5/2).

4. La mejor variante de estudio resultó la 5 que integra la sustitución de la sacarosa por guarapo y del extracto de levadura y la peptona por hidrolizado de extracto de levadura. Con esta variante se incrementó la producción de AL en 35 %, (variante 5/1). El medio de la variante 5 será referido como medio GLS.

e. Síntesis del PLA por métodos no convencionales.
La reacción se realizó por mezcla directa de los monómeros sin la participación de disolventes teniendo en cuenta que el TDI es soluble en solución concentrada del ácido láctico. La temperatura de 40^{o}C es necesaria pues a valores menores la reacción ocurre de manera mucho más lenta.
El término de la reacción se verificó con la aparición de un sólido cristalino casi incoloro que al ser caracterizado por FTIR y RMN muestra señales que indican la presencia de los NH uretanos, aromáticos, metilos y CH, así como señales de los grupos –OCONH, característicos de los poliuretanos, Tabla 5.

Tabla V Asignaciones de las señales características de los grupos uretano y señales correspondientes a la unidad de ácido láctico.

Técnica	-NH	-OCONH	Ar-	-CH_3	-CH
FTIR (cm^{-1})	3273	1200-1265	2990	1375	-
RMN-^{1}H	4.59	-	7.09-9.05	1.25-1.44	4.09
RMN-^{13}C	-	176.83*	125.36-152.59	16.74 20.29	68.52 66.09

* grupo carbonilo de uretano.

Las propiedades cristalinas observadas en este producto pueden ser atribuidas a la configuración molecular inducida por la presencia del grupo uretano acompañada de las fuertes asociaciones intermoleculares producidas por la introducción del grupo NH en la estructura de las macromoléculas, lo cuál facilita un empaquetamiento efectivo similar al observado para el caso de las poliamidas que también contienen en su arquitectura el mismo grupo.

Policondensación de LA por Irradiación Ultrasónica.

La aplicación del método ultrasónico estuvo encaminada a reducir los tiempos de reacción, alcanzando buenos rendimientos del producto final. Con el objetivo de obtener materiales policondensados se empleo LA a partir de condiciones de reacción menos drásticas y se tomaron en consideración las propiedades activantes de la diisopropilcarbodimida (DIC). Este reactivo es comúnmente utilizado en reacciones de esterificación y posee además la ventaja de eliminar agua a partir de su transformación en diisopropilurea. La reacción se llevó a cabo en un equipo Dean-Stark utilizando benceno seco el cual, forma una mezcla azeotrópica binaria con el agua, de bajo punto de ebullición que destila alrededor de 69.25^{o} C y el benceno puro a 80^{o}C.
Se añadió a la solución de LA trietilamina para favorecer la reacción posterior entre la DIC con el grupo carboxilo del láctico sin la cual no se produce la activación de este. Una vez concluida la adición, se continuó el calentamiento hasta alcanzar 80^{o}C y se mantuvo el reflujo durante 8 horas. El producto obtenido fue un sólido cristalino de color blanco, que finalmente se separó de la solución madre mediante filtración a vacío.
Este material fue caracterizado por técnicas espectroscópicas de RMN ^{1}H y ^{13}C. Las señales asignadas se se aprecia en la Tabla 6 muestran la presencia de grupos característicos de las unidades de lactato como son –CH, -CH_3 y los grupos –COOR observados en RMN^{13}C en la zona correspondiente a los 169.85 ppm, esta última es de gran importancia pues permite estimar la formación del grupo éster del poli- lactato.

Tabla VI. Asignaciones características por RMN de la unidad lactato.

Técnica	CH_3 [a]	CH_3 [b]	- CH [a]	-CH [b]	-COO
RMN-^{1}H	1.02	1.15	3.85	4.75	-
RMN-^{13}C	22.52	23.40	40.73	43.73	169.85

a Unidad 2- hidroxil terminal
b Unidad lactato

Es necesario señalar que a pesar de no haber sido completada la caracterización espectroscópica de este producto utilizando FTIR, los resultados obtenidos por RMN, permitieron constatar la efectividad del diseño de síntesis planteada en la obtención del polilactato.

CONCLUSIONES

1. Se demostró que los sustratos azucareros son fuente de bacterias lácticas D(-).

2. Se logró el aislamiento y purificación de cepas productoras de AL D(-) con potencialidades industriales y comportamiento fermentativo superior al de cepas de colección. Este resultado constituye un aporte científico del trabajo.

3. Se seleccionó la cepa 10.7 como cepa con potencialidades industriales para la producción de AL D(-), con pureza del isómero 100 % y perfil homofermentativo.

4. Se determinó concentraciones de AL D(-) superiores a 100 g/L y productividades por encima de 3 g/Lh cuando se trabajó entre 100-150 g/L de ART iniciales.

5. La cepa 10.7 es fuertemente dependiente de la concentración de nitrógeno orgánico para la producción de AL, no así de su pureza. No presentó inhibición por sustrato cuando la concentración de azúcares iniciales es de hasta 200 g/L.

6. Se diseñó un medio industrial de producción de menor costo que sustituye a la sacarosa por guarapo y al extracto de levadura y la peptona por el hidrolizado de levadura y que a su vez incrementa la productividad en un 35 %.

7. Se lograron condiciones de síntesis de reacción de PLA menos drásticas que las reportadas por algunos autores. La caracterización por RMN reflejó la aparición de grupos característicos de las unidades de lactato y la formación del grupo éster del poli- lactato.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ho, Kai-Lai, G., Anthony, L., Hinz, P. N., and Demirci, A. (1997) *Applied and Environmental Microbiology* 63: 2524-2532.

Ho, Kai-Lai, G., Anthony, L., Hinz, P. N., Dickson, S.J, and Demirci, A. (1997) *Applied and Environmental Microbiology* 63: 2516-2523.

Hongo, M., Nomura Y., and Iwahara, M. (1986) *Applied and Environmental Microbiology* 52: 314-319.
J. M Bruno-Barcena. A. A. Ragout (1999) *Applied Microbiologycal biotechnology*, 51: 316-324.
Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry 38: 1673-1679

Kyla-Nikkila, K., Hujanen, M., Leisola, M., and Palva, A. (2000) *Applied and Environmental Microbiology* 66: 3835-3841.

Sung IL Moon, Chan Woo Lee, Masatoshi Miyamoto, Yoshiharu Kimura. (2000)

Zhou, S., Causey, T. B., Hasona, A., Shanmugam, K. T., and Ingram, L. O. (2003) *Appl. Environ. Microbiol*, 69: 2237-2244.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPRODUCTOS EN CUBA 10

Autores: Ana Nelis San Juan[1], Angela O. Díaz, Irene Reyes, Sidarma Hernández, Yoel Hernández, Dayami Borges.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana CP 11000, Cuba
E-mail: dirc10@enet.cu

[1] Autor para la correspondencia

RESUMEN

El amplio desarrollo de diversas tecnologías para la obtención de bioproductos conlleva a que estos procesos productivos sean sometidos a fuertes controles de acuerdo a las tendencias actuales, que permitan demostrar seguridad y confiabilidad en los mismos ya que influyen en la seguridad del medio ambiente y en la salud del hombre.
La dirección Cuba 10 y Biotecnología del ICIDCA han desarrollado proyectos de investigación dirigidos a la obtención de biopreparados de origen microbial. En las plantas de Cuba 10 se han podido desarrollar los estudios de ingenierización de los diferentes procesos biotecnológicos para la obtención de: PROBICID, GLUTICID, VERTICID y NEMACID. Teniendo en cuenta, las limitaciones que existen para el registro de los productos microbianos, así como también incrementar el nivel de excelencia en la producción de bioproductos en el MINAZ se procedió a la implementación de un Sistema de Gestión de la Calidad en la Dirección Cuba 10, basado en las normas cubana NC ISO/IEC 9001:01, que respalde las producciones biológicas, permitiendo obtener productos de formas seguras y eficientes. EL SGC tiene identificados los procesos estratégicos, claves y de apoyo, así como la interrelación entre ellos. Se han establecidos el 100 % de la documentación necesaria para las producciones y servicios biotecnológicos en plantas y laboratorios y se estableció un sistema de metrología que garantiza la calibración y/o verificación de los equipos, en la actualidad se ha capacitado el 95 % de los trabajadores y se encuentra apto para el uso el 99% de los equipos involucrados en las producciones biológicas.

Palabras clave: Bioproductos, calidad, mejora, planta Cuba 10

ABSTRACT

The great development of technologies for bio-products obtaining gives as a result that productive processes must be submitted to deep controls according to the present-day tendencies, which prove there certainty and reliability since they influence on the environmental safety and human health.
Some research projects have been developed by Cuba 10 direction and the ICIDCA Biotechnology department in order to obtain bio-products from microorganisms. Engineering studies of the different biotechnological processes has been carried out at Cuba 10 plants for the obtaining of: PROBICID, GLUTICID, VERTICID and NEMACID. A System for Quality Management was implemented in Cuba-10, based in Cuban standards NC ISO/IEC 9001:01, taking into account the limitations for registering microbial products as well as in order to increase the excellence level of MINAZ bio-products production

.This system may support the biological productions in order to use safe and efficient ways for obtaining products. The strategic, keys and support processes of The System for Quality Management have been identified, as well as the interrelation between themselves. The 100 % of the necessary documentation for biotechnological productions and services at plants and laboratories have been established as well as a metrology system that guarantees the calibration and verification of the equipment. The 95 % of workers has been capacitated at the present day and the 99 % of the equipment involved in biological productions are apt for use.

Key words: Bio.-products, quality, improvement, Cuba 10 plants

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de diversas técnicas de gestión de calidad y su introducción en los diferentes sistemas productivos ha sido un largo proceso que viene teniendo lugar desde principios del siglo XX hasta la actualidad. La calidad se ha convertido en el mundo globalizado de hoy, en una necesidad insoslayable para permanecer en el mercado. Por ello los sistemas de gestión de la calidad han cobrado una gran importancia y muchas organizaciones se han decidido a tomar el camino de implantarlos. OMS (2003) (Fernández (2006).

El acelerado ritmo del desarrollo tecnológico y la globalización del mercado a nivel mundial, han hecho que todas las instituciones de la sociedad vean la innovación tecnológica y la calidad como factores clave para mantener su competitividad.

En este amplio marco, los Sistemas de Gestión de la calidad (SGC) desempeñan un importante papel, siendo aplicables a cualquier esfera de la vida social, tanto en la producción de productos tangibles, como en la investigación y los servicios. ONN (2001)

La creciente necesidad de reducir el uso de agroquímicos para el control fitosanitario, debido a todos los problemas de generación de resistencia en las plagas hacia los productos, así como los perjuicios provocados por la fabricación y uso de los plaguicidas, tanto por la contaminación en el ambiente como por los riesgos para la salud humana; ha desencadenado el desarrollo de tecnologías que permitan de forma fácil, económica y efectiva obtener productos a partir de microorganismos con calidad y en cantidades suficientes para su aplicación masiva en las áreas de cultivo. Crespo (2000), Fernández–Larrea (2002).

El Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, fundamentalmente, La Dirección Cuba 10, y La Dirección de Biotecnología, han desarrollado proyectos de investigación, dirigidos a la obtención de productos de origen microbial. Las Plantas de Cuba 10, por su versatilidad y escala única de su tipo existente en el MINAZ en la rama de la biotecnología industrial, ha permitido el desarrollo de estas tecnologías, desarrollando los estudios de ingenierización de los diferentes procesos biotecnológicos para la obtención de: PROBICID, GLUTICID, VERTICID y NEMACID, que actualmente forman parte de la cartera de productos del Instituto.

Teniendo en cuenta, las limitaciones que existen para el registro de los productos microbianos, debido fundamentalmente a problemas con la consistencia de las tecnologías productivas y de productos de mala calidad, Jenkins (2000), según experiencias de otras industrias, estos pueden ser solucionados con la implantación de un Sistema de Gestión de la Calidad y el establecimiento de buenas prácticas de producción.

Es por ello que se diseñó un Sistema de Gestión de la Calidad para la producción de bioproductos en la planta piloto de Cuba 10, basado en la norma cubana NC-ISO/IEC 9001:01, con el alcance de ofrecer producciones biotecnológicas y servicios científicos técnicos de forma segura y eficaz.

DESARROLLO.

La planta de Cuba 10 ha trabajado en la implementación de tecnologías que permiten la producción masiva de microorganismos en condiciones industriales o semi-industriales, con una mayor productividad del sistema, así como un control adecuado de los parámetros de calidad, que lo hagan competitivos con los productos comerciales

Debido a que esta planta opera de forma flexible, el sistema implantado propone una planificación de producción por campañas, de forma tal que no ocurran interferencias entre los bioproductos. La planificación de producción se realiza de acuerdo a productos involucrados con proyectos de investigación en ejecución, así como por solicitudes de producciones demostrativas por responsables de productos y/o de la Dirección de Instituto de acuerdo a prioridades por demandas.

Diseño del Sistema de Gestión de la Calidad

Para facilitar el diseño, se realizó una división del proceso por etapas las cuales son definidas por el desarrollo de Inóculos, producción, recobrado, secado, formulación del producto final y almacenamiento. En cada una de las etapas se establecieron los puntos de control, sus características, la forma de realizar el muestreo, el tratamiento de los productos no conformes y las acciones correctivas, también se diseñó el modelaje necesario para recopilar toda la información que aportan los puntos de control establecidos y determinando el responsable de obtener la información y tomar las acciones correctivas.

Los procesos de producciones biológicas en Cuba 10 siguen el flujo tecnológico mostrado en la figura 1, donde se observan los puntos de controles que permiten verificar, validar y dar seguimiento a las producciones.

En el desarrollo del sistema de calidad se obtuvo como resultado que durante la ejecución se debían establecer 9 puntos de control, especificamente los que inciden de forma muy significativamente en la calidad de los productos microbianos, respondiendo a los tres tipo de control que fueron establecido por el Grupo Activo de Control de Calidad de la Organización Internacional de Productos Biológico, los cuales fueron:

1. Control de la producción: seguimiento de la ejecución de todas las operaciones, procedimientos, equipos y condiciones ambientales de producción con el objetivo de mantener el rendimiento.
2. Control de proceso: seguimiento de la calidad del producto no terminado, como la detección de contaminantes.
3. Control del producto: seguimiento de la calidad del producto final.

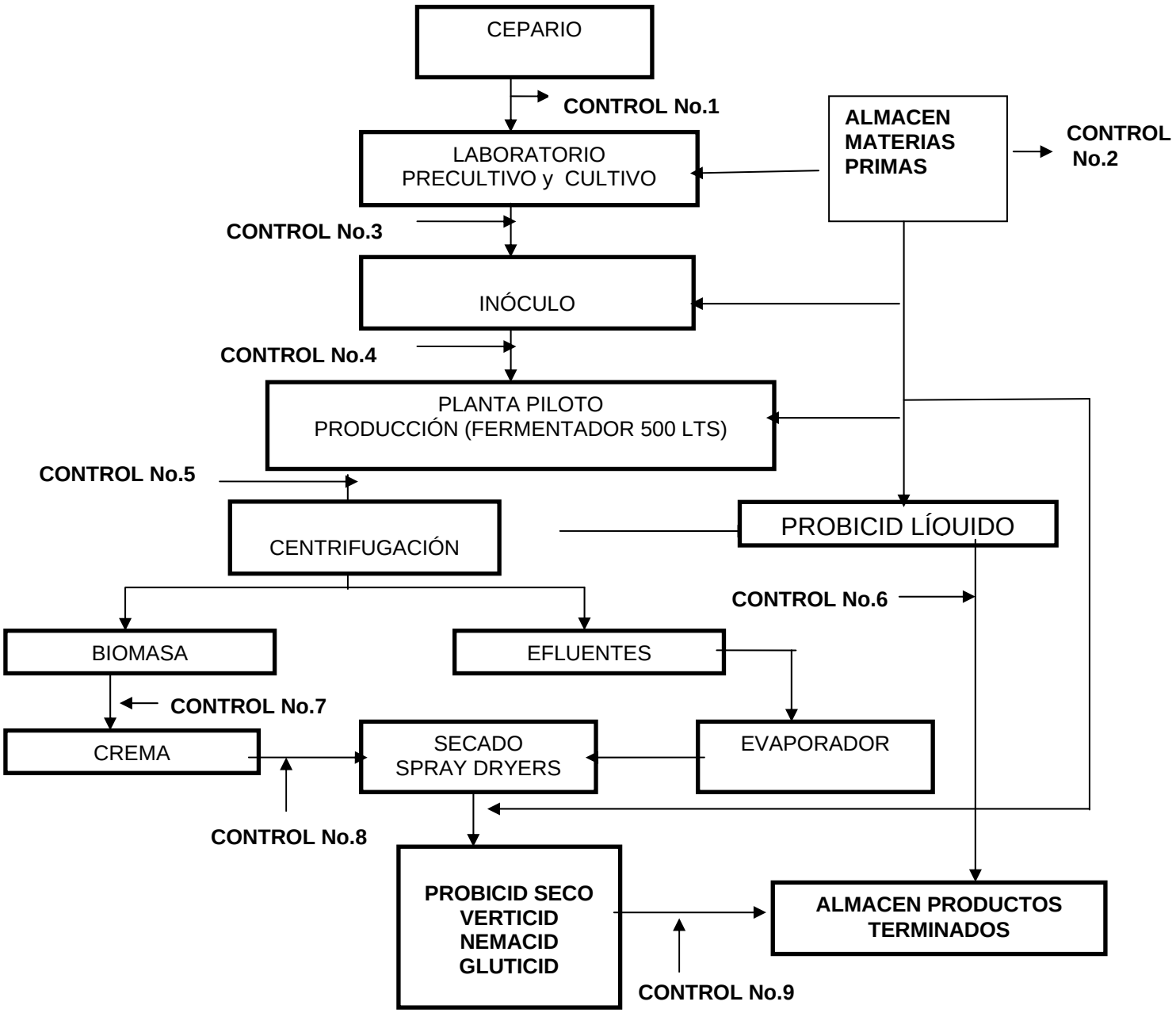


Figura 1. Diagrama del Flujo tecnológico con los puntos de control establecidos en las producciones biotecnológicas en Cuba 10.

Los Procedimientos Normalizados de Operación para la producción de cada bioproducto, PROBICID, GLUTICID, VERTICD y NEMACID, establecidos en la planta piloto exponen los requisitos de calidad correspondiente a los procesos involucrados, los recursos necesarios y las especificaciones del producto final, así como también referencia a los documentos que intervienen en dicho proceso.

Breve descripción del Control de calidad en la producción de bioproductos

El control de calidad comienza con la cepa e incluye las cepas de mantenimiento y la de producción. Para ambas hay que establecer métodos de conservación y mantenimiento. En el primer caso, es necesario garantizar la estabilidad por tiempos prolongados y entre los métodos más usados están la liofilización, suelo estéril y agar semisólido. En las cepas de producción se deben evitar los pases o reactivación sucesiva porque

se puede perder la virulencia. El control de la pureza y la actividad biológica de las cepas debe realizarse con la frecuencia necesaria para garantizar que se mantenga las condiciones iniciales.

La preparación del inoculo es uno de los pasos más importantes y su pureza debe corroborarse así como, la concentración de células/ml y la viabilidad. Antes de la inoculación de los medios de cultivos, deben verificarse las condiciones de esterilidad, no sólo mediante observación visual, o al microscopio, sino mediante la siembra de una alicuota en medio nutritivo. Durante el proceso, se establece un programa de muestreos. Las muestras se le realizan los análisis químicos y microbiológicos establecidos para determinar la calidad. En caso de que se determina que no cumple los parámetros establecidos, se detiene la producción, lo cual evita perdidas mayores.

No en todos los casos se dispone de materias primas certificadas, por lo cual cada nuevo lote debe ser sometido a un análisis físico y químico. Además durante el almacenamiento debe considerarse la temperatura, las condiciones y el tiempo en que pueden ser almacenadas las materias primas sin detrimento de su calidad. Cada tipo de producción debe seguir normas y regulaciones que garanticen la calidad de procesos y productos. En estas normas se exponen los parámetros considerados para la calidad, así como las medidas a tomar cuando no se cumplen las mismas.

En la producción comercial de biproductos en dependencia del mecanismo de acción biológica se establecen los criterios de calidad correspondientes.

Estructura del Sistema de Gestión de la Calidad de Cuba 10

La Dirección de Cuba 10 ha designado un representante del consejo de dirección que tiene la responsabilidad ante la dirección de dirigir los trabajos de implementación y posterior funcionamiento del sistema, se creó además, un grupo gestor precedido por un especialista el cual ejercerá la dirección técnica del sistema que está directamente subordinado al miembro del consejo designado, el grupo gestor lo conforman un representante de cada área, que tiene como responsabilidad la implantación del sistema y su funcionamiento en cada una de las áreas que representan.

Cuba 10, trabaja por la satisfacción constante de las necesidades de todos sus clientes, así como por el cumplimiento de la legislación aplicable a todas sus actividades.

Para cumplir con este compromiso la Dirección ha declarado su Política de la Calidad, la cual es del dominio de todos sus trabajadores y está a disposición de todas las partes interesadas externas, establece los objetivos de la calidad, asegura la disponibilidad de los recursos, controla y revisa sistemáticamente la eficacia del Sistema de Gestión de la Calidad, la satisfacción del cliente y el desempeño de los procesos.

Cuba 10 se encuentra adscripta directamente a la dirección de Investigación y Desarrollo en la estructura del ICIDCA, cuenta en su estructura interna con dos departamentos. En la figura 2 se muestra la estructura interna de Cuba 10.

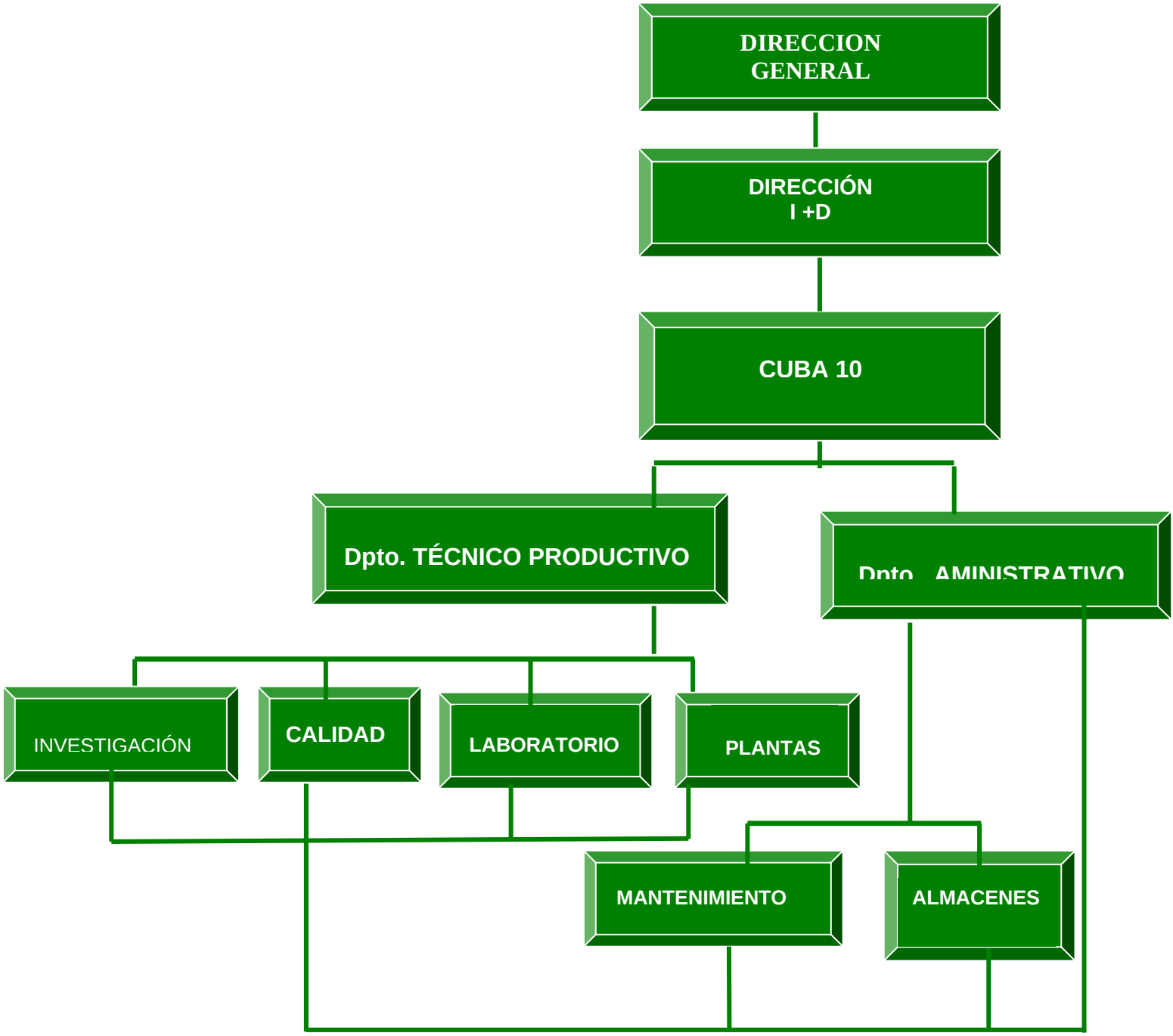


Figura 2. Estructura interna de Cuba 10.

Un aspecto de vital importancia dentro del SGC es la identificación de procesos su clasificación y la interacción entre los mismos, en Cuba 10 se determinaron los procesos estratégicos, los procesos claves y los procesos de apoyo, y la interrelación entre ellos según se muestra en la figura 1. A todos los procesos se le aplicó el ciclo PHCA, como metodología para la mejora continua

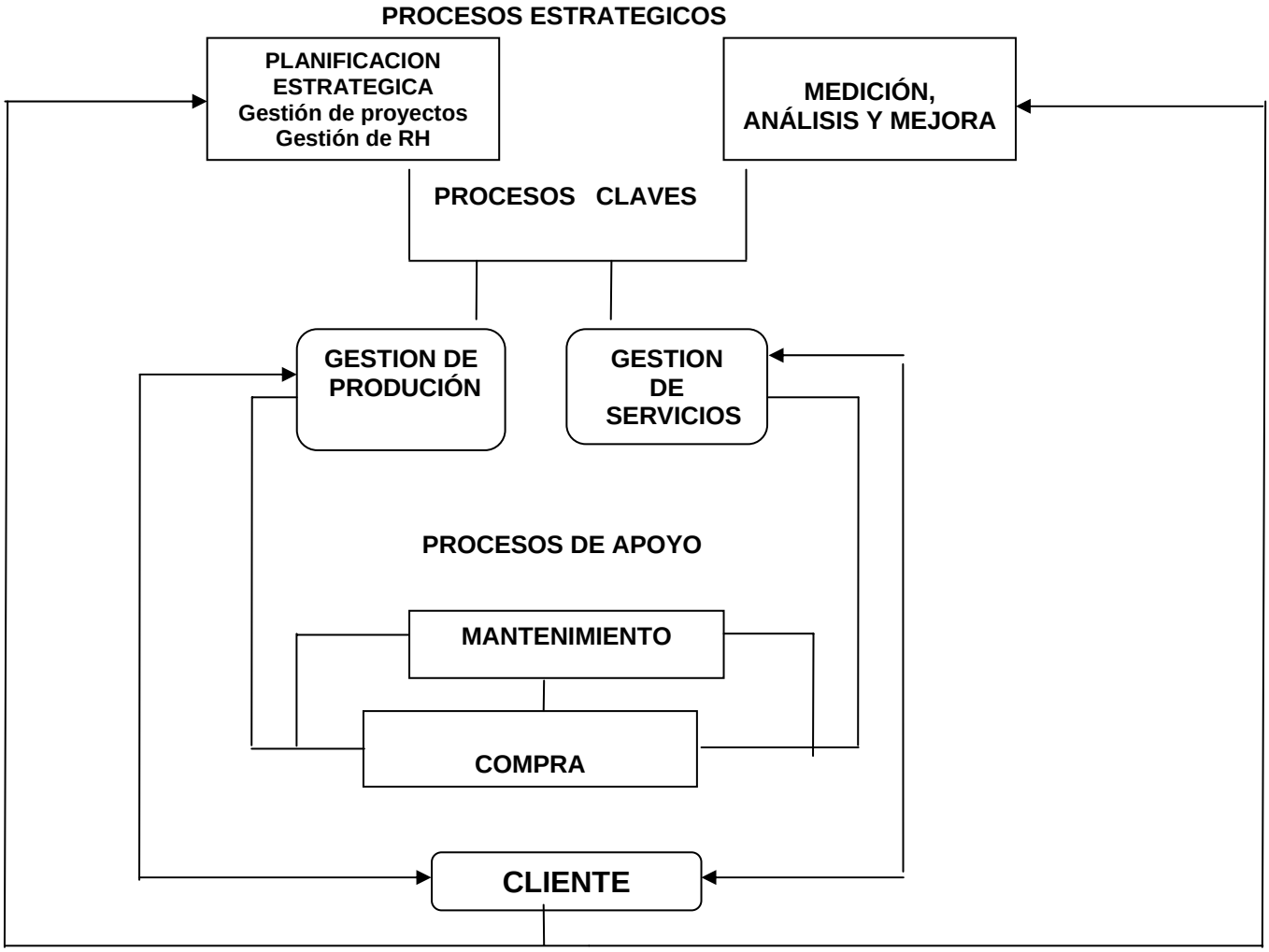


Figura 3. Mapa de procesos Cuba 10

Sistema de Documentación

El sistema de documentación es un requisito indispensable del sistema de gestión de la calidad ya que el mismo es el que permite proveer la información adecuada, proporcionar evidencias objetivas, gestionar correctamente la trazabilidad de muestras, productos y actividades de investigación y evaluar la eficacia y la idoneidad continuas del SGC.
La estructura documental del sistema está en correspondencia con el requisito 4.2 de la Norma NC ISO/IEC 9001:01 y está formada por:

1 Política de calidad
2 Objetivos de calidad
3 Manual de Calidad
4 Procedimientos de productos y servicios
5 Procedimientos generales
6 Instrucciones
7 Registros

En el esquema siguiente se presenta el sistema de documentación diseñado para el SGC para producciones biológicas en la planta de Cuba 10.

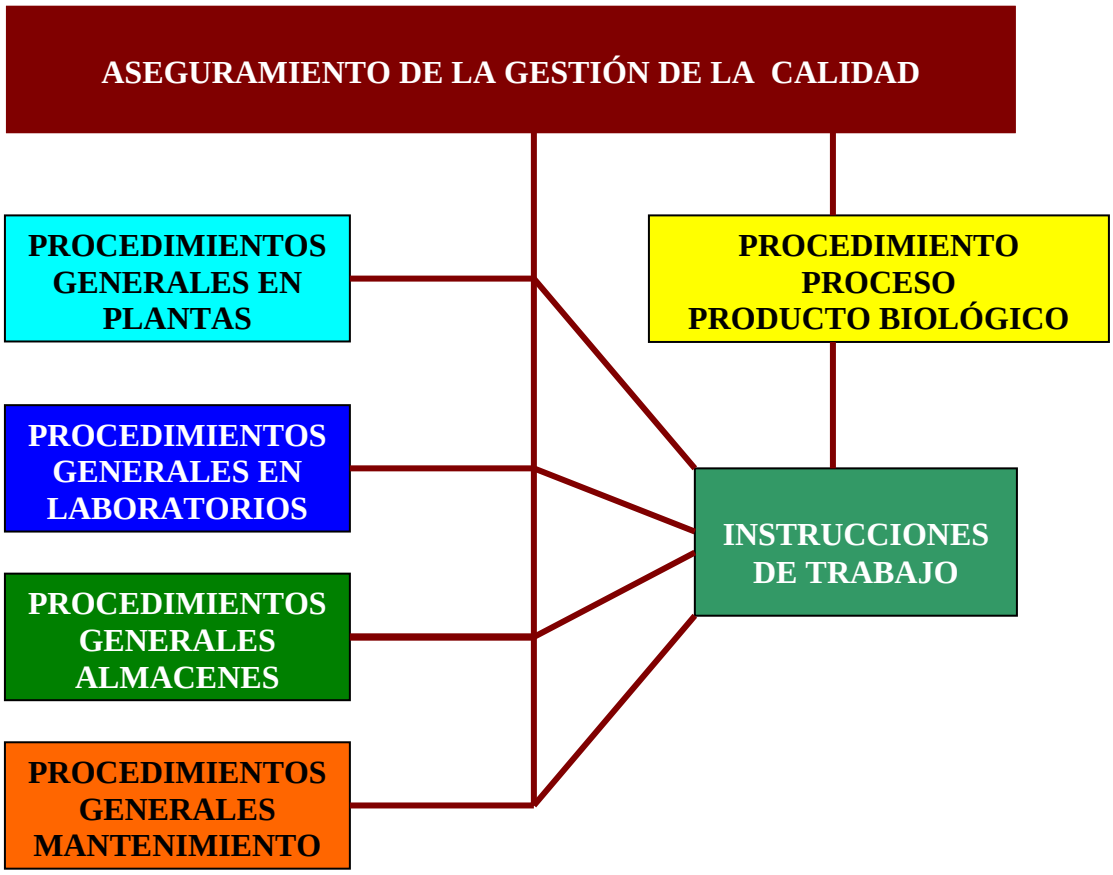
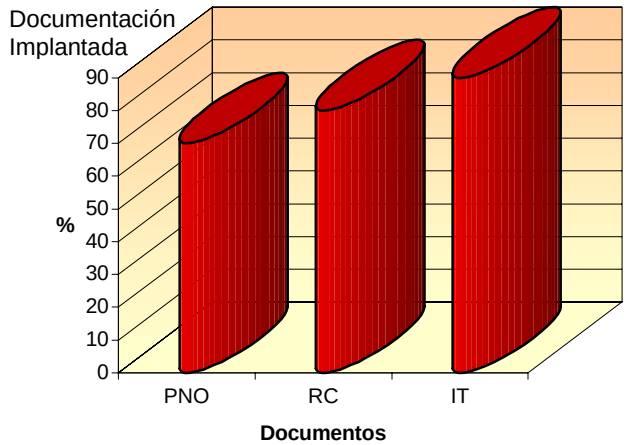


Figura 4. Representación gráfica de la documentación del SGC de Cuba 10.

En figura 3 se refleja el desarrollo de la documentación alcanzado en Cuba 10. De la documentación total implantada el 70% corresponde a Procedimientos Normalizados de Operación, el 80 % a Registros de Control y el 90% a Instrucciones de Trabajo, lo cual evidencia la implementación de la documentación dentro del sistema



PNO: procedimientos normalizados de operación

RC: Registros de Control

IT: Instrucciones de trabajo

Figura 5. Distribución de la documentación Implementada del SGC en Cuba 10.

Capacitación

Se ha trabajado rigurosamente en la capacitación del personal de las diferentes áreas del centro: plantas, laboratorios, mantenimiento, administración e investigación, en la actualidad se cuenta con el 95% de los trabajadores capacitado en los conceptos básicos relacionados con el Sistema de Gestión de la Calidad y el grupo gestor que atiende directamente la calidad ha recibido cursos de postgrados tanto internos como externos, el comportamiento se muestra en la tabla I.

Tabla I. Comportamiento de la capacitación dentro del SGC Cuba 10

Cursos	Internos	Externos	Total participantes
Sistema de Gestión de la Calidad.	Cuba 10	__	38
Mejora continua de la calidad.	___	ININ	3
Conferencia de calidad.	Cuba 10	___	40
Documentación del Sistema de Calidad.	___	ININ	2
Curso de auditoria Interna	___	ICIDCA	3

Sistema ce calibración y/o verificación del equipamiento para producciones y servicios de Cuba 10.

El equipamiento disponible para las producciones biológicas y servicios científico técnico se encuentra calibrado y certificado, para lo cual se desarrolla un plan de aseguramiento metrológico. Además se ha realizado una estrategia de recambio del equipamiento para obtener mejores resultados. Las ofertas y contratos de los centros rectores encargados de prestar estos servicios se encuentra actualizada.

Se realizó un plan de calibración general donde aparecen todos los equipos que participan en las producciones y servicios biotecnológicos. El trabajo fue conformado por las diferentes magnitudes establecidas:

1 Presión
2 Temperatura
3 Dimensionales
4 Físico Químico
5 Masa
6 Tiempo
7 Cinemática (Tacómetros)
8 Electricidad

Cada equipo tiene un registro donde aparecen cada una de las visitas realizadas por los técnicos encargados de la calibración y/o verificación del INIMET.

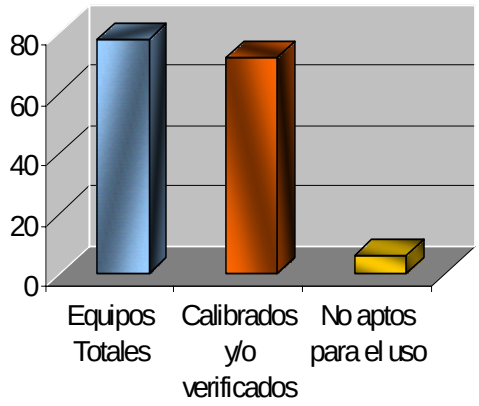


Figura 6. Estado actual del equipamiento involucrado en las producciones y servicios biotecnológicos de Cuba 10.

El plan de calibración y/o verificación se encuentra actualmente a un 92. 3 % del cumplimiento, lográndose obtener un ritmo acelerado para el primer semestre del año, es importante resaltar además, que a pesar de existir en las plantas de Cuba 10 obsolescencia en el equipamiento solo el 7.6 % de todo el equipamiento se encuentra no aptos para su uso, lo cual se considera despreciable.

Satisfacción del cliente

El principal propósito de Cuba 10 es satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes. Por tal motivo toda la actividad se centra en el logro constante de productos de calidad satisfactoria para ellos.

La satisfacción al cliente se realiza mediante retroalimentación que se ha logrado con el desarrollo del trabajo y a través de encuestas, donde se han evaluado diferentes indicadores, los resultados obtenidos han permitido el mejoramiento continuo del sistema. En la figura se muestra el análisis de la evaluación a los clientes

Los indicadores evaluados por los clientes fueron los siguientes:

1 Calidad Técnica de la producción y/o el servicio
2 Cumplimiento del tipo de ejecución del servicio
3 Calidad en la presentación de la información
4 Comunicación con el cliente, asesoría y orientación.
5 Limpieza y organización en el trabajo

.

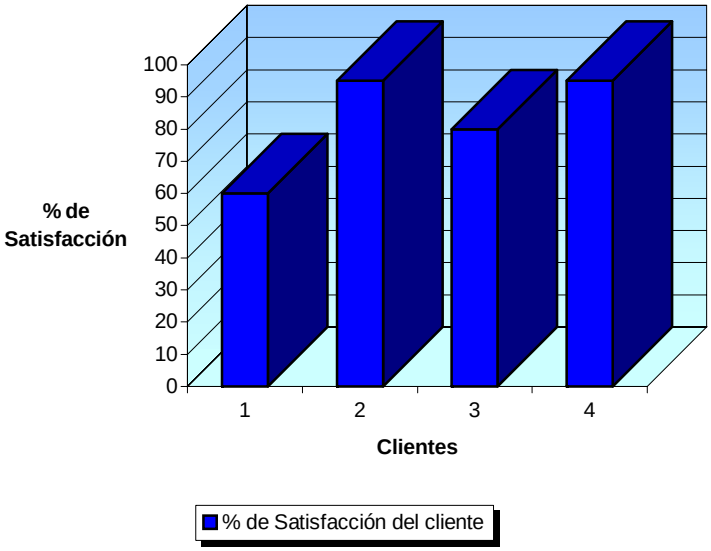


Figura 7. Nivel de satisfacción de las producciones y servicios de Cuba 10

Los aspectos que han determinado la disminución en la evaluación de los clientes han sido analizados y se han tomado las acciones correctivas para solucionarlo.

Auditoria

El Aseguramiento de la Calidad, para ser efectivo, requiere una evaluación continua de los factores que afectan a la calidad y de auditorias periódicas, en Cuba 10 se ha realizado una auditoria interna, la cual se realizó con el alcance de verificar la implantación del sistema de gestión de la calidad y su conformidad con la norma NC-ISO/IEC 9001:01 "Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos", donde se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Implantación del sistema de la calidad: El sistema de la calidad se encuentra implantado, aunque requiere mejora del mismo.
2. Dominio del sistema de la Calidad por el personal de laboratorio: El personal domina el sistema de la calidad
3. Cantidad de personal entrevistados: 5 personas
4. Acceso del personal al Manual de la Calidad y al manual de procedimiento: Todo el personal tiene acceso a ambos manuales.

Se realizó el tratamiento a la investigación de las causas que provocaron las No conformidades detectadas por el grupo de calidad y trabajadores involucrados, proponiendo las acciones correctivas correspondientes y el cumplimiento de las mismas.

Como todo proceso de implementación de sistemas de gestión de calidad, la mejora continua es un resultado positivo que reafirma que estos sistemas están siendo implementados satisfactoriamente y que las metas propuestas están siendo cumplidas respondiendo a las políticas trazadas por la organización. Tortosa (2006)

CONCLUSIONES

1. Se implementó un Sistema de Gestión de la Calidad en la Dirección Cuba 10 basado en las Norma Cubana NC ISO/IEC 9001:01, que permite adsorber las producciones de bioproductos.
2. El sistema estableció 9 puntos de control durante el proceso de producción teniendo en cuenta los tipos de control que fueron establecido por el Grupo Activo de Control de Calidad de la Organización Internacional de Productos Biológico.
3. EL Sistema de Gestión de la Calidad en Cuba 10 tiene identificados los procesos estratégicos, los procesos claves y los procesos de apoyo, así como la interrelación entre ellos.
4. Se ha capacitado el 95 % de los trabajadores del centro y el 100 % del Consejo de Dirección.
5. De la documentación del sistema se ha implantado el 100% en laboratorios y plantas.
6. Se cumple anualmente el plan de calibraron y verificaron de los controles de medición correspondientes a diferentes magnitudes de los equipos que participan en los procesos de producción de productos biológicos, quedando de esta forma aptos para su uso.
7. Este sistema se implantó de forma completa para la producción de PROBICID, permitiendo obtener la certificación de esta planta para la producción de este producto por la Oficina Regulatoria de Aditivos Alimentarios del Centro de Higiene de los Alimentos del Instituto de Medicina Veterinaria.
8. Se encuentran implantados los procedimientos normalizados de operación para la producción de GLUTICID, VERTICID y NEMACID.

REFERENCIAS

1. OMS (2003), Buenas prácticas de fabricación de productos farmacéuticos: principios fundamentales. WHO Technical Report Series, No. 908. Annex 4.
2. CNSV (2001a), Plaguicidas microbianos: Registro actual y soluciones a los problemas. Informe de Reunión de Trabajo. Diciembre de 2001. Ciudad de la Habana.
3. CNSV (2001b), Plaguicidas Biológicos (microbianos). Guía para el registro, autorizaciones ambientales y de seguridad biológica, licencias de cuarentena exterior de los plaguicidas biológicos. La Habana.
4. Fernández, A. (2006), Implantación de un sistema de gestión de la calidad Norma ISO 9001:2001. Centro de la Calidad de Asturias/ Instituto de Fomento Regional
5. ONN Oficina Nacional de Normalización. (2001), Norma NC- ISO 9001:2001. Sistemas De Gestión De La Calidad. Requisitos. Publicada ISO 9001-2000), traducción certificada, IDT. Edición 1.
6. Crespo, M.A. (2000), Control Biológico vs Transgénicos. Probioma. Bolivia
7. Fernández–Larrea, O. (2002), Tendencias actuales en el desarrollo, producción y Comercialización de Bioplaguicidas: situación en Cuba. Resumen de la conferencia presentada en el II Congreso Latinoamericano de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Control Biológico. Rev. Protección Vegetal, 17(2): 127.
8. Jenkins, N.E. y Grzywacz, D. (2000), Quality control of fungal and viral biocontrol agents – Assurance of product performance. Biocontrol Science, 10: 753-777.
9. NC ISO 9000 (2000), Sistema de Gestión de la Calidad. Fundamentos y vocabularios. ISO 9000:2000. Norma Cubana
10. NC ISO 9001 (2001), Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos. NC ISO 9001:2001. Norma Cubana. Referencias
11. Tortosa, B. (2006), Relación de la Producción Más Limpia con algunas herramientas de Gestión Tecnológica. Revista Electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. Año 6, No. 10.

PRODUCCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE MIELES FINALES DE CAÑA Y REMOLACHA

Daniel Bello Gil[1], Helmut Brandl[2], Manfred Zinn[3], Miguel A. Otero Rambla[1], Emilia Carrera Bocourt[1], Grisel Ortega[1], Gustavo Saura[1].

[1] División de Biotecnología, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
daniel.bello@icidca.edu.cu (corresponde a autor).
[2] University of Zürich, Institute of Environmental Sciences, Zürich, Switzerland.
[3] Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA), Laboratory for Biomaterials, St. Gallen, Switzerland.

Resumen

Se estudió la producción microbiológica de plásticos biodegradables a partir de fuentes renovables de energía, específicamente a partir de mieles finales de remolacha y de caña de azúcar. Se seleccionaron bacterias productoras de polihidroxialcanoatos (PHAs) mediante métodos histoquímicos con colorantes lipofílicos. Varias cepas acumularon cantidades significativas de este tipo de plástico en su citoplasma (expresado como % de PHAs en relación con el peso seco celular): *Bacillus subtilis* B/23-44-4 (50.6), *Bacillus licheniformis* B/23-26-4 (34.8) y *Bacillus megaterium* (26.8). Se evaluó la producción de Poli-β-hidroxibutirato (PHB) en microcultivo para *Bacillus megaterium* empleando diferentes fuentes de carbono y nitrógeno. Las mieles finales de remolacha y caña de azúcar produjeron los mayores rendimientos en biomasa y producción de PHB. No hubo diferencias significativas en la producción de PHB cuando se estudiaron las diferentes fuentes de nitrógeno. *Bacillus megaterium* acumuló alrededor de un 50% de PHB con relación al peso seco celular cuando se cultivó en frascos (0.5-2 l) que contenían miel final de caña de azúcar o remolacha al 1% p/v (5 g/L ART), extracto de levadura 1g/L y cloruro de sodio 5g/L. La extracción y purificación del PHB con hipoclorito de sodio 5% (v/v) brindó resultados superiores al 95% en cuanto a pureza y recobrado. El biopolímero resultante mostró propiedades físico-químicas como la temperatura de fusión y de transición vítrea y el peso molecular promedio comparables a las reportadas para polímeros de esta naturaleza que se emplean en la actualidad para la producción industrial de filmes biodegradables.

Palabras clave: plásticos biodegradables, mieles, polihidroxialcanoatos, polihidroxibutirato, PHB.

Abstract

It was studied the microbial production of biodegradable plastics from renewable sources of energy, specifically from beet and sugar cane molasses. Producing polyhydroxyalkanoates (PHAs) bacteria were selected through histochemical methods using lipophilic dyes. Several strains accumulated significant amounts of this plastic in their cytoplasms (expressed as % of PHAs/dry cell weight): *Bacillus subtilis* B/23-44-4 (50.6), *Bacillus licheniformis* B/23-26-4 (34.8) and *Bacillus megaterium* (26.8). It was evaluated the production of poly-β-hydroxybutyrate (PHB) by *Bacillus megaterium*, in microculture, using different sources of carbon and nitrogen. Beet and sugar cane molasses produced the highest yields in biomass and

production of PHB. There were not significant differences in the production of PHB when it was evaluated the different sources of nitrogen. *Bacillus megaterium* accumulated around 50% of PHB when it was cultivated in Flask (0.5-1l), containing molasses at 1% w/v (5 g/L ART), yeast extract 1g/L and sodium chloride 5g/L. The extraction and purification of PHB with sodium hypochlorite 5% (v/v) showed results around 95% in terms of purity and recovery. Also the biopolymer showed physico-chemical properties as melting and glass transition temperature, and average molecular weight similar to polymers that are currently used for industrial production of biodegradable films.

Key words: biodegradable plastics, molasses, polyhydroxyalkanoates, polyhydroxybutyrate, PHB.

1. Introducción

Cada vez resultan mayores los esfuerzos legislativos a nivel mundial con el objetivo de potenciar la producción de nuevos materiales no contaminantes del medio ambiente a partir de fuentes renovables de energía. El desarrollo de biomateriales como los plásticos biodegradables abre una posibilidad de reducir los daños medioambientales que causa la continua producción y acumulación, en todo tipo de ecosistemas, de los plásticos producidos a partir de fuentes fósiles de energía.

Dentro de los plásticos biodegradables los Polihidroxialcanoatos (PHAs) son uno de los que mayor actividad investigativa genera en la actualidad. Los PHAs son poliésteres de origen natural que algunos microorganismos acumulan en el citoplasma bajo ciertas y determinadas condiciones de cultivo. Los PHAs presentan altas tasas de biodegradabilidad, son biocompatibles y tienen propiedades físico-mecánicas comparables a las de los plásticos convencionales producidos a partir de petroquímicos (Lee,1996; Sudesh y otros, 2000). Estas características unidas al problema mundial del agotamiento de los combustibles fósiles (CME, 2007), sitúa a los PHAs como posibles sustitutos de los plásticos convencionales, sobretodo en aplicaciones industriales de vida corta, independientemente del amplio campo de aplicaciones que tienen estos polímeros en la medicina debido a su inocuidad.

El problema fundamental que todavía afronta la producción de este polímero es su elevado costo, aproximadamente 10 USD/Kg, comparado con el costo de los plásticos convencionales que oscila alrededor de 1 USD por kilogramo de polímero producido (Lee, 1996). MONSANTO (USA), Metabolix (USA) y PHB Industrial S.A (Brasil) son compañías que están involucradas en la producción a gran escala de estos polímeros. Los brasileños han logrado reducir los costos de producción de estos polímeros hasta aproximadamente 5 USD/Kg. Esta reducción de los costos de producción se debe fundamentalmente al bajo costo del cultivo de la caña de azúcar, en lo cual cuenta la energía eléctrica barata producida con el bagazo de la caña (Vasconcelos, 2002; Molinari, 2007).

A pesar de esto la producción a gran escala de los PHAs continua latente. Las inversiones en la fermentación y recobrado del producto, así como los altos costos de los sustratos carbonados frenan su expansión y hace que estas producciones no sean competitivas cuando se compara con la producción de plásticos derivados del petróleo (Lee, 1996; Lenz y Marchessault, 2005).

La búsqueda de opciones de una industria diversificada es una estrategia del sector azucarero mundial. Dentro de las alternativas más promisorias se encuentra la producción de polímeros biodegradables a partir de melazas lo cual se inserta, a escala mundial, en el desarrollo de programas de producción de nuevos materiales no contaminantes del medio ambiente.

Teniendo en cuenta lo anterior los objetivos del presente trabajo están encaminados a:

- seleccionar cepas productoras de Poli-β-hidroxibutirato y caracterizar su producción en las mismas.
- establecer una metodología para el seguimiento, determinación y cuantificación de la producción de Poli-β-hidroxibutirato.
- evaluar el efecto en la producción de Poli-β-hidroxibutirato de diferentes fuentes de carbono y nitrógeno.
- aislar, purificar y caracterizar los polímeros de Poli-β-hidroxibutirato

2. Materiales y métodos

2.1 Microorganimos

En el estudio se emplearon 17 cepas de los géneros: *Bacillus* (10)*, Pseudomonas* (4), *Rhizobium* (2) y *Azospirillum* (1). La mayoría de los estudios se realizaron con la cepa de *Bacillus megaterium* del Instituto de Ciencias Medioambientales, de la Universidad de Zörich. El resto de las cepas pertenecen a la colección de cultivos del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Las cepas se conservaron en Glicerol al 15% a - 80º C.

2.2 Mieles

Las mieles de caña de azúcar fueron provistas por el Complejo Azucarero Ciro Redondo (enero/2007) y las de remolacha por la Fábrica de Azúcar Frauenfeld de Suiza (Noviembre/2006).

2.3 Medios para promover producción de Polihidroxialcanoatos

Los siguientes medios fueron utilizados para promover la producción de Polihidroxialcanoatos en cultivo sólido y líquido: M1 (Borah y otros, 2002), M2 (Bänzinger y otros, 2001), M3 (Gouda y otros, 2001), M4 (Senior y otros, 1972), M5 (Berlanga y otros, 2006) y el medio M6 contenía los componentes del caldo nutriente suplementado con Glucosa 10 g. L^{-1}.

2.3.1 Medio base para microcultivos

El medio base empleado para los microcultivos en placas Nunc® (VWR) de 96 y 24 pocillos se compone de peptona bacteriológica 2.5 g·L-1, extracto de levadura 1.0 g·L-1, NaCl 2.5 g·L-1 y extracto de carne 0.5 g·L-1.

2.4 Preparación de los microcultivos

2.4.1 Evaluación de diferentes fuentes de carbono

Los microorganismos se cultivaron en placas Nunc® estériles (96 o 24 pocillos) que contenían medio base para microcultivo, suplementado con las siguientes fuentes de carbono: glucosa, sacarosa, fructosa, manitol, glicerol o acetato de sodio a 10, 15 y 20 g·L-1. Las mieles de remolacha se adicionaron al medio base al 1.0, 3.0 y 5.0 % (p/v). Las placas se incubaron durante 12 h a 30ºC y 150 r.min-1. Se utilizaron membranas permeables al oxígeno que permitieron el crecimiento y evitaron la evaporación y contaminación cruzada durante el período de incubación. El crecimiento celular de los microorganismos fue determinado por medio del cambio en el valor de la absorbancia a una longitud de onda de 660 nm en lector para placas SPECTRAmax M2 (Bucher, Suiza). El peso seco celular y la producción de PHB se determinaron al final del experimento (12 h).

2.4.2 Evaluación de diferentes fuentes de nitrógeno

Los microorganismos se cultivaron en placas Nunc® estériles (96 o 24 pocillos) que contenían medio base para microcultivo con la fuente de carbono que soportó la mayor producción de PHB para cada microorganismo y como fuentes de nitrógeno: peptona, extracto de carne, urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio y cloruro de amonio a 1.5, 2.5 y 3.5 g·L-1. Las placas se incubaron por 12 h a 30ºC y 150 r.min-1. Se utilizaron membranas permeables al oxígeno que permitieron el crecimiento y evitaron la evaporación y contaminación cruzada durante el período de incubación. El crecimiento celular de los microorganismos fue determinado por medio del cambio en el valor de la absorbancia a una longitud de onda de 660 nm en lector para placas SPECTRAmax M2 (Bucher, Suiza). El peso seco celular y la producción de PHB se determinaron al final del experimento (12 h).

2.5 Cultivo agitado en frascos

Se prepararon cultivos líquidos en Erlenmeyers de 500 ml con un volumen de trabajo de 100 ml y en frascos Duran de 5L con un volumen de trabajo de 1L. El medio de cultivo contenía las fuentes de carbono y nitrógeno que mejor soportaron la producción de PHB para cada microorganismo (óptima relación C/N). Los cultivos se crecieron a 30ºC, 150 r.min-1 (100 ml) y 500 r.min-1 (1000 ml). Después de 24 horas de incubación los cultivos se centrifugaron a 10000 g, 20 min, 4ºC en centrífuga Sorvall RC-5B (Digitana AG, Suiza) y el precipitado se lavó con agua estéril. Los células lavadas se congelaron en nitrógeno líquido (-196ºC) y se secaron al vacío por 24 horas.

2.6 Detección cualitativa de la producción de Polihidroxialcanoatos

2.6.1 Método histoquímico basado en reacciones de tinción en placas Petri

El colorante lipofílico Nilo Azul A (SIGMA) y su oxazona fluorescente Nilo Rojo (SIGMA) se utilizaron para desarrollar un método de tinción para detectar producción de PHAs en colonias bacterianas en crecimiento. El colorante se disolvió en Dimetil Sulfóxido (DMSO) y se adicionó directamente al medio fundido previo a la inoculación a una concentración final de 0.5 µg·ml-1 (Spiekerman y otros, 1999). Los microorganismos se cultivaron durante cinco días a 30°C y la fluorescencia resultante fue visualmente determinada bajo lámpara ultravioleta Handheld 29000 (CAMAG, Alemania) (longitud de onda de excitación 312 nm). Las placas que emitieron fluorescencia como resultado de la combinación de los colorantes con los gránulos lipídicos se seleccionaron como cepas positivas para la producción de PHAs.

2.6.2 Cuantificación de la producción de Poli-β-hidroxibutirato

A la materia seca celular resultante de 1 ml de caldo de cultivo se le adicionó 0.5 ml de NaOH 2N. Se incubó la mezcla a 100°C durante 30 min y se agitó cada 10 min en Vortex. Las muestras se enfriaron en hielo, se neutralizaron con 0.5 ml de HCl 2N y se centrifugaron a 10000 g, 20 min, 4ºC en centrífuga Sorvall RC-5B (Digitana AG, Suiza). Se recuperó el sobrenadante celular y se filtró por filtros de Nylon 0.45µm (Sartorius) (Brandl, 1993).

2.6.2.1 Cromatografía líquida de alta resolución (CLAR)

Las muestras resultado del tratamiento alcalino se analizaron por CLAR (Metrohm AG, Suiza) a una longitud de onda de 210 nm (detector-UV, Lamda 1010). Se utilizó una columna Aminex HPX-87H (BioRad), 100 x 7.8 mm y 5.0 µm de tamaño de partícula. La temperatura de la columna se fijó en 40°C, el flujo en 1.2 o 1.5 ml·min-1 y el volumen de inyección en 20 µl. Se utilizó como eluente una solución de ácido sulfúrico 5 mmol. La calibración se realizó con ácido crotónico comercial. Se utilizó PHB Aldrich® como patrón para llevar a cabo la cuantificación de las muestras (Brandl, 1993).

2.7 Aislamiento y purificación del Poli-β-hidroxibutirato

2.7.1 Tratamiento con hipoclorito de sodio

Con las células liofilizadas se prepararon suspensiones al 1% (p/v) con solución de hipoclorito de sodio al 5% (v/v) en tubos Falcon de 50 ml y se ajustó el pH a 12.0 con solución de NaOH 1N. En algunos tratamientos se añadió a la mezcla EDTA a una concentración final de 10 mmol. Se incubaron durante una hora a 37ºC. Se centrifugaron a 4000 g, 15 min, a temperatura ambiente en centrífuga SIGMA 4K10 (VWR, Suiza) y se desechó el sobrenadante. El precipitado se lavó sucesivamente con agua destilada (50 ml), acetona P.A (5 ml) y etanol P.A (5 ml). Los lavados se centrifugaron a 4000 g, 15 min, a temperatura ambiente en centrífuga SIGMA 4K10 (VWR, Suiza). Finalmente el precipitado se congeló en nitrógeno líquido (-196ºC) y se liofilizó (Williamson y Wilkinson, 1958; Berger y otros, 1989; Kwang y otros, 1995).

2.7.2 Tratamiento con hipoclorito y bisulfito de sodio

Con las células liofilizadas se prepararon suspensiones al 1% (p/v) con solución de hipoclorito de sodio al 1 o 5% (v/v) en tubos Falcon de 50 ml y se ajustó el pH a 12.0 con solución de NaOH 1N. Se incubó durante 5 min a 25ºC y se adicionó bisulfito de sodio al 2% (p/v). Se incubó la suspensión durante una hora a 37ºC. Se centrifugó a 4000 g, 15 min, a temperatura ambiente en centrífuga SIGMA 4K10 (VWR, Suiza) y se desechó el sobrenadante. El precipitado se lavó sucesivamente con agua destilada (50 ml), acetona P.A (5 ml) y etanol P.A (5 ml). Los lavados se centrifugaron a 4000 g, 15 min, a temperatura ambiente en centrífuga SIGMA 4K10 (VWR, Suiza). Finalmente el precipitado se congeló en nitrógeno líquido (-196ºC) y se liofilizó (Williamson y Wilkinson, 1958; Kang y otros, 1995).

2.7.3 Tratamiento con surfactantes

Con las células liofilizadas se prepararon suspensiones al 1% (p/v) en tubos Falcon de 50 ml con solución de dodecil sulfato de sodio 1% (p/v), pH 10.2 y con solución de Triton X-100 1% (p/v) pH 12.5. Los tubos se incubaron a 37ºC durante 15 min y se centrifugaron a 4000 g, 15 min, a temperatura ambiente en centrífuga SIGMA 4K10 (VWR, Suiza). Se desechó el sobrenadante y el precipitado se incubó a temperatura ambiente, durante 1 min y en agitación con 10 ml de solución de hipoclorito de sodio 5% (v/v), pH 12.0. Se lavó sucesivamente con agua destilada (50 ml), con acetona P.A (5 ml) y etanol P.A (5 ml). Los lavados se centrifugaron a 4000 g, 15 min, a temperatura ambiente en centrífuga SIGMA 4K10 (VWR, Suiza). Finalmente el precipitado se congeló en nitrógeno líquido (-196ºC) y se liofilizó (Ramsay y otros, 1990).

2.7.4 Extracción con solventes orgánicos

Las células liofilizadas se mezclaron con cloruro de metileno en una relación de 60 g de liofilizado por litro de solvente. Se dejó en agitación a temperatura ambiente por 12 horas. La suspensión se filtró y se concentró por evaporación a 60°C, 0.35 bars en rotoevaporador rotatorio LABOROTA 40003 (Heidolph, Alemania), hasta que la solución se tornó viscosa. El polímero se precipitó con metanol frío (CH2Cl2/MeOH=1:6). Después de remover el líquido por filtración por papel de filtro Whatman cuantitativo el precipitado resultante se secó al vacío (30°C, 30 mbar) (Zinn y otros, 2003; Hartmann y otros, 2004).

2.8 Caracterización del polihidroxibutirato

2.8.1 Determinación de peso molecular por filtración en gel

Se utilizó equipamiento GPCmax con detector de índice de refracción (TDA 302). La temperatura de las columnas (3 x PSS: 100Å, 105Å, 106Å) se fijó en 35°C y el flujo volumétrico en 1.0 ml·min-1. Se utilizó como eluente una solución de Tetrahidrofurano (THF) y la calibración se realizó con 12 muestras patrón de poliestireno de pesos moleculares conocidos en el rango de 2.57 a 3.76x106 g·mol-1 (calibración estrecha de estándares). Las muestras purificadas se solubilizaron en cloroformo bajo presión (3 mg·ml-1). Se utilizaron para el análisis 100 µl de esta solución.

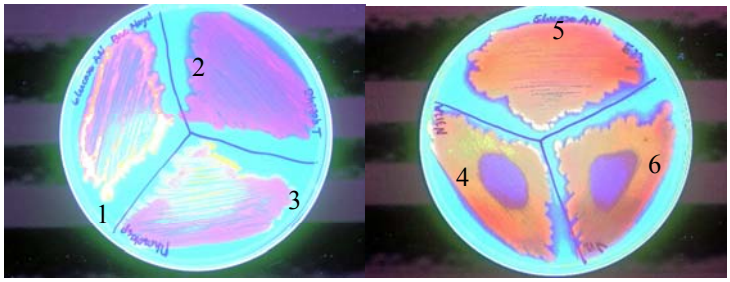
2.8.2 Análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido

Se pesaron 5 mg de cada muestra en Microbalanza MT5 (Mettler-Toledo, Suiza) y se sometieron a análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido (Mettler TA4000, Suiza). Las muestras se calentaron en el rango de -50 a 200°C, la velocidad de calentamiento de la primera corrida se fijó en 20°C·min-1. Se dejó enfriar y se procedió a una segunda corrida con una taza de calentamiento de 10°C·min-1.

3 Resultados y discusión

3.1 Selección de bacterias productoras de Polihidroxialcanoatos

Haciendo uso de colorantes lipofílicos y medios de cultivo con desbalance en la relación C/N, se evaluó la capacidad de producir PHAs en diecisiete cepas de bacterias. La metodología empleada fue efectiva para detectar cualitativamente producción de PHAs utilizando como medios de cultivo el medio M1 y M6. De las diecisiete cepas evaluadas, nueve emitieron fluorescencia bajo Lámpara-UV (λexc 312nm) después de cinco días de cultivo a 30ºC. La figura 1 muestra algunas de las cepas que resultaron positivas para la producción de PHAs. Estos resultados concuerdan con los reportados por Spiekerman y otros (1999), que demostraron que ambos colorantes eran efectivos para determinar cualitativamente la producción de PHAs en colonias bacterianas en crecimiento. Solo con los medios de cultivo M1 y M6, con relaciones C/N (p/p) de 20 y 10 respectivamente, se pudo detectar producción de PHAs en las bacterias que se utilizaron en este estudio. Relaciones C/N (p/p) superiores a 20 inhibieron el crecimiento y por consiguiente dificultaron la detección de la producción de PHAs utilizando el método de tinción antes descrito.



1. B. megaterium
4. P. citronellolis N-312A
2. B. subtilis B/ 23-44-4
5. P. citronellolis E-23
3. Rhizobium sp.
6. P. citronellolis V-12

Figura 1. Crecimiento y emisión de fluorescencia bajo Lámpara UV Handheld 29000 (CAMAG, Alemania) (λe: 312 nm) después de cinco días de incubación a 30ºC en medio M6 suplementado con Nilo Rojo 0.5 µg/ml.

El presente estudio demostró que los colorantes lipofílicos Nilo Rojo y Azul pueden adicionarse directamente al medio de cultivo para detectar producción de PHAs en colonias bacterianas en crecimiento. Los colorantes pueden emplearse a bajas concentraciones en el medio de cultivo sin afectación significativa del crecimiento. Se demostró además que este método de tinción es efectivo para detectar producción de PHAs en bacterias Gram-positivas y Gram-negativas. El método de tinción descrito es sencillo y muy productivo. Esto facilita la selección cualitativa de bacterias productoras de PHAs, sobretodo cuando se desea evaluar un número grande de microorganismos.

Cromatografía líquida de alta resolución (CLAR)

Con el objetivo de comprobar los resultados cualitativos obtenidos mediante tinción con los colorantes lipofílicos Nilo Azul A y Nilo Rojo, se determinó cuantitativamente el contenido de PHAs por CLAR. La cuantificación por CLAR de los PHAs fue estandarizada específicamente para cuantificar el Poli-β-hidroxibutirato, utilizando este procedimiento no se pueden cuantificar las producciones de otros PHAs. De esta forma el polvo celular se sometió a una digestión alcalina en caliente, lo que digirió los componentes celulares casi en su totalidad y produjo una ruptura del polímero de PHB en unidades monoméricas las cuales continuaron su oxidación hasta ácido crotónico. El contenido de ácido crotónico es un indicador de la concentración de PHB en el interior de las células (Figura 2). La Tabla I muestra el resumen de estos resultados.

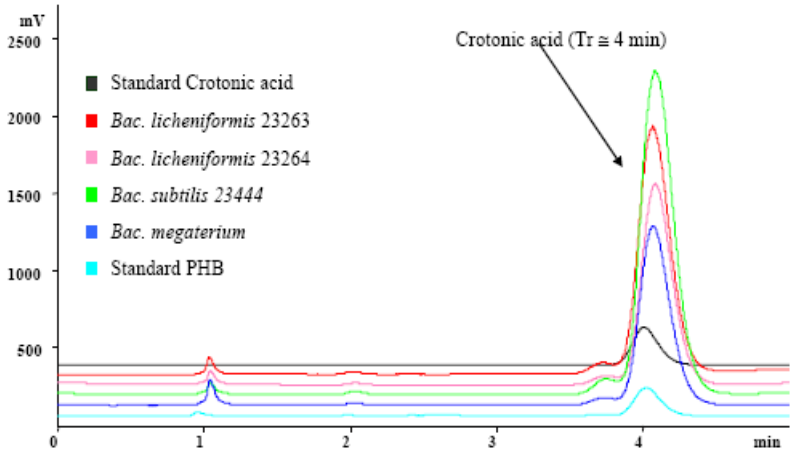


Figura 2. Perfil cromatográfico obtenido después de la digestión alcalina de la materia seca celular. El ácido crotónico formado por la oxidación del PHB se detectó por HPLC a 210 nm (Metrohm AG, Suiza). Se empleó ácido crotónico (SIGMA), Tr 4 min, para llevar a cabo la calibración. La cuantificación se llevó a cabo utilizando PHB comercial de Aldrich®. El flujo volumétrico se fijó en 1.2 ml.min^{-1}.

Tabla I. Cuantificación de la producción de PHB por HPLC. Se midió la absorbancia a 210 nm y se empleó PHB comercial de Aldrich® como estándar para la cuantificación.

Cepa	Peso seco celular (PSC) (mg)	PHB (mg)	% PHB/PSC
B. subtilis B/23-44-4	6.6	3.34	50.6
B. licheniformis B/23-26-3	8.2	2.43	29.6
B. licheniformis B/23-26-4	5.6	1.95	34.8
B. megaterium	6.5	1.74	26.8
P. putida N-14	7.0	nd	-
P. citronellolis E-23	7.6	nd	-
P. citronellolis N-312A	7.1	nd	-
P. citronellolis V-12	6.4	nd	-
Rhizobium sp.	5.1	0.20	3.90

nd: no detectable

Las cuatro cepas del género Bacillus resultaron positivas para la producción de PHB, confirmándose los resultados obtenidos en las pruebas cualitativas de tinción con colorantes lipofílicos. Se obtuvieron acumulados significativos de acumulación de PHB en todas las especies de Bacillus empleadas en el estudio. Aunque la ruta de síntesis de los PHAs en bacterias Gram positivas no está del todo dilucidada, se cree que la mayoría de las especies de Bacillus comparten una ruta similar de síntesis para los PHAs. Como producto de esta ruta metabólica y dependiendo de las condiciones de cultivo este género sintetiza generalmente PHAs de cadena corta, entre los cuales se encuentra el PHB (Valappil y otros, 2007). Las cuatro cepas de Pseudomonas resultaron ser negativas para la producción de PHB. La mayoría de las especies de este género bacteriano comparten una ruta similar de síntesis de los PHAs a partir de la β-oxidación de ácidos grasos. Como resultado de esta ruta biosintética y dependiendo de las condiciones de cultivo se ha descrito que las especies de Pseudomonas putida y citronolellolis producen generalmente PHAs de cadena media y larga (Huijberts y otros, 1994; Rehm y otros, 1998).

El método optimizado para la cuantificación del PHB empleando CLAR es sencillo y de una alta productividad, lo cual posibilitó procesar gran cantidad de muestras en poco tiempo.

Se continuaron los estudios con B. megaterium, una de las cuatro cepas que resultó positiva en las pruebas cualitativas y que por CLAR rindió acumulados de PHB superiores al 20% con relación a su peso seco celular.

3.2 Evaluación de diferentes fuentes de carbono en la producción de poli-ß-hidroxibutirato

Se evaluó la influencia de varias fuentes de carbono, a diferentes concentraciones, en la producción de PHB empleando la técnica de microcultivo antes descrita. Todos los sustratos carbonados estudiados soportaron el crecimiento de B. megaterium (Figura 3 A-C).

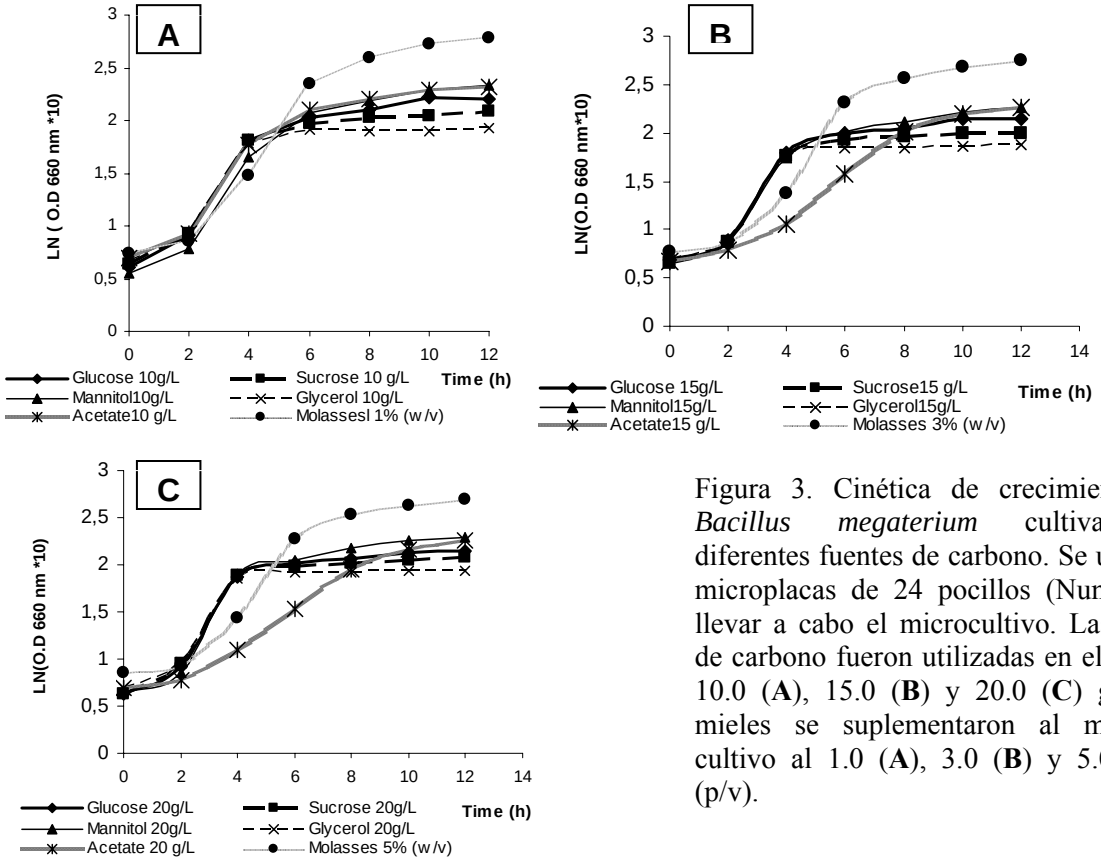


Figura 3. Cinética de crecimiento para *Bacillus megaterium* cultivado en diferentes fuentes de carbono. Se utilizaron microplacas de 24 pocillos (Nunc®) para llevar a cabo el microcultivo. Las fuentes de carbono fueron utilizadas en el medio a 10.0 (**A**), 15.0 (**B**) y 20.0 (**C**) $g.l^{-1}$. Las mieles se suplementaron al medio de cultivo al 1.0 (**A**), 3.0 (**B**) y 5.0 (**C**) % (p/v).

Dependiendo de la fuente de carbono la fase estacionaria se alcanzó entre las 6-10 horas de cultivo permitiendo así una evaluación rápida y eficiente de los sustratos carbonados, empleando el microcultivo en placas Nunc® de 24 pocillos. El mayor crecimiento se obtuvo en el medio que contenía miel final de remolacha. Las mieles de remolacha son sustratos complejos y ricos que no solo aportan azúcares al medio de cultivo, sino también una gran cantidad de micronutrientes, aminoácidos y vitaminas como la tiamina, la riboflavina y la piridoxina. Es por esto que no resulta extraño que el mayor rendimiento en biomasa se haya producido con el medio suplementado con miel final de remolacha.

En la producción de PHAs no siempre el sustrato carbonado que produce los mayores rendimientos en biomasa produce los mayores rendimientos en la producción de los PHAs. Es por esto que para cada variante se cuantificaron los niveles de acumulación de Polihidroxibutirato por CLAR después de 12 h de microcultivo en placas Nunc® de 24 pocillos (Figura 4).

Se detectó producción de PHB empleando CLAR en todas las variantes de medios de cultivo estudiadas. Las producciones del polímero fueron bajas para casi todos los sustratos carbonados estudiados, sin grandes diferencias de acumulado entre ellos. Solo el medio que contenía mieles de remolacha logró una producción aceptable del polímero. Hay que tomar en consideración que el método empleado de microcultivo no es el más óptimo para promover producción de biomasa y de PHAs. Las condiciones de aeración, volumen, agitación no son las óptimas. En el medio que contiene miel de remolacha se observa que con el aumento de la concentración de miel se produce una inhibición de la producción de PHB. El mayor acumulado del polímero en la célula se obtiene empleando la miel de remolacha al 1 % (p/v) (≈ 1g/L). El incremento en la concentración de miel en el medio provocó una disminución en la acumulación del polímero.

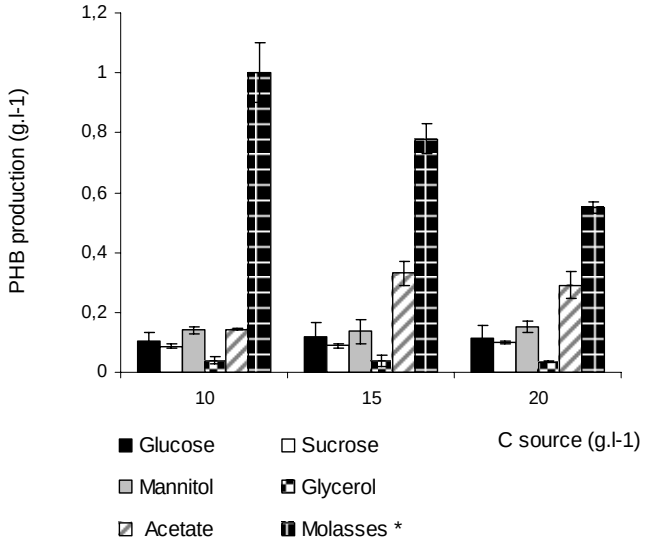


Figura 4. Producción de PHB por *Bacillus megaterium* cultivado en microplacas de 24 pocillos con diferentes fuentes de carbono durante 12 h a 30ºC.
*las mieles se adicionaron al medio de cultivo al 1.0, 3.0 y 5.0 % (p/v).

Se comprobó la producción de PHB en el medio base para microcultivo suplementado con miel de remolacha al 1% en Erlenmeyers de 500 ml con un volumen de trabajo de 100 ml. Se siguió el crecimiento a 660 nm y la producción de PHB cada dos horas por CLAR. La Figura 5 muestra la cinética crecimiento y producción del PHB en Bacillus megaterium.

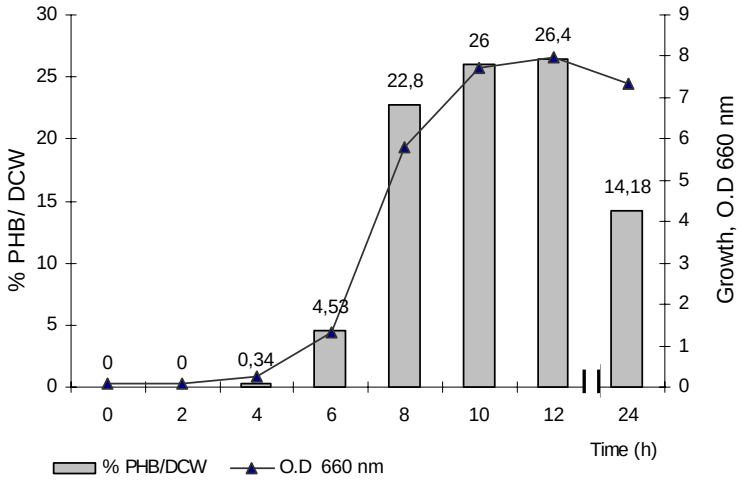


Figura 5. Cinética de crecimiento y producción de PHB en *Bacillus megaterium* cultivado en *Erlenmeyer's* de 500 ml con un volumen de trabajo de 100 ml (150 r.min^{-1}, 30ºC, 24 h). Se empleó el medio base para microcultivo suplementado con miel al 1% (p/v). El crecimiento se siguió midiendo la densidad óptica del cultivo a 660 nm y la producción de PHB a 210 nm por HPLC.

Como primer resultado se confirmó, a una mayor escala productiva (100 ml), la producción de PHB a partir de miel de remolacha. B. megaterium acumuló bajo las condiciones descritas más de un 25% de su peso seco como PHB. Bajo las condiciones ensayadas la fase exponencial se alcanza después de las 6 horas de cultivo. El mayor aumento del crecimiento del cultivo (entre las 6 y 8 h) corresponde al mayor incremento en la producción del polímero, o sea, el mayor incremento en biomasa se correspondió con la mayor producción de PHB. Esto indica que la producción del polímero está asociada al crecimiento. Después de la hora 12 de cultivo hay un disminución en la cantidad de polímero que se acumuló en B. megaterium. A medida que avanza el tiempo de cultivo, los sustratos esenciales para crecer, dividirse y hacer otras funciones celulares disminuyen su concentración en el medio. La carencia energética se suple utilizando la reserva celular de PHB. Por otra parte ante una situación de estrés nutricional este género bacteriano esporula y el PHB es el material carbonado que la bacteria utiliza para mantener el equilibrio energético de la célula.

3.3 Evaluación de diferentes fuentes de nitrógeno en la producción de poli-ß-hidroxibutirato

En adición a las fuentes de carbono, se evaluó el efecto de varias fuentes de nitrógeno en la producción de PHB por Bacillus megaterium. Todas las fuentes de nitrógeno empleadas soportaron el crecimiento de B. megaterium en microcultivo. Las curvas de crecimiento para cada fuente de carbono a las distintas concentraciones mostraron un comportamiento similar. La fase exponencial se alcanzó después de tres horas de cultivo y después de diez horas de cultivo B. megaterium se encontraba en la fase estacionaria de crecimiento con independencia de la fuente de nitrógeno empleada, lo que permitió una rápida evaluación. La producción de PHB fue cuantificada por CLAR.

La concentración de PHB después de 12 h de cultivo expresada como porciento con relación al peso seco celular osciló entre un 27 y un 32% con independencia de la fuente de nitrógeno empleada y la concentración ensayada. Los mayores acumulados se registraron cuando se emplearon fuentes orgánicas de nitrógeno, en especial con el extracto de carne 2,5g/L se acumuló alrededor de un 32% de PHB con relación al peso seco celular. Sin embargo, las diferencias en producción de PHB con relación a las obtenidas con las fuentes de nitrógeno inorgánicas no justifican la utilización de fuentes de nitrógeno caras que incrementan notablemente el costo de producción del polímero. Valorando el precio de estas fuentes orgánicas de nitrógeno y teniendo en cuenta que en ambas cepas evaluadas la producción de PHB es similar con independencia de la naturaleza y la concentración de la fuente de nitrógeno empleada se decidió continuar trabajando con las sales de amonio como fuente de nitrógeno para la producción de PHB.

3.4 Producción de Poli-ß-hidroxibutirato a partir de mieles finales de Caña de Azúcar

Con el objetivo de poder utilizar la miel final de caña de azúcar cubana para la producción de PHB, se realizó un experimento donde se comparó el crecimiento y la producción del polímero en medios que contenían miel de caña y remolacha. El estudio se realizó durante 24 h en Erlenmeyers de 500 ml. Los medios tenían la misma concentración inicial de azúcares reductores libres, aproximadamente 5g/L. La figure 6A muestra la cinética de crecimiento de B. megaterium con miel final de caña y remolacha. El medio suplementado con miel de caña soportó el crecimiento de B. megaterium, la velocidad de crecimiento del microorganismo no difiere significativamente de la obtenida para el medio suplementado con miel de remolacha. La velocidad específica de crecimiento para B .megaterium cultivado en miel de caña fue de 0.45 h-1, mientras que en el medio que contenía miel de remolacha la velocidad promedio fue de 0.55 h-1.

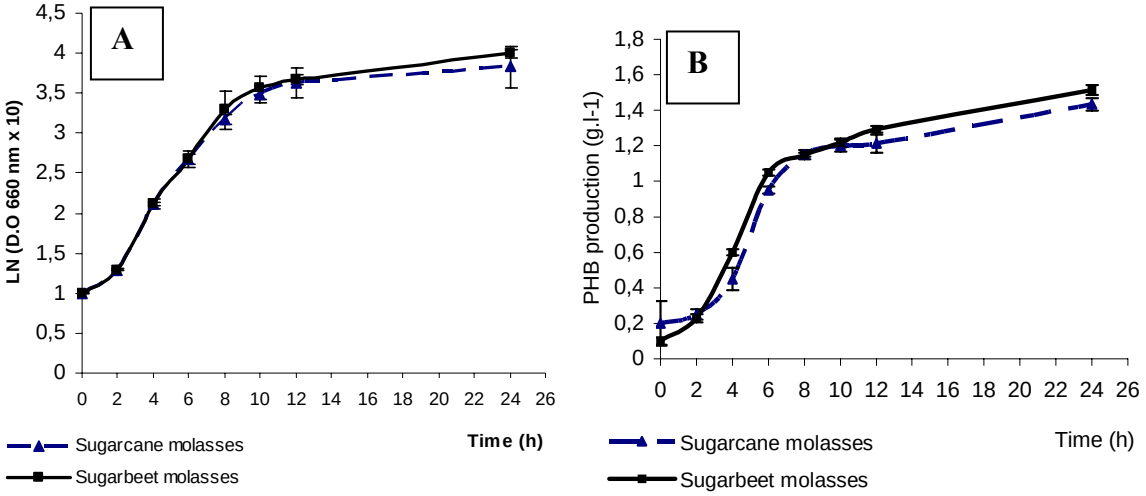


Figura 6. **(A)** Cinética de crecimiento y **(B)** producción de PHB en *B. megaterium* en medios de cultivo suplementados con mieles de remolacha y caña de azúcar al 1.0 % (p/v). El cultivo se llevó a cabo en *Erlenmeyers* de 500 ml, 150 r.min^{-1}, 30º C.

Estas diferencias pudieran deberse al mayor contenido de metales pesados en las mieles de caña de azúcar. Por otra parte, el contenido de lodos en la miel pudiera afectar también el crecimiento del microorganismo. A las mieles no se le realizó ningún tipo de pretratamiento para eliminar los fangos presentes y esto pudiera estar incidiendo negativamente en el crecimiento de B. megaterium, sobretodo en el medio que contenía miel de caña de azúcar.

La cinética de producción del PHB fue similar para los dos medios de cultivo (Figura 6B). El mayor aumento en la producción del polímero coincidió con los mayores aumentos en crecimiento de B. megaterium. En la fase exponencial de crecimiento para ambos cultivos, entre las 4-8 horas de cultivo, es donde mayor cantidad del polímero se produce, por lo que se puede afirmar que la producción de este metabolito está asociada al crecimiento. Después de 24 horas de cultivo la producción del polímero en el medio que contenía miel de remolacha alcanzó un valor de 1.51g/L y en el medio que contenía miel de caña la misma alcanzó la concentración de 1,43 g/L. Estas diferencias pueden deberse a las diferencias en crecimiento de B. megaterium en los medios que contienen miel de caña de azúcar y de remolacha.

De acuerdo a los resultados preliminares obtenidos la utilización de miel de caña de azúcar brinda resultados similares en crecimiento de B. megaterium y producción de PHB que los obtenidos cuando se utiliza la miel de remolacha.

3.5 Aislamiento y purificación del poli-ß-hidroxibutirato

Se desarrollaron cultivos líquidos en frascos Durán de 5L con un volumen efectivo de trabajo de 1L. La acumulación de altos niveles de PHB en B. megaterium en microcultivo (< 1ml) y cultivo agitado (100 ml) fue confirmada en un volumen de fermentación de 1L. Se obtuvo un promedio de producción del

polímero, expresado como porciento de PHB con relación al peso seco celular, cercano al 50%. La masa celular obtenida a partir de estas fermentaciones se liofilizó y este polvo celular se utilizó para aislar y purificar los gránulos de PHB. El proceso de recobrado del PHB es el segundo factor de mayor influencia en el costo general del proceso. Si se quiere reducir el costo de producción de estos polímeros se hace necesaria la implementación de métodos económicos de purificación del polímero. La figura 7 muestra el recobrado y la pureza del producto final para distintas variantes de purificación del PHB a partir de *Bacillus megaterium*.

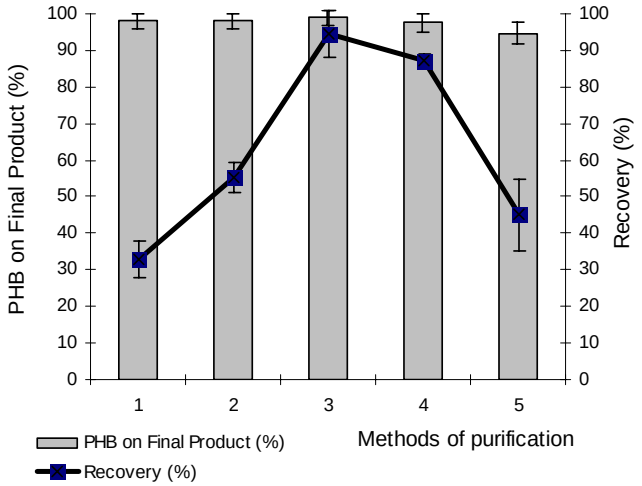


Figura 7. Purificación parcial del PHB a partir de materia celular seca de *Bacillus megaterium*. Se determinó el % de PHB en el producto final por HPLC y el recobrado.

1: incubación con SDS 1% (p/v) y lavado final con hipoclorito de sodio 5% (v/v).
2: incubación con Triton X-100 1% (p/v) y lavado final con hipoclorito de sodio 5% (v/v).
3: tratamiento con hipoclorito de sodio 5% (v/v).
4: tratamiento con hipoclorito de sodio 5% (v/v) y bisulfito de sodio 2% (p/v).
5: extracción con cloruro de metileno y metanol.

Las variantes 3 y 4 (Figura 7) que involucraron la digestión alcalina de las células con hipoclorito de sodio al 5% (v/v), muestran elevados porcientos de pureza del polímero. En ambos casos se registraron porcientos de pureza, expresados como porcientos en peso del PHB en los productos finales de purificación, superiores al 95%.

En las variantes 1 y 2 se obtuvieron purezas promedio finales de un 98%. Sin embargo el recobrado del polímero fue bajo en comparación con lo obtenido en las variantes 3 y 4. En ninguno de los casos los tratamientos con surfactantes brindaron valores de recobrados superiores al 55%. Por otra parte el costo de estos reactivos es superior al costo del hipoclorito de sodio.

Por último se utilizó una variante de extracción del PHB con solventes orgánicos. La solubilización de los gránulos de PHAs con cloruro de metileno y su posterior precipitación con metanol brindó recobrado superiores al 95%, sin embargo la pureza del producto fue baja, inferior al 44%. De alguna forma el procedimiento de extracción solubiliza otros componentes que están afectando la pureza del producto final. El tratamiento con solventes orgánicos puede extraer otras moléculas hidrofóbicas de la célula como los lípidos de membrana y los ácidos nucleicos, resultando esto en bajas purezas de los productos finales de purificación (Anderson y Dawes, 1990).

De manera general la extracción con solventes orgánicos del PHB es un procedimiento caro ya que presupone la utilización de grandes volúmenes de solventes. Por otra parte la mayoría de estos solventes son de compleja manipulación debido a su toxicidad y volatilidad.

Algunos de los procedimientos de purificación antes descritos, como por ejemplo el tratamiento con hipoclorito de sodio 5% (v/v), brindaron resultados positivos en cuanto a pureza y recobrado del producto

final. Sin embargo, para evaluar la calidad del producto final, sus propiedades y validar el procedimiento a una escala mayor se hace indispensable determinar algunas propiedades físico-químicas de estos productos de purificación.

3.6 Caracterización físico-química del poli-ß-hidroxibutirato

Las fracciones purificadas productos de los diferentes tratamientos fueron evaluadas empleando calorimetría diferencial de barrido (CDB) y filtración en gel. La Tabla II resume los resultados promedios obtenidos por CDB y filtración en gel para algunas de las muestras purificadas.

Table II. Caracterización de los polímeros de PHB por filtración en gel y Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB).

Muestra	Apariencia	M_w (g.mol^{-1})[a) b)]	PDI=M_w/M_n	T_g (°C)[c)]	T_m (°C)	Observac. [b)]
1	polvo blanco	408'000	13.00	----	171.80	soluble
2	polvo blanco	371'000	9.20	-----	171.10	parcial. soluble
3	polvo blanco	357'600	10.40	7.10	175.30	soluble
4	polvo blanco	286'000	11.70	-----	171.60	soluble
5	pellet "beige"	287'600	5.60	-----	170.10	soluble

a) Error: ± 3%.
b) Concerniente a la parte soluble de la muestra.
c) Valores de la segunda corrida por CDB.

1: incubación con SDS 1% (p/v) y lavado final con hipoclorito de sodio 5% (v/v).
2: incubación con Triton X-100 1% (p/v) y lavado final con hipoclorito de sodio 5% (v/v).
3: tratamiento con hipoclorito de sodio 5% (v/v).
4: tratamiento con hipoclorito de sodio 5% (v/v) y bisulfito de sodio 2% (p/v).
5: extracción con cloruro de metileno y metanol.

Inicialmente se debe aclarar que no se conoce el peso molecular del PHB producido a partir de B. megaterium bajo las condiciones descritas en este trabajo. Cualquier análisis comparativo de pesos moleculares del PHB se hará entre las muestras analizadas o tomando como referencia los pesos moleculares descritos en la literatura para este polímero en cepas salvajes, pero no referidas al peso original del PHB en las células de B. megaterium cultivadas bajo las condiciones descritas en el presente estudio.

Las variantes que involucraron la purificación con agentes surfactantes resultaron tener pesos moleculares en el entorno de los 400 000 Da, siendo estos los tratamientos donde menor cantidad de peso perdió el PHB y donde aparentemente menos se degradó el polímero. Este resultado es congruente con el hecho de que el tratamiento con detergentes no es un tratamiento exhaustivo que propicie la ruptura del polímero. A pesar que utilizando esta metodología se obtuvieron los mayores pesos moleculares y que los valores de temperatura de fusión están bien cercanos a los reportados para el PHB en su estado natural (Tsuge, 2002), los valores de recobrado son relativamente bajos cuando los comparamos con otros tratamientos. Además debe tenerse en cuenta que el costo económico de este proceso a gran escala es alto debido al costo de los reactivos y a la cantidad de agua que se gastaría en el mismo.

Por su parte el tratamiento con Hipoclorito de sodio al 5%, a pesar de ser un método bastante vigoroso, produjo pesos moleculares promedios alrededor de los 350 000Da, el cual está en el entorno reportado para cepas salvajes productoras de PHB. Además las muestras producto de este tratamiento presentaron un IPD de alrededor de 10 y temperaturas de transición vítrea y de fusión de 7 y 175ºC

respectivamente, valores muy cercanos a los reportados para la muestras de PHB en estado natural (Tsuge, 2002). Esto habla de la pureza de estos productos de purificación y confirma los resultados preliminares de pureza obtenidos por CLAR.

La muestra producto de la purificación con Bisulfito de sodio al 2% (p/v)-Hipoclorito de sodio 5%(v/v) tuvo valores de Temp. de fusión más cercanos a los reportados para el PHB en su estado natural, lo que presupone un producto de mayor grado de pureza. Esto confirmó los valores altos de pureza que se obtuvieron por CLAR para esta variante de purificación. El peso molecular promedio fue relativamente bajo (286 000 Da) cuando se compara con las variantes de purificación que contenían surfactantes e hipoclorito de sodio al 5%. Kang y colaboradores (1995) también emplearon el Bisulfito de sodio para contrarrestar los efectos oxidativos del hipoclorito de sodio. Los autores lograron disminuir la caída en el peso molecular del PHB de un 30% a un 14% por adición de bisulfito de sodio 0.2 mol/L a la mezcla que contenía hipoclorito de sodio al 1% (v/v). Este resultado no coincide con lo obtenido en el presente trabajo donde el bisulfito de sodio no pudo contrarrestar la caída en el peso molecular del PHB producida por la acción del hipoclorito de sodio. De hecho se obtuvieron pesos moleculares superiores cuando las células liofilizadas de B. megaterium se trataron solamente con la solución alcalina de hipoclorito de sodio 5%. De acuerdo a los resultados obtenidos no se pudo comprobar el efecto antioxidante del bisulfito de sodio.

Finalmente las muestras extraídas con metanol-cloruro de metileno mostraron pesos moleculares bajos (287 600), aunque el IPD (5,6) y la Tf (170ºC) tienen valores cercanos a los reportados para el PHB en su estado natural (Tsuge, 2002). Esto pudiera indicar un alto grado de pureza de estas muestras, lo cual entra en contradicción con los resultados obtenidos por CLAR donde estas muestras presentan niveles de pureza inferiores al 45 %. Este último resultado se ve respaldado por la apariencia "Beige" de este producto de purificación, completamente diferente a la apariencia del PHB puro.

Tomando en consideración los resultados obtenidos, el hipoclorito de sodio jugó un papel importante en la obtención de altos niveles de pureza y recobrado del producto final. A pesar de ser un método bastante simple y económico su utilización está limitada porque se ha reportado que causa una severa disminución del peso molecular de los polímeros de PHB, lo que limita su campo de aplicaciones (Willianson y Wilkinson, 1958; Kwang y otros, 1995). En contraste en el presente trabajo la digestión alcalina con hipoclorito de sodio al 5%, en condiciones controladas, fue uno de los tratamientos donde el producto final purificado tenía mayor peso molecular y temperaturas de fusión y de transición vítrea muy cercanas a las reportadas para el polímero de PHB en su estado natural. No se pudo determinar la disminución en el peso molecular del PHB después de cada tratamiento debido a que no se conocía el peso molecular del PHB en su estado natural bajo las condiciones de cultivo ensayadas y empleando una cepa de B. megaterium.

El tratamiento con hipoclorito de sodio 5% (v/v) es un procedimiento sencillo, económico y tiene muchas posibilidades de ser implementado a escala industrial. Este reactivo pudiera ser sustituido por la lejía de cloro, la cual está disponible en el mercado nacional y constituye un agente de limpieza que rutinariamente la industria azucarera utiliza en sus dinámicas de desinfección. A pesar de esto, se hace necesaria la optimización de este procedimiento de extracción con el objetivo de disminuir la cantidad de reactivo a emplear en el tratamiento. De esta forma, se podrían reducir los costos de producción del proceso y se disminuirían los problemas medioambientales relacionados con la posible manipulación y vertimiento de grandes volúmenes de compuestos clorados.

4. Conclusiones

Es posible producir plásticos biodegradables a partir de fuentes renovables de energía. Las mieles de caña de azúcar y remolacha producen altos rendimientos en la producción de Biomasa y de Polihidroxialcanoatos en diferentes especies de *Bacillus*. *Bacillus megaterium* acumula cantidades significativas de Poli-β-hidroxibutirato (PHB) en el citoplasma cuando se cultiva en medios mínimos suplementados con mieles, por lo que se puede considerar como una cepa con potencial industrial para la producción de estos polímeros biodegradables.

5. Referencias Bibliográficas

Lee, S.Y. (1996) Plastic bacteria Progress and prospects for polyhydroxyalcanoate production in bacteria. *Trends in Biotechnology* 14: p. 431-438.

Sudesh, K., Abe, H., Doi, Y. (2000) Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: Biological polyesters. *Prog. Polym. Sci.* 25: p. 1503-1555.

Declaración del Consejo Mundial de la Energía (CME) (2007). La industria energética revela su modelo para abordar el cambio climático, www.worldenergy.org, p.1-4.

Vasconcelos, Y. (2002) Un plástico hecho a base de azúcar. *Revista Pesquisa FAPESP* 80: p. 1-3.

Molinari, D. (2007) PHB Industrial planned to start its operations in 2008, new plant will produce biocycle, a biodegradable plastic whose raw material is sugar. Brazilian bulletin dedicated to technological innovation, Unicamp Innovation, University of Campinas, Brasil. Title: Poly-beta-hydroxybutyrate (PHB) production by a *Bacillus cereus* M5 strain in sugarbeet molasses.

Lenz, R.W., Marchessault, R.H. (2005) Bacterial Polyesters: Biosynthesis, Biodegradable Plastics and Biotechnology. *Biomacromolecules*, Vol. 6, No. 1: p. 1-8.

Borah, B., Thahur, P.S., Nigam, J.N. (2002) The influence of nutritional and environmental conditions on the accumulation of poly-β-hydroxybutyrate in *Bacillus mycoides* RLJ B-017. *Journal of Applied Microbiology* 92: p. 776-783.

Bänzinger, S., Tobler, N., Brandl, H. (2001) The formation of reserve polymers in Bacillus megaterium. Microbial Ecology Course, University of Zurich, WS 2001/02, Project Nr 5.

Gouda, M.K., Swellam, A.E., Omar, S.H. (2001) Production of PHB by *Bacillus megaterium* strain using sugarcane molasses and corn steep liquor as sole carbon and nitrogen sources. *Microbiol. Res*. 156: p. 201-207.

Senior, P.J., Beech, G.A., Ritchie G.A.F., Dawes E.A. (1972) The role of oxygen limitation in the formation of poly-β-hydroxybutyrate during batch and continuous culture of *Azotobacter beijerinckii*. *Biochem. J*. 128: p. 1193-1201.

Berlanga, M., Montero, M.T., Fernandez-Borrel, J., Guerrero, R. (2006) Rapid spectrofluorometric screening of poly-hydroxyalkanoate-producing bacteria from microbial mats. *International Microbiology* 9: p. 95-102.

Spiekermann, P., Kalscheuer, B., Baumeister, D., Steinbüchel, A. (1999) A sensitive, viable-colony staining method using Nile red for direct screening of bacteria that accumulate polyhydroxyalkanoic acids and other lipid storage compounds. *Archives of Microbiology* 171: p. 73-80.

Brandl, H. (1993) A sensitive method for the detection of short-side-chain poly(3-hydroxyalkanoates). In: Schlegel HG, Steinbuchel A (Ed.) Proceedings of the International Symposium on Bacterial Polyhydroxyalkanoates. Golze-Druck, Gottingen, p. 411-412.

Wilkinson, J.F., Williamson, D.H. (1958) The isolation and estimation of the poly-b-hydroxybutyrate inclusions of *Bacillus* species. *J. Gen. Microbiol.* 19: p. 198-209.

Berger, E., Ramsay, B.A., Ramsay, J.A., Chavarie, C. (1989) PHB recovery by hypochlorite digestion of non-PHB Biomass. *Biotechnology Techniques* 2: p. 227-232.

Kwang, S.H., Keun, Y.C., Lee, S.Y. (1995) Recovery and Characterization of Poly(3-hydroxybutyric Acid) Synthesized in *Alcaligenes eutrophus* and recombinant *Escherichia coli. Applied & Environmental Microbiol.* 61: p. 34-39.

Kang, S.R., Sung, H.Y., Young, J.Y. (1995) The effects of sodium bisulfite in extration of PHB by hypochlorite. *Biotechnology Techniques* 9: p. 709-712.

Ramsay, J.A., Berger, E., Ramsay, B.A., Chavarie, C. (1990) Recovery of Poly-3-Hydroxyalkanoic acid granules by a surfactant-Hypochlorite treatment. *Biotechnology Tecniques* 4: p. 221-226.

Zinn, M., Weilenmann, H.U., Hany, R., Schmid, M., Egli, Th. (2003) Tailored synthesis of Poly(R-3-Hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHB/HV) in *Ralstonia eutropha* DSM 428. *Acta Biotechnol*. 23: p. 309-316.

Hartmann, R., Hany, R., Geiger, Th., Egli, Th., Witholt, B., Zinn, M. (2004) Tailored Biosynthesis of Olefinic Medium-Chain-Length Poly(R-3-Hydroxyalkanoates) in *Pseudomonas putida* GPo1:with Improved Thermal Properties. *Macromolecules* 37: p. 6780-6785.

Valappil, S.P., Boccaccini, A.R., Bucke, Ch., Roy, I. (2007) Polyhydroxyalkanoates in Gram-positive bacteria: insights from the genera *Bacillus* and *Streptomyces*. *Antonie van Leeuwenhoek* 91: p. 1–17.

Huijberts, G.N., de Rijk, T.C., de Waard, P., Eggink, G. (1994) 13C nuclear magnetic resonance studies of *Pseudomonas putida* fatty acid metabolic routes involved in poly(3-hydroxyalkanoate) synthesis. *J Bacteriol* (6): p. 1661-1666.

Rehm, B.H.A., Kruger, N., Steinbuchel, A. (1998) The new metabolic link between fatty acid de novo synthesis and polyhydroxyalkanoic acid synthesis. *J Biol Chem* 273(37): p. 24044-24051.Rehm y otros, 1998

Anderson, A.J., Dawes, E.A. (1990) Ocurrence, metabolism, metabolic role and industrial uses of bacterial Polyhydroxyalkanoates. *Microbiological Reviews* 54: p. 450-472.

Tsuge, T. (2002) Metabolic improvements and use of inexpensive carbon sources in microbial production of Polyhydroxyalkanoates. Journal of Bioscience and Bioengineering 94 (6): p. 579-584.

DISEÑO DE SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE LA CALIDAD, MEDIO AMBIENTE Y DE LA SEGURIDAD Y SALUD DEL TRABAJO PARA EL ICIDCA.

Grisel María Ortega Arias- Carbajal y Felipe Eng Sánchez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca No 804 esquina Carretera Central. San Miguel del Padrón Cuidad de La Habana. Cuba
E- mail: grisel.ortega@icidca.edu.cu

RESUMEN

La necesidad de ofertar productos competitivos que satisfagan los requisitos de los consumidores, obtenidos de forma tal que no afecten el medio ambiente; unido al aumento de la conciencia ecológica de la sociedad, como una forma de asegurar la salud de las personas y la protección del entorno; han conllevado en la actualidad a la utilización de sistemas de gestión en los que se insertan la calidad, la gestión ambiental y más recientemente, la seguridad y salud del trabajo.
En este trabajo se presenta el diseño de un Sistema Integrado de Gestión para el ICIDCA, en el cual se integran los aspectos de gestión anteriormente mencionados, de acuerdo a las normas NC-ISO/IEC 9001: 2001; NC-ISO/IEC 14001:2004 y NC-18001:2005 respectivamente.
Tomando como base las experiencias obtenidas en las acciones de gestión de calidad llevadas a cabo en la organización y la necesidad de una visión integradora de esos aspectos; se hace posible implementar dicho sistema. Para éste se requiere la capacitación del personal, lo que permitirá lograr mayor eficacia y eficiencia en la implementación y alcanzar la excelencia en todas las actividades, la satisfacción de los clientes, apertura de nuevos mercados, incremento de la creación de valor, un control de los aspectos medio ambientales, riesgos e impactos para el entorno y la prevención de hechos indeseables en cuanto a la seguridad y salud de los trabajadores.

Palabras clave: gestión integrada, calidad; medio ambiente, seguridad - salud del trabajo.

ABSTRACT

The necessity to offer competitive products that satisfy the consumer’s requirements, obtained in such way that they do not affect the environment; together with the increase of the ecological conscience of society, as a way to assure people health and environmental protection; have brought present time the use of management systems in which quality, the environmental management and more recently, the safety and labour health.
In this paper the design of an Integrated System for Management is presented for ICIDCA, in which the previously mentioned management aspects are integrated according to the standards NC-ISO/IEC 9001: 2001; NC-ISO/IEC 14001:2004 and NC-18001:2005 respectively.
Taking as basis the experience obtained in the actions of quality management carried out in the organization and the necessity of an integrated vision of those aspects; it becomes possible to implement this system. For this the personnel's training is required, that which will allow to achieve higher efficacy and effectiveness in the implementation and to achieve the excellence in all activities, the satisfaction of the clients, the opening of new markets, the improvement of value creation, the control of environmental aspects, risks and impacts for the environment and the prevention of undesirable facts as for the safety and labour health.

Key words: integrated management; quality; environment, safety - labour health

INTRODUCCIÓN

La necesidad de ofertar productos competitivos que satisfagan los requisitos de los consumidores y obtenidos de forma tal que no afecten el medio ambiente, unido al aumento de la conciencia ecológica de la sociedad y a un mayor rigor de las regulaciones gubernamentales, como una forma de asegurar la salud de las personas y la protección del entorno; han conllevado en la actualidad; a una tendencia internacional por la utilización de sistemas de gestión en los que se insertan la calidad, la gestión ambiental y más recientemente, la seguridad y salud del trabajo, siendo esta integración muy provechosa, por cuanto determina y aplica, a través de la política de gestión, lo relativo a los aspectos antes mencionados. Así las organizaciones pueden lograr la calidad y demostrar un sólido desempeño ambiental, controlando el impacto de sus actividades, productos o servicios sobre el entorno y manteniendo y mejorando la salud humana, por lo cual se dirigen cada vez más a la atención de los riesgos e impactos potenciales de sus actividades, productos y servicios. (Anon 2000; Guerra 2004; Cuendias 2006).

El Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) perteneciente al Ministerio del Azúcar, en la actualidad enfrenta diversas actividades de investigación-desarrollo, servicios científico-técnicos; transferencias de tecnologías y negociaciones, por lo que se hace necesaria la implementación de un Sistema Integrado de Gestión (SIG) que permitirá incrementar la eficacia y eficiencia en el desarrollo de estas actividades así como reducir los costos, recursos, el tiempo de ejecución y los riesgos .

En este trabajo se presenta el diseño de un Sistema Integrado de Gestión para el ICIDCA, que incluye la gestión de la calidad; del medioambiente y de la seguridad y salud del trabajo, de acuerdo a las normas NC-ISO/IEC 9001: 2001; NC-ISO/IEC 14001:2004 y NC- 18001:2005, respectivamente; lo cual conllevará a alcanzar la excelencia en esta actividad, la satisfacción de los clientes, apertura de nuevos mercados, un incremento de la creación de valor, el control de los aspectos medio ambientales, riesgos e impactos para el entorno y la seguridad y salud de los trabajadores. Además permitirá obtener beneficios para la organización, para los clientes y para los diferentes sectores de la sociedad.

DESARROLLO

Un sistema de gestión que integre la calidad, el medio ambiente y la seguridad y salud del trabajo tiene como objetivo la obtención de un mejor resultado empresarial, gestionando las tres disciplinas de forma integrada, es decir, integrando los sistemas que se gestionan, los procesos que los soportan y las actividades que componen dichos procesos (Anon 2000; Cuendias 2006).
Cuando no se cuenta con un sistema implantado a nivel organizacional, la estructura del sistema integrado se puede diseñar y desarrollar integrando todas las partes comunes desde su inicio (calidad, medio ambiente y seguridad y salud del trabajo) y abordando el desarrollo de todas las partes específicas por procesos. De esta forma, al identificar todos los procesos principales de la organización, éstos se priorizan y se van desarrollando paulatinamente (Anon 2005).

La NC- ISO/IEC 9001 establece entre uno de sus requisitos el enfoque por procesos (NC-ISO/IEC 9001 2001). Este enfoque ya lo realizaba la ISO 14001 (NC- ISO/IEC 14001 2004). La NC 18001 (NC 18001 2005) establece el cumplimiento con la legislación vigente aplicable de seguridad y salud del trabajo, tiene en cuenta la identificación y evaluación de los aspectos; impactos, peligros y riesgos para cada proceso así como la planificación de contingencias; por todo lo cual se facilita la integración en un sistema de gestión.

Mediante el enfoque de procesos se considera que un proceso está constituido por un conjunto de actividades que transforman entradas en salidas y dicha transformación genera un valor añadido. Las actividades que se realizan dentro del proceso, junto a los recursos utilizados, permiten que el producto

saliente disponga de una serie de características que le confieran una aptitud para cumplir con los requisitos del cliente y dichas actividades y recursos empleados pueden afectar a otras partes relacionadas con el proceso y a las personas de la organización y al entorno medioambiental; pudiendo ser origen de riesgos laborales en las personas o de aspectos medioambientales que se pudieran derivar en impactos en el entorno (Anon 2005).

Para llevar a cabo la integración por procesos se han de seguir una serie de pasos en los que se combinarán los recursos (tanto materiales como humanos), el método a seguir, el medio ambiente y el entorno laboral. La integración se realizará en la base operativa, con el objetivo de que todas las personas, tanto los directivos como los especialistas y operarios perciban y gestionen la calidad, el medio ambiente y la prevención de riesgos laborales como algo inseparable; así como también a nivel de funcionamiento de sistema: con una dirección única de sistema, edición y control de la documentación común, sistemas de verificación y control comunes, tratamiento común de las no-conformidades y acciones correctivas y preventivas.

Las etapas para la integración del sistema se mencionan a continuación:

1. **Evaluación inicial de la Organización**
2. **Diseño del Sistema Integrado**
3. **Documentación del Sistema**
4. **Implantación del Sistema Integrado**
5. **Revisión/verificación del funcionamiento del Sistema implantado**
6. **Auditoria del Sistema Integrado**
7. **Certificación del Sistema Integrado**

Evaluación inicial de la organización:

En el ICIDCA a partir del año 2002 se han realizado diferentes acciones por impulsar la Gestión de la Calidad en algunas áreas. Entre estas acciones se encuentran la Acreditación del Laboratorio de Bebidas (LABEB) del Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE) de la Dirección de Comercialización; habiéndose alcanzado primero la Acreditación del mismo por la norma NC-ISO/IEC 17025:2000 y una nueva reacreditación por la Norma NC-ISO/IEC 17025:2006.

Además, se ha implementado la calidad en el Laboratorio de Aguas de la Industria Azucarera (LAGUAZUR) del Centro Nacional de Gestión del Medio Ambiente (CENGMA) y en el Laboratorio Físico-Mecánico de Polímeros (LAFIM) por la NC- ISO/ IEC 17025:2006, así como la Dirección de Producciones Biotecnológicas Cuba-10, dispone de un sistema de calidad implantado para certificarse por la norma NC-ISO/IEC 9001: 2001.

Tomando como base las experiencias en la implementación de la gestión de la calidad en estas áreas; lo cual ha permitido la obtención de mejores resultados en el desempeño de la organización y un incremento en las expectativas y satisfacción de los clientes; se hace posible la ejecución de acciones para la implementación del sistema integrado de gestión, teniendo además en cuenta un enfoque de procesos.

Diseño del Sistema Integrado de Gestión (SIG) para el ICIDCA:

Alcance del Sistema Integrado de Gestión:

El Sistema Integrado de Gestión que se presenta, integra la gestión de la Calidad, la gestión ambiental y la gestión de la seguridad y salud del trabajo, de acuerdo a las normas NC-ISO/IEC 9001: 2001; NC-ISO/IEC 14001:2004 y NC- 18001:2005; respectivamente. Abarca las investigaciones, las producciones y

servicios científico-técnicos, con aplicación en diferentes sectores (agrícola y alimentación) mediante soluciones compatibles con el medio ambiente así como la comercialización en el campo de los derivados de la caña de azúcar; la transferencia tecnológica, la asistencia técnica y la capacitación.

Política del SIG

El ICIDCA se establece como política llevar a cabo los trabajos de investigación y desarrollo, producciones, comercialización, servicios científico técnicos, gestión tecnológica y transferencias de tecnologías; para la diversificación agroindustrial, estableciendo un Sistema Integrado de Gestión.

Cumpliendo con los requisitos de calidad, con los legales, ambientales, de seguridad y salud del trabajo, así como con los reglamentarios establecidos por el Ministerio del Azúcar y por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, mejorando continuamente la eficacia del sistema de gestión, desarrollando la formación de recursos humanos, la difusión de conocimientos y cumpliendo con la satisfacción de los clientes

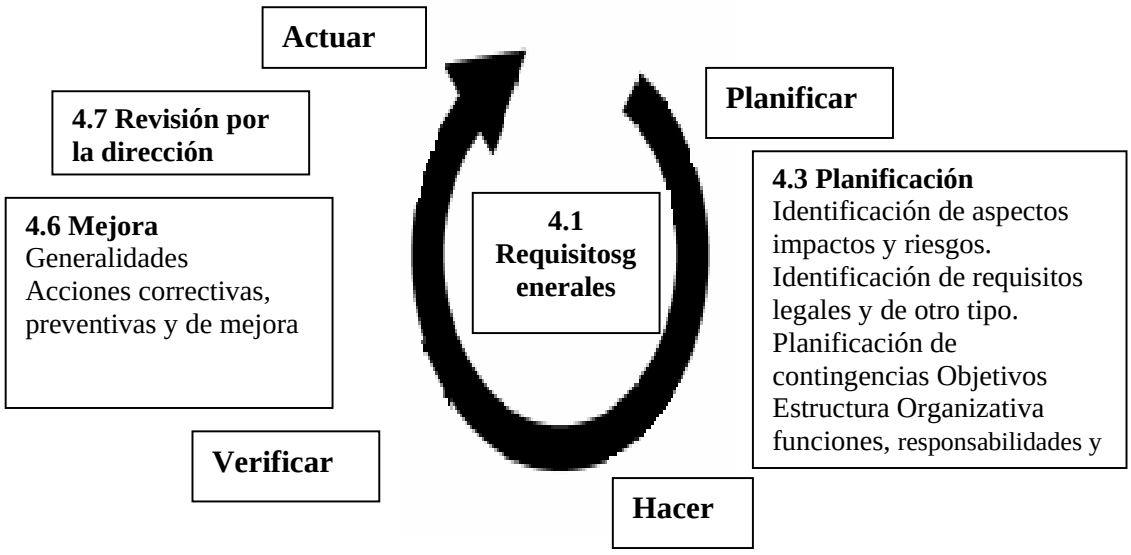
La alta dirección deberá plasmar su compromiso de garantizar la implantación y mantenimiento del sistema y garantizar la implicación de todo el personal en el logro de los objetivos, así como la disposición de todos los recursos requeridos.

La organización debe trabajar de acuerdo con los requisitos establecidos en las normas NC-ISO/IEC 9001: 2001, NC-ISO 14001:2004 y NC 18001:2005 y establecerá la mejora continua.

Identificación de los requisitos.

Para el sistema integrado de gestión se deben tener en cuenta los requisitos comunes a las normas NC-ISO/IEC 9001:2001, NC-ISO 14001:2004 y NC 18001:2005 así como los requisitos legales y reglamentarios

Las tres normas NC-ISO/IEC 9001: 2001; NC-ISO/IEC 14001:2004 y NC- 18001:2005 tienen en cuenta la mejora continua por lo que pueden ser abordados de manera integrada. En la figura 1 se muestra el ciclo de mejora continua (Planificar- Hacer- Verificar- Actuar , PHVA).



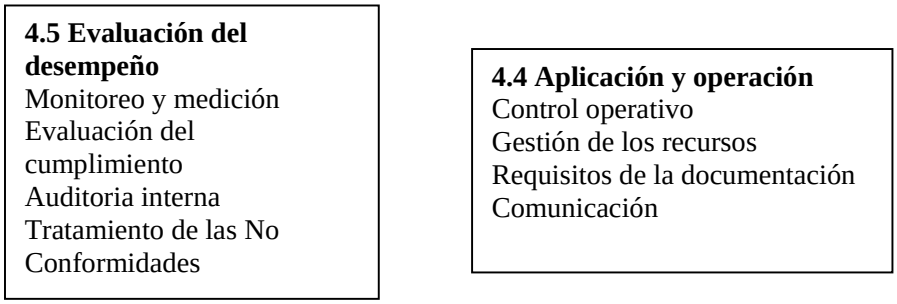


Figura 1 Ciclo PHVA de mejora continua.

Identificación de procesos; secuencias e interacciones

En el ICIDCA se han identificado 14 procesos, con su secuencia e interacciones. En la Figura No 2 se muestra el mapa de procesos para el sistema integrado de gestión.

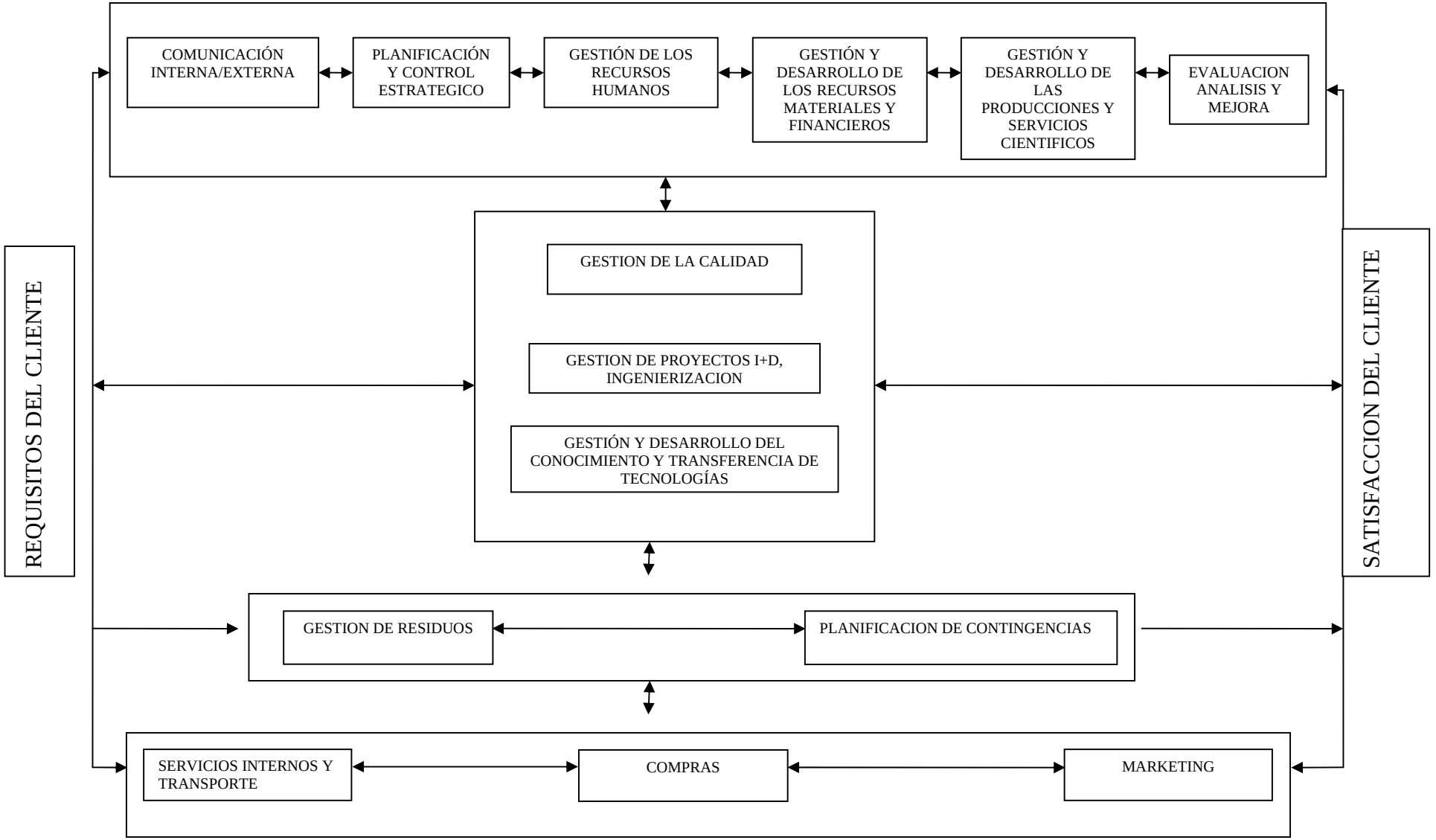


Figura 2. Mapa de procesos del ICIDCA e interacciones.

Para cada proceso se han identificado los aspectos, impactos y riesgos. A continuación se muestra como ejemplo el análisis de los aspectos impactos y riesgos para los procesos gestión y desarrollo de las producciones- servicios científico-técnicos y planificación - control estratégico respectivamente (Tabla I y Tabla II).

Tabla I Aspectos impactos y riesgos en el proceso gestión y desarrollo de las producciones y servicios científico-técnicos

Aspectos	Impactos	Riesgos
Plan de Servicios Científico-Técnicos	Incumplimiento del Plan de Producción Mercantil y otros indicadores principales de eficiencia económica. Limitación de recursos financieros para las operaciones corrientes	Incumplimiento del Plan de Servicios Científico-Técnicos
Equipamiento	Deterioro del equipamiento de la planta piloto Obsolescencia del equipamiento.	Resultados no confiables, y posible afectación en trabajadores por realizar operaciones en condiciones incorrectas
Portadores energéticos	Disminución de los niveles de actividad y calidad de los resultados.	Insuficiente nivel de asignaciones de portadores energéticos.
Producciones experimentales y comerciales de productos biológicos y químicos.	Aplicación de los productos obtenidos en la agricultura cañera y no cañera y aplicación de productos para alimento animal.	Incumplimientos de parámetros tecnológicos Posibles afectaciones en las plantas y animales por aplicación incorrecta de los productos
Softwares para la industria azucarera y derivados	Desarrollo de herramientas para el control y simulación de los procesos industriales.	No capacitación adecuada de los operarios para la utilización de los softwares; utilización incorrecta.
Servicios Microbiológicos de Laboratorio**.**	Desarrollo de procesos productivos biotecnológicos con altos rendimientos	Contaminación cruzada con otros microorganismos
Servicios Analíticos	Utilización de los servicios analíticos en la industria azucarera y derivados para el control de los procesos.	Obtención de resultados no confiables.
Servicios Capacitación	Capacitación del personal en aspectos claves para el desempeño del trabajo	No planificación y divulgación inadecuada.
Servicios de Ingeniería	Desarrollo proyectos de ingeniería en procesos industriales para industria de los derivados de la caña.	Diseño inadecuado de los proyectos de ingeniería de plantas industriales
Servicios Planta Piloto	Desarrollo procesos de escalado y evaluación de materias primas.	Condiciones inadecuadas en la planta.

Tabla II Aspectos impactos y riesgos en el proceso planificación y control estratégico

Aspectos	Impactos	Riesgos
Contratos multilaterales	Incumplimiento de contratos multilaterales firmados con Empresas. Demora en los plazos de alcance de resultados de I+D.	Incumplimiento del Plan de Investigaciones-desarrollo, su ejecución física y/o entrega de etapas y resultados esperados
Alcohol, energía y bebidas.	Desarrollo de nuevas tecnologías y herramientas Incremento de la sostenibilidad	Falta de materias primas; personal no calificado, falta de combustible y recursos financieros
Alimentación animal y humana Medio ambiente Productos para la agricultura y Nuevos materiales Productos de uso veterinario y humano Análisis de procesos en la industria	Protección del medio ambiente Incremento en la diversificación azucarera	Personal no adecuado y no requerido involucrado en las actividades
Planificación económica. Financiamiento. Presupuesto. Registro, control y balance de hechos económicos. Dirección por procesos Legalidad, Supervisión y Auditoria	Dirección estratégica	Controles, procedimientos y registros incorrectos Economía no confiable

Para la integración es necesario establecer un plan, que tendrá como objetivo desarrollar el Sistema Integrado de Gestión en el ICIDCA de acuerdo a las normas NC-ISO/IEC 9001, NC-ISO 14001 y NC 18001.

Se deben tener en cuenta dificultades que se pueden presentar para la integración como son:

- Resistencia al cambio
- Necesidad de recursos financieros y materiales
- Capacitación del personal en las normas NC-ISO/IEC 9001:2001, NC-ISO 14001:2004 y NC 18001:2005.

Con la integración se pueden presentar riesgos como:

- Incumplimientos o fallos asociados a los procesos de integración.
- No tener en cuenta las experiencias de la implementación de la gestión de calidad en la organización
- Falta de capacitación en el proceso de integración

Se requiere también la selección del nivel de integración; para lo cual se realiza un análisis del nivel de madurez y complejidad en la organización.

Análisis del nivel de madurez y complejidad

En el ICIDCA las actividades y procesos se han iniciado documentándose de manera adecuada, están a nivel básico establecidos algunos procedimientos, registros e instrucciones. Se evalúan algunos proveedores y están establecidas las responsabilidades y funciones del personal relacionados con los procesos de calidad, seguridad- salud del trabajo y gestión ambiental de los productos o servicios. La complejidad de la integración está establecida de acuerdo a las partes interesadas y teniendo en cuenta las expectativas de los clientes en el momento actual y a un mediano y largo plazo.

Método de integración a desarrollar según el nivel de madurez

En el ICIDCA se llevará a cabo el método básico para la integración que consiste en:

- Establecer la política de sistema integrado de gestión.
- Integrar en un manual la documentación.
- Definir las funciones del personal relacionado con los procesos críticos para la gestión de la calidad, seguridad y la gestión ambiental de los productos y servicios.
- Integrar la gestión de los procesos organizativos comunes a la gestión de los sistemas teniendo en cuenta los requisitos de cada sistema

Plan de comunicación

La comunicación se realizará a todo el personal del instituto y a las partes interesadas a través de los diferentes mecanismos de divulgación como correo electrónico, boletines de la intranet, murales y matutinos; reuniones de departamento y consejos de dirección.

Responsabilidad del proceso de integración

La responsabilidad del proceso de integración la tendrá la alta dirección y se asignará un representante por la dirección. En la actualidad el ICIDCA ya cuenta con un Representante por la dirección desde el 2005 para la gestión de la calidad, que pudiera asumir la gestión integrada. Además está funcionando un Comité de Gestión de la Calidad.

Actividades propuestas a realizar para la integración del sistema de gestión en el ICIDCA

En la tabla III se describen las actividades que se proponen llevar a cabo para al integración y la asignación de las responsabilidades.

Tabla III Actividades y responsabilidades para la integración

Actividades	Responsable
Capacitación de todo el personal del Instituto	Representante por la dirección
Planificación de recursos de todo tipo	Representante por la dirección
Diseño del sistema integrado	Representante por la dirección
Implementación del sistema	Alta Dirección Representante por la dirección Responsables de sistema por áreas
Evaluación periódica del sistema	Representante por la dirección
Revisión por la dirección	Alta dirección
Auditorias interna	Auditores
Implantación de acciones de mejora continua	Representante por la dirección Responsables por áreas

Apoyo de la dirección

La alta dirección del ICIDCA debe disponer de los recursos para la implementación del sistema integrado de gestión apoyando todas las acciones y tareas para lograr este fin; para ello debe destinar un financiamiento y llevar a cabo la revisión oportuna del sistema en los intervalos planificados.

Análisis de las debilidades y fortalezas.

Por último se debe realizar un estudio de las debilidades que presenta el ICIDCA que puedan dar lugar a amenazas y las fortalezas que pueden representar oportunidades en la organización, para elaborar una matriz DAFO como un instrumento de toma de decisiones.

Documentación del Sistema.

Se propone un manual que integrará los elementos comunes correspondientes a la gestión de la calidad; a la gestión ambiental y a la seguridad y salud del trabajo e incorporará los elementos diferenciados según las normas correspondientes.

El manual además incluirá el alcance del sistema, objetivos, política, metas, organigrama de la organización, identificación de los procesos, secuencia e interacción; fichas de proceso, mejora continua, responsabilidades y autoridades de las personas involucradas, requisitos del cliente y de las partes interesadas, términos y definiciones, referencias cruzadas y la gestión de recursos; evaluación del desempeño, mejora y la revisión por la dirección.
Se establecerán los procedimientos documentados y registros que requiere el sistema integrado de gestión , así como documentos de la organización que se consideren necesarios para garantizar la planificación, operación y control eficaces de los procesos y documentos externos (leyes, regulaciones, normas, etc).

Procedimientos del sistema integrado de gestión:
Se establecerán los siguientes procedimientos:

Procedimientos generales:
PNO 1 Funcionamiento del comité de gestión del sistema integrado
PNO 2 Revisión por la alta dirección del sistema integrado
PNO 3 Identificación de requisitos legales y de la organización
PNO 4 Control del diseño
PNO 5 Elaboración y control de la documentación del sistema
PNO 6 Control de las compras y contrataciones
PNO 7 Evaluación de los proveedores
PNO 8 Control y evaluación de los procesos
PNO 9 Control de equipos y accesorios
PNO 10 Control de las No conformidades
PNO 11 Acciones preventivas y correctivas
PNO 12 Elaboración de productos
PNO 13 Control de registros
PNO 14 Auditorias internas y externas
PNO 15 Control de la competencia
PNO 16 Comunicación interna y externa
PNO 17 Elaboración de planes del sistema integrado
PNO 18 Programa de gestión del sistema (objetivos y metas).

Procedimientos específicos de calidad PNO-C

PNO-C 1 Identificación y trazabilidad de los productos
PNO-C 2 Análisis de datos
PNO-C 3 Servicios post-ventas
PNO-C 4 Satisfacción del cliente
PNO-C 5 Control de documentos
PNO- C 6 Producto No conforme

Procedimientos específicos de medio ambiente PNO-MA
PNO-MA 1Identificación; control y evaluación de aspectos e impactos medio ambientales
PNO-MA 2 Identificación y respuesta a situaciones de emergencia medioambiental
PNO-MA 3 Seguimiento y medición
PNO- MA 4 Análisis de residuos
PNO- MA 5 Tratamiento de residuos.

Procedimientos específicos de seguridad y salud del trabajo PNO-SST
PNO-SST 1 Identificación y evaluación de peligros y riesgos
PNO-SST 2 Control y vigilancia de los peligros y riesgos
PNO-SST 3 Control de la salud de los trabajadores
PNO-SST 4 Control de los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales
PNO-SST 5 Identificación de medidas de prevención y protección
PNO-SST 6 Identificación y respuesta a contingencias
La disponibilidad de esta documentación permitirá lograr la actuación metodológica y dinámica en el personal así como conducirá a la minimización de los riesgos asociados a la forma de trabajar en esta organización, con actividades y procesos tan complejos e impactantes a nivel de la sociedad.

Los documentos permitirán asegurar la eficacia de la planificación, operación y control de los procesos con los aspectos ambientales significativos y la prevención de hechos indeseables

Finalizadas estas etapas, se ha de proceder **a la implantación del sistema integrado de gestión**, en la que se pondrán en marcha actividades, se comprobará el funcionamiento de ciertos cambios y el de todos los procesos que puedan haber resultado afectados de una u otra forma por la integración.

Para la implantación del sistema integrado las etapas a seguir son:

1. Capacitación en Sistema Integrado de Gestión de todo el personal
    - Capacitación previa
    - Capacitación en el proceso de documentación
    - Capacitación durante el proceso de implantación
    - Capacitación para formar auditores en sistema integrado

2. Implantación:

Se debe establecer para la implantación del sistema integrado:

- La documentación que define el proceso o actividad y los objetivos finales y parciales de la implantación.
- Los responsables de la documentación, aprobación e implantación.
- Los plazos para la realización de actividades.
- Los medios necesarios para su implantación (humanos, metodológicos, formativos, de equipamiento, materiales, etc.).
- Los registros de datos a generar.

La implantación del sistema se realizará conforme a los planes establecidos y bajo la responsabilidad de las personas designadas. Dicha actividad consiste, fundamentalmente, en aplicar lo definido, en comprobar su cumplimiento y en evaluar su eficacia.

Previamente se habrá distribuido la documentación correspondiente en cada puesto de trabajo y se habrán dado todas las explicaciones pertinentes al personal.

La integración de sistemas de gestión de calidad, del medio ambiente y de seguridad y salud del trabajo será más sencilla cuanto más estructurada esté la organización.
La integración ideal de los tres sistemas de gestión debería presentar las siguientes características:

- Responsable único y funciones de dirección técnica corporativa diferenciadas.
- Sistemas de gestión totalmente incorporados en las actividades operativas. Los requisitos de calidad, medio ambiente y seguridad y salud del trabajo se entienden como una parte más de la tarea.
- Documentos y registros mínimos.
- Políticas, objetivos y metas coherentes.
- Fuerte liderazgo de la alta Dirección para poner en marcha el Sistema integrado de gestión eficientemente.

Revisión; verificación del Sistema implantado y Auditoria:

Para concluir con el proceso de la integración, es conveniente realizar la revisión y verificación del sistema implantado y luego una auditoria interna de todo el sistema integrado, por personal formado como auditor en sistema integrado, en la que se verificará de manera objetiva e imparcial la documentación y el desempeño de la organización y posteriormente se realizará una valoración para definir si la organización está en condiciones de solicitar la **Certificación** a la Oficina Nacional de Normalización.

Con el sistema integrado se logrará un incremento de la eficacia y eficiencia en la gestión, la simplificación de la documentación, reducción de los costos de ejecución y de mantenimiento del sistema, reducción de recursos y tiempo de ejecución de las actividades y procesos que ejecuta la organización. Permitirá incrementar la calidad y seguridad en los resultados de las investigaciones; producciones y servicios científico- técnicos. El personal en la realización de los procesos no tendrá en cuenta las diferencias entre calidad, medio ambiente; seguridad y salud del trabajo, lo cual permitirá la prevención de hechos indeseables, la integración de la información y un mejor control de la gestión en la organización; todo lo cual conllevará a mayor competitividad de la entidad, con un incremento de oportunidades de mercado.

CONCLUSIONES

Se demuestra con este sistema integrado de gestión la posibilidad de su implementación en el ICIDCA a partir de las experiencias obtenidas en las acciones de calidad llevadas a cabo; la necesidad de capacitación del personal en esta temática y la importancia de lograr una visión integradora de los aspectos de calidad, medio ambiente; seguridad y salud de trabajo; lo cual conlleva a beneficios para la propia organización y para la sociedad. .

RECOMENDACIONES

Implementar paulatinamente el SIG en las áreas que poseen sistema de gestión de la calidad implementado, teniendo en cuenta las prioridades del ICIDCA y un enfoque de procesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anon Lloyds Register . (2000).Sistemas de Gestión integrados. ¿Mito o realidad? Simposio Internacional sobre aseguramiento de la calidad, 4-6 Octubre Palacio de las Convenciones La Habana Cuba.
Anon Ministerio de Fomentos. (2005). Sistemas integrados de Gestión. Modelo para implantar la mejora continua en la gestión de empresas de transporte por carreteras. Capitulo 3. País Vasco.
Cuendias de Armas J; Suarez Palou. H. (2006). Desarrollo de Sistemas Integrados de Gestión de Calidad y Medio Ambiente. Revista Normalización No 2.
Guerra Bretaña Rosa M; Meizoso Maria del C; Mishina A. (2004).La documentación en un sistema Integrado de Gestión de la Calidad y Medioambiental Revista Normalización No 2-3 pag 37-41.
NC 18001:2005. (2005). Seguridad y Salud en el Trabajo. Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Requisitos.
NC- ISO 14001:2004. (2004). Sistemas de Gestión Ambiental Requisitos con orientación para su uso.
NC-ISO/ IEC 9001:2001 (2001). Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.

FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA COMO BIOMATERIAL SORBENTE DE HIDROCARBUROS PRESENTES EN AGUAS OLEOSAS.

Autores: MSc. Pastora de la Concepción Martínez Nodal [(1)], Dr. Guillermo Esperanza Pérez [(1)], Dr. Iván Rodríguez Rico [(2)], Tec. Mercedes Monteagudo Serrano [(1)].

[(1).] Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA). Facultad Química - Farmacia. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
[(2).] Departamento de Ingeniería Química. Facultad Química - Farmacia. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
pastoramn@uclv.edu.cu, **guillermoep@uclv.edu.cu**

Resumen

En la operación de lavado del diesel empleado como materia prima para la generación de energía eléctrica, se producen las "aguas oleosas" (residual liquido) que van a una cisterna sin tratamiento alguno. Estas aguas tienen un alto contenido de grasas, aceites e hidrocarburos siendo consideradas como residuos tóxicos y peligrosos, que deben ser tratados de forma adecuada y segura para evitar posibles daños al medio ambiente.
El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar el bagazo de caña como sorbente natural, por ser este un residuo de la industria azucarera, de bajo costo, que puede ser utilizado en la operación de limpieza, o descontaminación, de esas aguas. Se realizo la caracterización del bagazo utilizado, se evaluó la capacidad máxima de sorción para diferentes condiciones de operación, determinándose la masa de diesel sorbido por gramo de sorbente para dos granulometrías y dos tiempos de contacto.
Los resultados obtenidos en los ensayos experimentales preliminares pueden considerarse como satisfactorios, comprobándose que para una granulometría del bagazo entre 0.161 y 0.21 mm, y 24 horas de contacto, con mezclado inicial por agitación mecánica, se obtienen los mayores valores de sorción. Estos resultados permitirían implementar de manera práctica, económica y eficiente una alternativa viable y sostenible para el control y limpieza de las aguas oleosas con alto contenido de hidrocarburos, y así disminuir los probables impactos ambientales que se puedan ocasionar al ser vertidas al medio, con el consiguiente impacto económico y social, dándole de esta forma, un valor agregado a uno de los desechos de la industria azucarera cubana.

Palabras clave: sorbente, aguas oleosas, bagazo de caña, absorbente y adsorbente de hidrocarburos.

Abstract

In the scrubbing of Diesel used as fuel for electric power generation, the "oleaginous waters" take place (wastewaters) and it goes to a cistern without any type of treatment. These waters have a high content of fatty, oils and hydrocarbons being considered as toxic and dangerous residuals that should be treated in an appropriate and sure way to avoid possible damages to the environment.
The present work has as objective to evaluate the bagasse like natural sorbent, because this is a low cost residual of sugar cane industry, and can be used as sorbent in cleaning or decontamination of those waters. Was characterized the used bagasse, and was evaluated the maximum sorption capacity for different

experimental conditions, being determined the Diesel mass retained by gram of sorbent, for two grains and at two contact times.
The obtained experimental preliminary results could be considered as satisfactory, reflect that to a grain between 0.161 and 0.21 mm, and 24 hours of contact, with initial blended using mechanical agitation, the biggest sorption values are obtained. These results would be implemented in a practical, economic and efficient way, a viable alternative for the control and cleaning of oleaginous waters with high content of hydrocarbons, and by this way to diminish the probably environmental impacts caused the being poured to the environment, with the rising economic and social impact, giving them in this way value added to these wastes of Cuban sugar cane industry.

Key words: sorbents, oleaginous waters, bagasse, hydrocarbon absorbents and adsorbents.

Introducción.

El tratamiento de residuales contaminados involucra a todos los países, sin excepción. El vertiginoso desarrollo humano sumado a la implantación de políticas poco comprometidas desde el punto de vista medioambiental, ha planteado el reto de encontrar alternativas urgentes a los problemas originados por la contaminación.
Los métodos tradicionales desarrollados para el tratamiento de efluentes han sido estudiados a fondo definiéndose de forma muy clara las deficiencias que los mismos presentan.
Entre las principales desventajas de estos procedimientos se encuentran las bajas eficiencias que se alcanzan, los altos costos de operación, insumos y requerimientos, obligando al hombre a encontrar nuevas soluciones.
Los procesos de biosorción se perfilan como una alternativa capaz de superar las deficiencias de los métodos tradicionales. El estudio de materiales lignocelulósicos enmarcados en esta temática, ha aportado, resultados de remoción de hidrocarburos muy significativos, es por esto que en el trabajo se evalúo la factibilidad de utilizar el bagazo de caña como biomaterial sorbente por ser este, un residuo de la industria azucarera de bajo costo y el cual una vez utilizado en la limpieza de esas aguas oleosas con un alto contenido de hidrocarburos, pudiera ser reutilizado en la generación de energía, si es aumentado su valor calórico, y mitigar así el nefasto impacto ambiental que generan las mismas, si son derramadas o vertidas sin control en cualquier cuerpo receptor.
En el trabajo realizaron pruebas de sorción con bagazo de caña de azúcar natural con dos tiempos de contacto, dos granulometrías, con agitación y sin ella utilizando como contaminante el combustible Diesel regular. Primeramente se selecciono el sorbente, luego se realizó la molienda y tamizado del mismo, de donde se tomaron dos tamaños de partícula con el fin de determinar la influencia de la granulometría en la capacidad de sorción del material en su forma natural. Posteriormente se caracterizó el mismo, para lo cual se determinaron algunas propiedades tales como: humedad, densidad aparente, flotabilidad y estructura, con la ayuda de la Microscopía Electrónica de Barrido, que permiten obtener información muy importante.
Por otra parte, en cuanto a la utilización de residuos de plantaciones de caña de azúcar se presenta una alternativa ambiental para el control de los mismos, que puede ser un incentivo económico adicional para las comunidades productoras. ***Reyes Montiel (2003)***
Además este estudio es fundamental generar conocimiento sobre residuos de fibras celulósicas como material biosorbente de hidrocarburos y de esta forma darles valor agregado a estos recursos.
Los resultados de este trabajo, permitirán consolidar las bases para la utilización industrial de productos sorbentes nacionales con características similares o superiores a los conseguidos en el mercado internacional.
Por esto es fundamental generar conocimiento sobre residuos de fibras celulósicas como materiales sorbentes de hidrocarburos y de igual forma darles valor agregado a estos recursos

Materiales y métodos.

Materiales y equipos.

- Biomaterial sorbente a evaluar. A partir de estudios preliminares realizados por ***Brito 2006, Ortiz 2004*** y tomando en consideración algunos rangos de parámetros obtenidos de la literatura, se decide trabajar con el biomaterial sorbente bagazo de caña de azúcar natural (residuo de la actividad agrícola azucarera).
- Hidrocarburo. Fue seleccionado el Diesel regular cuyas características fundamentales se muestran en la tabla I

Tabla I. Propiedades del Diesel utilizado en el estudio.

Propiedades	**Diesel regular**
Densidad a 15^0C	0.08613 g/cm^3
Gravedad ^{0}API	32.7
Punto de inflamación	76 ^{0}C’
Contenido de agua	
Destilación: Temperatura inicial: Temperatura al 50%: Temperatura al 90%: Temperatura final:	 187 ^{0}C. 287 ^{0}C. 332 ^{0}C. 352 ^{0}C.

- Equipo instrumental.

Balanza analítica DENVER INSTRUMENT Modelo TB-224ª, d*= 0.0001g, balanza de humedad MC 40, molino de rotor de 6 paletas Modelo SR-2 Marca Restch (Alemania), con velocidad de rotación de 1500 rpm y tamices de 0.2 y 0.5 mm, tamices Serie Tyler: 0.315, 0.21 y 0.16, equipo EUROSTAR IKA LABORTECHNIK acoplado a un VISKOCLIC IKA LABORTECHNIK con un impelente tipo turbina cerrada de paleta, según se muestra en la **figura 1.**

Figura.1. Equipo utilizado para el estudio con agitación previa (Dinámico).

Etapas del proceso tecnológico para la adecuación del material.

A partir de estudios preliminares realizados anteriormente y tomando en consideración algunos rangos de parámetros obtenidos de la literatura, se procede a definir las etapas involucradas en la tecnología de obtención de un material adsorbente a partir de bagazo de caña (residuo de la actividad agrícola azucarera).
Las etapas propuestas en este trabajo, establecidas para el acondicionamiento del bagazo de caña natural como material sorbente son las siguientes:

1. Recolección.
2. Secado.
3. Molienda.
4. Tamizado.

El esquema general se muestra en la figura 2.

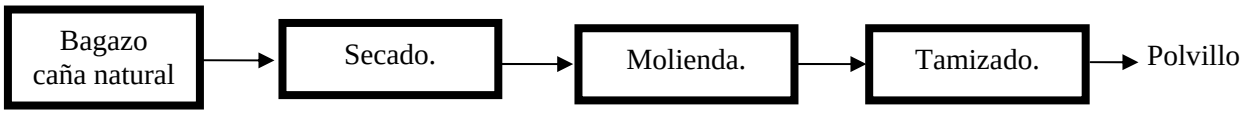


Figura 2. Etapas realizadas en el acondicionamiento del bagazo de caña natural.

Secado.

El bagazo de caña natural sin procesar, se sometió a un proceso de secado a 80^0C durante dos horas, hasta alcanzar una humedad promedio de 8.4%. La misma se realizo a una temperatura de 105^0C en una balanza de humedad MC 40.

Molienda y tamizado.

El bagazo se redujo mediante un molinado por impacto y cizallamiento, utilizando un molino de rotor de 6 paletas **Modelo SR-2 Marca Restch** (Alemania), con velocidad de rotación de 1500 rpm.
Sobre la base de la información revisada respecto a este tema, se decide trabajar con dos tamaños de partículas, los cuales se obtuvieron a partir de la determinación de las características granulométricas utilizando el análisis por tamizado o cribado.
La muestra de material granular cuidadosamente pesada, se colocó en el tamiz superior y el conjunto de tamices (**SerieTyler**: 0.315, 0.21 y 0.16) se sometió a un proceso de vibraciones en una tamizadota durante un período de 15 minutos. Posteriormente se recogieron las fracciones depositadas en cada tamiz y se determino el rendimiento de cada una de ellas respecto al total procesado. Ver figura 3 donde se muestran los resultados de análisis granulométrico.

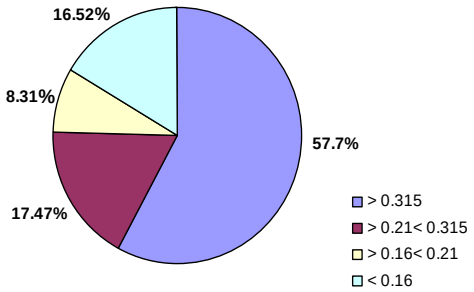


Figura 3. Análisis granolumétrico de la operación de tamizado del bagazo natura

Las fracciones de interés previamente definidas, fueron las contenidas entre las mallas: +0.21 -0,35 mm (Material Grueso) y +0,16 -0,21 mm (Material Fino).

Caracterización del material sorbente procesado (bagazo natural).

Al bagazo natural se le realizó una caracterización física ya que el uso de pruebas elementales permite obtener información muy importante sobre el material objeto de estudio. Fueron estimadas algunas propiedades físicas del bagazo natural tales como: humedad, la densidad aparente o de empaque y flotabilidad y Microscopía Electrónica de Barrido, cuyos resultados se muestran en la tabla II.

Procedimiento experimental

Capacidad máxima de sorción de las fracciones de interés con el hidrocarburo seleccionado.

La determinación de la capacidad de sorción del bagazo de caña natural se determino según la metodología aplicada por ***Ortiz 2004***. Para la misma fueron utilizadas las Normas ASTM D 1141, F-728 y el protocolo canadiense "Oil Sorbente: "Testing Protocol and Certification Listing Program", en el cual se determina la masa de hidrocarburo sorbido por gramo de material sorbente mediante la ecuación:

$$Ca = \frac{m_t - m_0}{m_0}$$

Donde:

Ca = Capacidad de sorción.

m_t = Masa de material impregnado (Peso del sorbente e hidrocarburo sorbido)

m_0 = Masa del material sorbente seco.

Al bagazo natural en sus dos respectivos tamaños de partícula se le realizó el ensayo de máxima capacidad de sorción, con el Diesel regular. Estos ensayos, con las dos granulometrías seleccionadas, se efectuaron con el fin de cuantificar la influencia del tamaño de partícula del material sobre dicha propiedad.

La metodología para esta fase se ilustra en la siguiente **figura 5.**

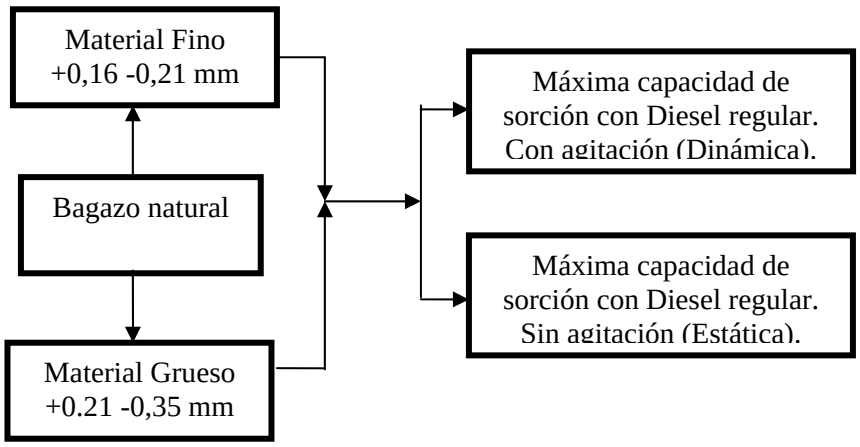


Figura 5. Determinación de la máxima capacidad de sorción del bagazo natural.

Para la capacidad de sorción sin agitación previa, el hidrocarburo se pone en contacto con el Diesel un tiempo establecido a presión atmosférica y temperatura ambiente, para luego ser filtrado por un embudo de malla fina por escurrimiento (24 y 72 horas) y cuantificar la ganancia en peso por el método gravimétrico.
Las pruebas de sorción con agitación previa se llevan a cabo de igual forma que las pruebas de sorción sin agitación, con la diferencia de que el bagazo mas el hidrocarburo, se somete a agitación de 130 ± 2 rpm por un tiempo de 30 minutos en equipo EUROSTAR IKA LABORTECHNIK acoplado a un VISKCOCLIC IKA LABORTECHNIK y un impelente tipo turbina cerrada de paleta. Luego se cuantifica la ganancia en peso del sorbente por el método utilizado anteriormente.
Para los ensayos gravimétricos se utilizó una balanza analítica Marca DENVER INSTRUMENT Modelo TB-224ª, d^{*}= 0.0001g (intervalo de balanza).
* Directiva N^{0} 90/384/CEE para balanza de funcionamiento no automático aplicable en los Estados Miembros de la Comunidad Europea.
Los cálculos fueron programados y procesados en EXEL y para el análisis estadístico se utilizo el programa Statgraphics Plus.

Análisis de los resultados.

Caracterización del bagazo natural.

Las propiedades físicas del bagazo natural utilizado se muestran en la tabla II y en la figura 4

Tabla II– Resultados estimados de algunas propiedades físicas del bagazo modificado.

Propiedad física	Valor promedio MG	Valor Promedio MF
Humedad a 105^{0}C	13.87 %	12.06 %
Densidad aparente	146.8 Kg/m^3	117.9 Kg/m^3
Flotabilidad	si	si

Las muestras de bagazo natural, fueron analizadas empleando la microscopía electrónica de barrido, herramienta muy utilizada en los estudios estructurales de materiales.

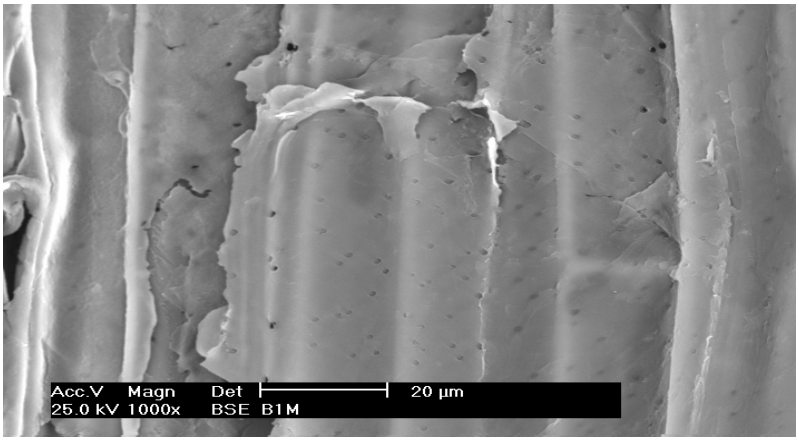


Figura 4. Microfotografías de partículas de bagazo natural.

Al observar la estructura interna del material, se aprecian los haces conductores (pequeños tubos) que son útiles para el flujo del hidrocarburo por capilaridad y finalmente ser retenido en ellos por adhesión. ***Brito 2006***

Capacidad de sorción.

Las abreviaturas que se utilizan en los gráficos para cada fracción utilizada se muestran en la tabla III.

Tabla III. Abreviaturas de las fracciones utilizadas.

Abreviatura	Fracción
MF	+0,16 -0,21 mm
MG	+0.21 -0,35 mm

Al analizar la capacidad máxima de sorción (Ca HC (D) y Ca HC (E) en las diferentes granulometrías utilizadas, cuyos resultados se muestran en los gráficos 1 y 2, se observa que el material con mejores resultados es el material fino (MF) tanto en la forma con agitación previa (D) y sin agitación previa (E) respectivamente a diferentes tiempos de escurrimiento (24 y 72 horas). frente al material grueso (MG) en igualdad de condiciones de operación. Sin embargo es necesario realizar un análisis estadístico para demostrar si las diferencias observadas son significativas o no.

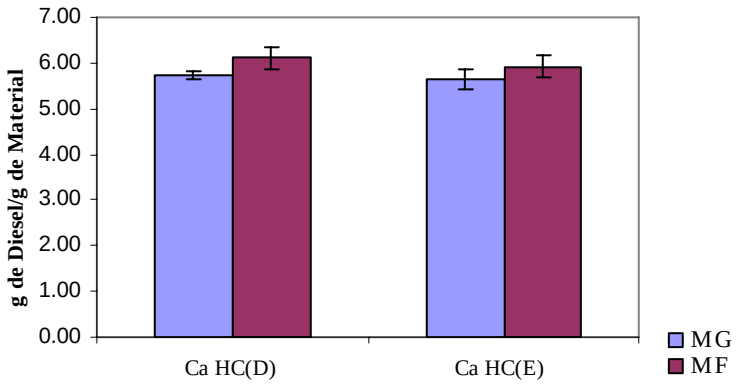


Grafico 1. Capacidad Máxima de sorción del Diesel en el material fino (MF0 y grueso (MG) en las formas estática (E) y dinámica (D) y 24 horas de escurrimiento.

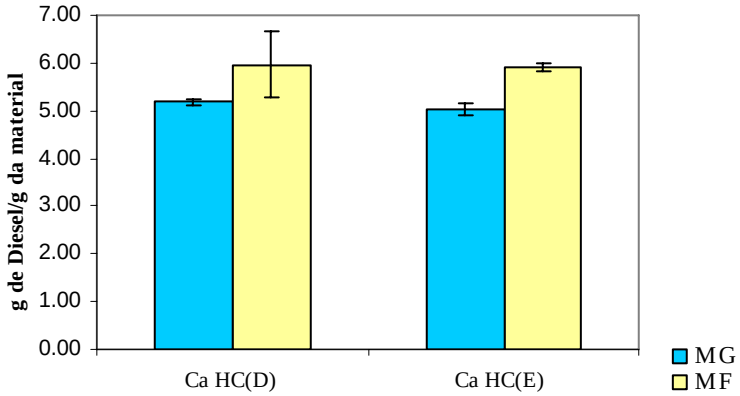


Grafico 2. Capacidad Máxima de sorción del Diesel en el material fino (MF) y grueso (MG0 en las formas estática (E) y dinámica (D) y 72 horas de escurrimiento.

Resultados del análisis estadístico.

Efecto de la granulometría de bagazo de caña de azúcar sobre la capacidad de sorción (Ca).

1. MF y MG. Estudio Dinámico (con homogenización inicial). 24 h de escurrimiento.
2. MF y MG. Estudio Dinámico (con homogenización inicial). 72 h de escurrimiento.

El estudio realizado muestra que cuando se trata el Diesel con bagazo de caña natural con una homogenización inicial con agitación, no existen diferencias significativas estadísticamente entre el uso de una granulometría u otra. Este efecto se observa lo mismo a 24 que a 72 h de escurrimiento (contacto) entre el bagazo y el Diesel.

3. MF y MG. Estudio Estático (sin homogenización inicial). 24 h de escurrimiento.
4. MF y MG. Estudio Estático (sin homogenización inicial). 72 h de escurrimiento.

Los experimentos en condiciones sin homogenización inicial reflejan un comportamiento similar al discutido anteriormente.

Todo lo anterior sugiere que se pudiera trabajar a cualquiera de las granulometrías ensayadas, pero atendiendo a los valores medios de Ca obtenidos, se observa en los resúmenes estadísticos y en las figuras 1 y 2, que a granulometrías menores, los valores son superiores.

Efecto del tiempo de escurrimiento (contacto).

1. MG (+0.21-0.315). Estudio Dinámico (con homogenización inicial). 24 y 72 h de escurrimiento (contacto).

Existen diferencias significativas entre los valores de Ca para esa granulometría cuando los tiempos de escurrimiento (contacto) son diferentes, con valores superiores a las 24 h lo que puede estar relacionado con una saturación del bagazo después de las 24 h. Esto sugiere un estudio de remoción de diesel con el tiempo.

2. MF (+0.161-0.21). Estudio Dinámico (con homogenización inicial). 24 y 72 h de escurrimiento (contacto).

Los resultados del procesamiento estadístico demuestran que no existen diferencias significativas entre los valores de Ca para 24 y 72 h de escurrimiento (contacto). Lo que puede estar dado porque el tamaño de partícula es más pequeña y una homogenización inicial.

3. MF (+0.161-0.21). Estudio Estático (sin homogenización inicial). 24 y 72 h de escurrimiento (contacto).
4. MG (+0.21-0.315). Estudio Dinámico (con homogenización inicial). 24 y 72 h de escurrimiento (contacto).

Se observa que en las dos granulometrías estudiadas, el efecto del tiempo de escurrimiento (contacto) es importante sobre la capacidad de sorción de Diesel alcanzado, con valores medios superiores a las 24 h con respecto a 72 h, ya que los resultados de la prueba estadística multirrango demuestra que hay diferencias significativas.

Efecto de estudio en estático o dinámico (con o sin homogenización).

5. MF (+0.161-0.21). Estudio estático y dinámico (con o sin homogenización inicial). 24 h de escurrimiento (contacto).
6. MG (+0.21-0.315). Estudio estático y dinámico (con o sin homogenización inicial). 72 h de escurrimiento (contacto).

Tanto a 24 h como a 72 h de escurrimiento (contacto) sólido líquido, no existen diferencias significativas entre los métodos experimentales llamados en dinámico y en estático. Por lo que esto sugiere que en estudios posteriores se trabaje sin una homogenización inicial que conllevaría a que se consuma energía eléctrica y un

mayor tiempo total de experimentación, preferiblemente a 24 h de tiempo de contacto y con la menor granulometría de las estudiadas.

No obstante, los resultados de las capacidades de sorción obtenidos con el material evaluado, son promisorios al compararlos con algunos trabajos de otros autores. ***Ch. Teas, Beom-Goo Le y Ali Ghalambor 1998,*** citados por ***Ortiz (2004 a)*** en su trabajo, donde ***Ali Ghalambor 1998*** establece seis categorías de sorbentes (con materiales orgánicos naturales) basado en la capacidad de sorción de un hidrocarburo de 32.5 º API:

1. Sorbentes con capacidad de sorción baja (menor a dos gramos de hidrocarburo por gramo de material.
2. Sorbentes con capacidades de sorción entre 3.5 y 4.5 g/g
3. Sorbentes con capacidad de sorción entre 5.5 y 6.5 g/g
4. Sorbentes con capacidad de sorción de 10 a 12 g/g
5. Sorbentes con capacidad de sorción de 14 a 16 g/g
6. Sorbentes con capacidad de sorción hasta 40g/g

En general, el material sorbentes evaluado se encontrarse en la categoría tres para las granulometrías evaluadas.

Conclusiones.

1. Con el equipamiento existente en el CEQA, con el estudio de la bibliografía referenciada, y el empleo de las técnicas analíticas adecuadas, fue posible establecer la metodología experimental para realizar los estudios de sorción de diesel con bagazo de caña de azúcar.
2. Los estudios realizados demostraron que el bagazo de caña de azúcar tiene potencialidades como sorbente de diesel, demostrándose que los mayores valores de remoción se alcanzan cuando se utiliza bagazo con una granulometría de +0,16 - 0,21 mm, para condiciones de operación en las cuales no se homogeniza la mezcla sólido –líquido por agitación mecánica.
3. Se demostró que para las dos granulometrías estudiadas a las 24 horas de contacto se logran los mayores valores de sorción, con o sin homogenización inicial.

Referencias.

1. J. Brito García, I. L. Rodríguez Rico (2006) .Propuesta de una tecnología para obtener un biosorbente de cr^{3+} a partir del bagazo de caña. Escalado a nivel de planta piloto. Facultad de Química Farmacia. Universidad Central Marta Abreu de Las Villa Cuba.
2. M. Cortes Falcón, I. L. Rodríguez Rico. (2006). Evaluación del impacto ambiental que provoca la tecnología empleada para obtención y uso de un biosorbente de metales pesados a partir del bagazo de caña activado químicamente. Facultad de Química Farmacia. Universidad Central Marta Abreu de Las Villa Cuba.
3. C. Alomá Vicente, I. L. Rodríguez Rico. A. Curbelo Sánchez. (2006). Evaluación de la operación de adsorción de metales pesados empleando columnas rellenas con bagazo de caña químicamente modificado y propuesta de escalado a nivel de planta piloto. Facultad de Química Farmacia. Universidad Central Marta Abreu de Las Villa Cuba.
4. D.P. Ortiz González; F. Andrade Fonseca; G. Rodríguez Niño, L.C. Montenegro Ruiz (2004). Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. Colombia.
5. GHALAMBOR Ali (1998).; Composting technology for practical and safe remediation of oil spill residuals. University of Southwestern Louisiana.

6. LEE Beom-Goo, HAN James S., and ROWELL Roger M; Oil Sorption by Lignocellulosic Fibers; Capítulo 35, Pag, 424-433.
7. TEAS Ch., KALLIGEROS S., Zanikos F., Stoumas S., Lois E., ANASTOPOULOS G; Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spill clean up., Spill Science &Technology Bulletin Volumen 8. Pag 259 – 264.
8. E. Companioni Damas, J. Alfonso Álvarez González, M. A. Díaz Díaz. Sistemas de tratamientos de residuos sólidos petrolizados. Recopilación bibliográfica (2005). Centro de Investigaciones del Petróleo. Ciudad de la Habana, Cuba.
9. EPA 542-F-96-017. Abril de 1996. Guía del ciudadano: Técnicas de tratamiento innovadoras Para suelos contaminados, fango residual, sedimentos y detritos.
10. N. Pérez y S. Saval (2003). Biorremediación de un suelo contaminado con diesel mediante bioestimulación, bioaumentación y composteo en biopilas. Instituto de Ingeniería, UNAM. Ciudad Universitaria. México.
11. P. A. Vargas Gallego, R. Ricardo Cuéllar, J. Dussán (Dic 2004). Biorremediación de residuos del petróleo..Apuntes Científicos Uniandinos No. 4.
12. F. Lopolito María, B.Molina Tirado Liliana, E. Corbella María, K. Soraya2, E. García, D. Lanfranchi, C. Gómez, E. Higa Luís. (2002). Biodegradación de hidrocarburos de petróleo y compuestos relacionados. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas - Centro de Tecnología del Uso del Agua y el Ambiente, Casilla de Correo N°7 - (1802) Aeropuerto Internacional de Ezeiza Buenos Aires. Argentina. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires, Medrano 951 - (1179) Buenos Aires – Argentina.
13. Biomass. Institutional site. American Bioenergy Association. **http://www.biomass.org/index_files/page0001.htm. Acceso 0/10/2004. (2004)**
14. D. Oliva Merencio, G. Antolín Giraldo (2002). Aproximación experimental a la combustión del bagazo de caña en lecho fluidizado. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), La Habana, Cuba. Universidad de Valladolid. Valladolid. España
15. ANTOLÍN, G. G. Y MATA, R. I. (1989) Caracterización de combustibles lignocelulósicos: aplicación a la paja de cereal. Servicios de publicaciones, Universidad de Valladolid.
16. J. Luís Reyes Montiel, La biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental. Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera (CETA), UCLV. Revista *Centro Azúcar* 30(2): 14-20, abril-junio, 2003

DISMINUCIÒN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LOS RESIDUALES LIQUIDOS DEBIDO AL USO DEL SMA EN LAS INSTALACIONES DE EVAPORACIÒN-CALENTAMIENTO DE LA E.A S.A "OFELINA" (PANAMA), DURANTE LA ZAFRA 2OO8.

Lic. Rafael Dunand Castellanos, Lic. Ricardo Martínez Águila , Dr. Israel Cepero Acan
Tec. Mireya Morales Joa

Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ)
Rafael.Dunand@icinaz.minaz.cu

RESUMEN

En el trabajo se describe la situación actual de la Industria azucarera en cuanto al aporte de la carga contaminante de sus fábricas. Ante esta problemática y la necesidad de buscar procesos tecnológicos que aporten menos carga contaminante, se decidió utilizar la tecnología magnética, como sistema de tratamiento físico antiicrustante, el cual no utiliza productos químicos, para prevenir y minimizar los efectos contaminantes que las limpiezas químicas en los sistemas de evaporación de las fábricas azucareras aportan, principal a los residuales líquidos de la Industria azucarera.

Considerando las experiencias obtenidas en el uso del tratamiento magnético de líquidos en industrias nacionales e internacional, así como las bases de este tratamiento. Se traza un plan de experimentación a nivel de fábrica y laboratorio, con el fin de estudiar y evaluar los parámetros fundamentales del tratamiento físico antiincrustante.

En el presente trabajo, se realiza un estudio sobre los efectos en la reducción de la contaminación ambiental durante la aplicación del Sistema Magnético Antiincrustante, utilizado en la línea de evaporación-calentamiento de los jugos. En el estudio se consideran diferentes indicadores que avalan los parámetros fundamentales del jugo de caña a tratar asì como de la carga contaminante aportada producto de las limpiezas de los equipos, ente estos parámetros se estudiaron como fundamentales el O_2 disuelto, el PH, la turbiedad, el DBO y DQO. También se consideraron las características de los distintos reservorios donde se vertían los mismos-

Entre los resultados mas relevantes se obtuvo la reducción de insumos de las limpiezas en los sistemas de evaporación de la Industria Azucarera por concepto del uso de productos de limpiezas (HCL y SOSA CAUSTICA), que en Cuba a nivel nacional se ha revertido en la disminución de residuales líquidos vertidos al medio ambiente en alrededor de un 20 % , mientras que en uno de los centrales de Panamá, donde se realiza el presente estudio se obtuvo como resultado alrededor del 40 % en la disminución de estos residuales, por todo lo cual se produce aportes económicos y medioambientales a las comunidades de los bateyes, menor contaminación a las aguas destinadas fundamentalmente entre otras cuestiones al regadío agrícola, por concepto de menor aporte de carga contaminante al subsuelo.

Palabras clave: Tratamiento Magnético Antiicrustante, Residuales Azucareros, Lagunas de Oxidación, Sistema Magnético Antiincrustante (SMA)-

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más importantes, ya que sin ella no es posible ninguna forma de vida, sin embargo cuando el hombre utiliza el agua en sus distintas actividades, esta se va cargando de sustancias que causan su deterioro y que pueden convertirla en una de las fuentes más intensas de contaminación y diseminación de enfermedades.

Debido a la peligrosidad de estas aguas contaminadas, es necesario que antes de su vertimiento a un cuerpo receptor se le trate previamente.

El tratamiento a que deben someterse las aguas residuales depende del tipo de agua y el cuerpo de agua receptor, pudiendo ser físicos, químicos y biológicos, o combinaciones entre ellos. Entre estos procesos se encuentran los filtros percoladores, lodos activados, digestores anaerobios, remoción de metales pesados, lagunas de estabilización, etc., Díaz Marrero, M. (2002), los cuales son diseñados para disminuir la carga orgánica excesiva que llega a los cuerpos receptores de aguas residuales, para que no creen condiciones anaerobias y se desequilibre la ecología natural de las corrientes.

Uno de los métodos de tratamiento de bajo costo, y que presentan resultados eficiente, son las lagunas de estabilización, llamadas en los centrales azucareros, lagunas de oxidación o simplemente tinas de oxidación.

La caracterización de los residuales que son vertidos en estas lagunas conllevan a la realización de un grupo de análisis con vista a conocer sus características y de esta forma poder estimar su poder contaminante, Díaz Marrero, M. (2002a)

Dentro de los análisis que se le realizan a los residuales y a los efluentes de los sistemas de tratamiento, los más generales que se realizan son :

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
Demanda Química de Oxígeno (DQO).
Sólidos (Tantos fijos como volátiles).
Nitrógeno.
Fósforo.
Alcalinidad.
PH.

Además existen otros análisis que se realizan teniendo en cuenta las
características de donde provienen los residuales, como son :
Determinación de color.
Agentes tensoactivos.
Agentes tóxicos como Plata (Ag), Cianuros (CN 1-), Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cinc (Zn), y otros.
Determinación de desinfectante como Cloro (Cl2), Peróxido de Hidrógeno (H2O2), y Fenoles.

Además existen un conjunto de análisis biológicos que dan índice de
Contaminación bacteriana que suelen realizarse como es el de coliformes totales y fecales.

La DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), es usualmente definida como la cantidad de Oxígeno requerido por las bacterias para estabilizar la materia orgánica bajo condiciones aerobias.

La DBO determinar la fortaleza contaminante de residuales domésticos e industriales en términos del Oxígeno que necesitarían si se descargan a un curso receptor en el cual existen condiciones aerobias. Esta prueba es una de las más importante en el control del poder contaminante de una corriente y para el tratamiento biológico de los residuales, ya que en estos tratamiento se requiere de una relación DBO : N : P

La prueba de DBO es esencialmente un bioensayo, donde se involucran la medición de Oxígeno consumido por los microorganismos vivos para oxidar la materia orgánica biodegradable presente en el residual, bajo condiciones tan similares como sean posibles a las que ocurren en la naturaleza.

Ha sido determinado que para residuales domésticos y algunos industriales, el valor de la DBO5 a 20o C es de 65% a un 80% de la DBO total.

Estudios cinéticos de la reacciones de la DBO han establecido que son
reacciones de primer orden, a sea, la velocidad de la reacción es proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable remanente, por lo que:

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es también ampliamente usada para medir la fortaleza contaminante de los residuales tanto domésticos como industriales.

Esta prueba permite conocer las características de un residual en términos de la cantidad total de Oxígeno requerido para la oxidación de las materias químicamente oxidables.

Este análisis se basa en el hecho que todos los compuestos orgánicos con muy pocas excepciones pueden ser oxidados por la acción de un agente oxidante fuerte bajo condiciones ácida.

El consumo de Oxígeno en un agua residual es debido a la cantidad de materia carbonácea presente y a la cantidad de compuestos nitrogenados en el residual. Las bacterias nitrificantes están en pequeñas cantidades en residuales no tratados y por lo tanto no es hasta después de 8 ó 10 días que ejercen una influencia sobre la DBOtotal.

El indicador de carga contaminante o índice es la relación entre el nivel de producción y la carga contaminante que se genera en esa actividad. El índice define una cantidad de sustancia determinada que se obtiene en la actividad productiva en un tiempo considerado, refiriendo a él la contaminación generada durante el proceso de obtención.

Los índices han de ser el resultado de experiencias anteriores, sean propias u obtenidas de la literatura.

En centrales azucareros el Índice de consumo de agua es de 0.5 m3/ton caña molida y representa este un índice de posible carga contaminante.

MATERIALES Y MÉTODOS

La limpieza tradicional de calentadores y evaporadores se realiza haciendo ebullir primeramente una solución de NAOH entre 10 y 15 % (15 –20 Be). En los casos en que recircula este material se emplean concentraciones entre 25-30 % (30-40*Be). La recirculación de sosa está bastante generalizada no desechándose este producto hasta que no se considera “agotada”. Cuando no se recircula la sosa se destina para la neutralización de productos intermedios o se envía a los enfriaderos. Cualquiera sea el caso dan a contribuir a la eliminación salina a causa de los residuales de las limpiezas, Herminio Manso y R. Morera (1987).

Las aguas de lavado de la limpieza alcalina se vierten siempre a la zanja. Luego del enjuague de la sosa se hace hervir durante más de 2 horas una solución de HCl de concentración 4 % aproximadamente. Este ácido y sus enjuagues son vertidos regularmente a la zanja contribuyendo así al problema de la salinidad de los suelos

Por Ejemplo en un central con molida 1000 ton de caña/día, el consumo medio de ácido en zafras de 150 días es de 10 tm y de alrededor de 125 tm de sosa cáustica. La incidencia de estos residuales sobre la salinidad de los suelos es problema que debe ser resuelto de acuerdo a los lineamientos económicos y sociales trazados por los directivos del Organismos Superiores para estos casos, fundamenta para el beneficio de la preservación del medio ambiente.

Por lo que se ha estado trabajando fuertemente en la solución de este problema con vistas a lograr una amortización de la contaminación por estos conceptos, haciendo mas eficiente en las plantas de tratamiento de residuales y por otra parte aplicando procesos productivos mas eficientes (Nuevas Tecnologías, Técnicas y Producciones mas limpias) en sus instalaciones que aporten menos carga contaminante y así minimizar las consecuencias negativas ambientales en ríos, suelos, costas, bosques y asentamientos humano aledaño a las fábricas

Una de las técnicas de punta considerada dentro de las tecnologías limpias, que no utilizan reactivos químicos y que hoy se está generalizando en Cuba y en la arena internacional para minimizar las consecuencias de los contaminantes líquidos de la Industria Azucarera, es el Tratamiento Magnético que se aplica en los calentadores de jugo y en los vasos evaporadores

Por este concepto se logra aaumentar la eficiencia del proceso fabril, durante la concentración de los jugos, reduce la cantidad de incrustaciones que aparecen en esta área producto del calentamiento de los jugos clarificados y se limpian las superficies de evaporación de los vasos con menor cantidad de productos de limpiezas: El ácido clorhídrico y La sosa cáustica.

Las aguas procedentes de las limpiezas de equipos fabricación. Se originan en los evaporadores y clarificadores, ocasionalmente varía sus características y composición de acuerdo con su volumen. Se dividen en dos corrientes fundamentales:

a) Ácidas y básicas utilizados para remover las Incrustaciones.
b) Agua utilizada en el enjuague de los equipos, cuyo consumo esta en el orden entre 0,8 a 1,2 m3 / tcm, aguas con turbidez, color castaño ligero y bajo contenido de materia sedimentable**.**

Durante la zafra 2008, se montó y evaluó la Tecnología Magnética a través del Sistema Magnético Antiincrustante (SMA) Martínez R. Y Colaboradores (2001), en la E.A “Ofelina”, de la Compañía Azucarera La Estrella S.A, enclavada en los alrededores de los Pueblos de Aguadulce y Nata, de la Provincia de Cocle en Panamá.

El SMA , se aplicó en el sistema de evaporación-calentamiento de séxtuple efecto, considerando un periodo en blanco de referencia donde no se aplicó el tratamiento. La molienda era de 5 000 Ton de caña/día, históricamente las limpiezas se realizaban semanalmente, realizando alrededor de 10 a 12 en toda la contienda. Las limpiezas se realizaban según la metodología para estos efectos, utilizando altos volúmenes de sosa y ácido de acuerdo a sus instalaciones. El consumo de agua en cada contienda de limpieza era en alrededor de 35 000 m^3 por lo que durante la zafra consumían solo por este concepto entre 350 000 – 420 000 m^3, por lo que era potencialmente un volumen considerable que se aportaba a los residuales totales del central.

Esta empresa azucarera, posee 6 reservorios (Lagunas de Oxidación o Tinas), donde se tributaba las aguas residuales, estas estaban enclavadas en áreas de 0.99, 1.00, 1.37, 1.85, 2.53 y 6.06 hectáreas con capacidad para volúmenes de residuales de 22 000, 17 000, 16 440, 34 225, 82 360 y 82 000 m^3 (Esquema 1, Fig. 1).

Esquema No.1 Áreas de las lagunas de Oxidación del central Ofelina (Panamá)

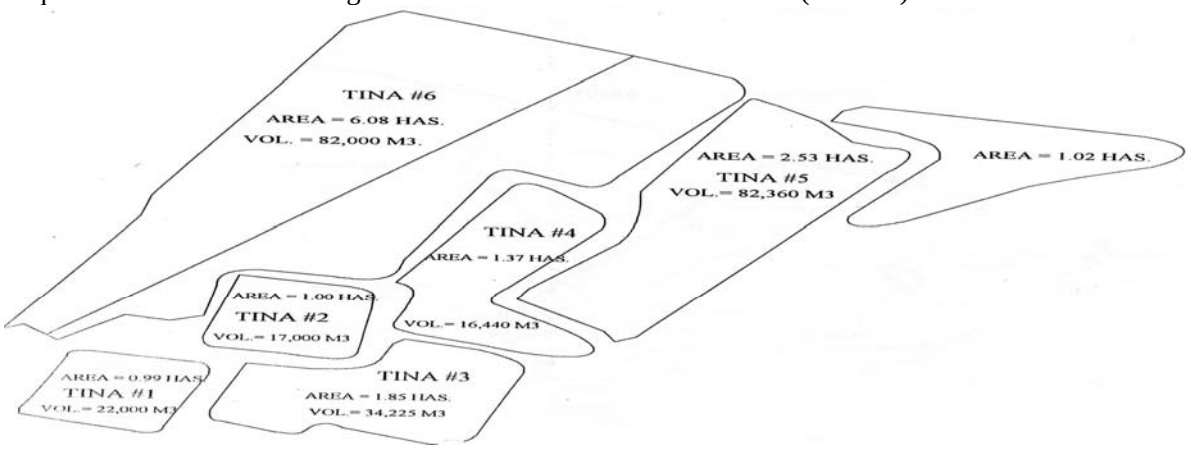


Figura Laguna de Oxidación del central Ofelina S.A/

Tienen un Biorreactor para procesamiento de residuales líquidos y sólidos altamente contaminantes de áreas por secciones de 2390, 2764.72 y 4270.29 m^2 ..

Con el objetivo de caracterizar los residuales durante el año 2007, se efectuaron estudios de las aguas residuales de las lagunas por los Laboratorios de Química y Física Aplicada del Centro Experimental de Ingeniería de La Universidad Tecnológica de Panamá. Los ensayos a las muestras se realizaron de acuerdo a los procedimientos del "Standard Methods for the Examinatiòn of Water and wastewater, 20th edición, 1998, APHA-AWWA-WEF" (Informe No. 05-2832-2007).

El estudio durante nuestra contienda se realizó a través de la valoración del O^2 disuelto en el jugo clarificado y en las aguas residuales de diferentes puntos, el pH, la Temperatura, la Turbidez y el DQO en los residuales de las aguas para Riego, Biorreactor, Reservorios y Calera , estos parámetros se analizaron antes y después del tratamiento, los resultados se dan en la Tab. 1.

Tab. I CIA. AZUCARERA LA ESTRELLA, S.A.

RESULTADOS PROMEDIOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DURANTE LA EVALUACIÒN CON Y SIN TM ZAFRA 2008

1. RIEGOS HACIA 116 y 117							**BIO REACTOR**					**ENTRADA AL RESERVORIO**					**COMPUERTA HAC # 3**		
Tipo Tratmto.	**O2 Jugo Clariificado**	**O2**	**Temp. °C**	**PH**	**Turb. NTU**	**DQO**	**O2**	**Temp. °C**	**PH**	**Turb. NTU**	**DQO**	**O2**	**Temp. °C**	**PH**	**Turb. NTU**	**DQO**	**O2**	**Temp. °C**	**P**
S TM	**0,7**	**3.37**	**37.53**	**6.84**	**32.58**	**180.5**	**5.33**	**37.13**	**7.3**	**710**	**1495**	**3.72**	**38.45**	**6.9**	**27.1**	**121.5**	**2.96**	**29.28**	**6.**
C TM	**1.3**	**1.93**	**36.5**	**6.66**	**47.61**	**60.92**	**3.19**	**37.65**	**5.96**	**2986.34**	**3479.96**	**2.93**	**3.7**	**7.06**	**56.79**	**60.93**	**1.24**	**34.07**	**8.**
Dif.. (%)	**86**	**-57**	**-3**	**-3**	**46**	**-66**	**-60**	**1.4**	**-19**	**421**	**234**	**22**	**-0.6**	**2.6**	**110**	**-50**	**-48**	**16**	**2**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el caso de los jugos clarificados el Oxigeno disuelto se encontró en 20 % mayor para el caso del Sistema Tratado, mientras que en el caso de las aguas de riego, birreactor, reservorio y calera, el Oxigeno disuelto se encuentra en 57, 60, 22 y 48 % menor cantidad respectivamente.

En el periodo tratado magnéticamente se encontró que la temperatura en las aguas de riego tenían 3, 1.4 y 4 % menores, mientras que en el caso de las caleras, biorreactor y reservorios fue un 16 % mayor.

En los periodos de tratamiento también se encontró que el pH, en los residuales del riego y birreactor, se encontraron en 3 y 19 % menor en el caso del sistema tratado, mientras que en el caso del reservorio y la calera, se encontraron 2,6 y 16 % mayor los valores promedios.

En el caso de la Turbiedad se encontraron valores mayores en 46, 300, y 110 % mayores para los casos de las aguas de riego y birreactor respectivamente, mientras que para la Calera disminuye en un 14 %.
en los periodos con tratamiento

En el caso de la DQO, se encontró que en las aguas de riego, reservorio y calera disminuía en un 66, 56 y un 0,3 %, mientras que para el caso para el caso del tratamiento en el birreactor aumentaba en un 234 %, cuando se le aportaba residuales tratados.

Por otra parte el volumen de residuales adicionados por concepto de limpieza al total de los mismos disminuyò en alrededor de un 40 % al disminuir la frecuencia de limpiezas en un 50 %.

Otras de las medidas que se llevó a cabo para el análisis de los residuales, fue el monitoreo, considerando la fauna que vivía en los mismos como eran peces, aves acuáticas, reptiles y mariscos, los cuales sobrevivieron en mayor medida (90 %) a la contaminación reportada históricamente

CONCLUSIONES

1. Se observa que el Tratamiento magnético hace mas eficiente el proceso de depuración en los casos del agua de riego y reservorio y calera, mientras que lo es menor cuantía en el caso del birreactor ya que en los primeros la DQO, disminuye fuertemente a acepción de la calera donde no es significativa la disminución, mientras que en el birreactor aumenta considerablemente, debido a que se adiciona menor contenido líquido de residuales tratados magnéticamente.

2. Los volúmenes de residuales disminuyeron en un 40 %, al disminuir la frecuencia de limpieza en alrededor de un 50 %

3. Según el monitoreo de la fauna que habita los reservorios de las lagunas de oxidación la sobrevivencia de animales (peces, aves acuáticas, reptiles y mariscos) sobrevio en un 90 % mayor, por efecto de menor contaminación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar el estudio de los residuales a través del análisis de los indicadores de la contaminación en sus aguas y reservorios, así como a través del monitoreo de la fauna que habita en los mismos. Por otra parte adicionar mayores puntos y frecuencia de muestreos en las lagunas donde se depositan los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Díaz Marrero, M. (2002), Tratamiento de residuales por sistemas naturales. Centro de Estudio de Procesos en Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico
2. M.Sc.Miguel Díaz Marrero (2002a), Indicadores de la contaminación, Centro de Estudio de Procesos en Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico
3. Herminio Manso y R. Morera (1987). Algunas alternativas para la eliminación y uso de los residuales ácidos y alcalinos de las limpiezas en fábricas de azúcar de crudo, Rev. Cuba Azúcar, Enero-Marzo, 1987.
4. Dunand R y Colaboradores (2006). Posibilidades de aplicación del la tecnología magnética integral en la Industria Azucarera. Rev. Tecnología Química, tirada especial sobre electromagnetismo.
5. Martínez R. Y Colaboradores (2001). Sistema Tecnológico Antiincrustante. XIII Forum de Ciencia y Técnica, La Habana, Cuba.

PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE LA CRIA PORCINA, SU CONTRIBUCION AL DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE

MSc. Danislevy Mijares Medina, Ing. Nuvia Corona Estrada,

Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA)
E-mail: dani@inica.minaz.cu

RESUMEN

La necesidad creciente de buscar soluciones, con recursos nacionales, a los problemas económicos, energéticos y ambientales, para aprender a sobrevivir bajo circunstancias y condiciones adversas, en pos de mejorar la calidad de vida, en medio de las crisis que enfrenta el mundo contemporáneo, representa la mejor manera de trabajar por el propio desarrollo. La participación activa de las comunidades rurales, la cooperación entre ellas es fundamental para la generación y difusión tecnológica.

Como es conocido en los últimos años, las fuentes renovables de energía han ido adquiriendo globalmente una importancia cada vez mayor, básicamente por razones energéticas y ambientales. El déficit de energía que sufre el mundo actual y en particular los países subdesarrollados, tiene una situación cada vez menos favorable. Las fuentes tradicionales de energía (combustibles fósiles, electricidad, etc.), no parecen ser solución a largo plazo.

Este problema plantea la necesidad de encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos locales disponibles como son los residuos orgánicos (estiércoles y plantas), los cuales pueden ser usados como simple medio para producir energía y biofertilizantes por medio de plantas de biogás. Este estudio estima los beneficios directos y funcionales que pueden derivarse de la instalación de un biodigestor de 13,23 metros cúbicos de volumen, contribuyendo con la revolución energética que lleva a cabo nuestro país además de preservar y conservar el medio ambiente. Teniendo como objetivo implementar una cochiquera en la EPICA Habana, Santí Espíritus y Holguín para la producción de carne, la construcción de un biodigestor para la producción de gas metano que será alimentado a partir de la excreta porcina obteniendo además una producción de muy favorable de fertilizante orgánico.

INTRODUCCIÓN

La cría de animales en cautiverio, con el fin de utilizarlos como fuente de proteína en la alimentación humana, es una práctica bastante generalizada entre los pobladores. La especie que más se utiliza con estos fines es la porcina, la cual en décadas pasadas era criada de forma libre por la mayoría de las personas.
Actualmente esta práctica está más limitada por diferentes factores de orden práctico y económico, lo que hace que un gran número de viviendas posea corrales para la cría de estos animales, los cuales generan un volumen considerable de residuales; cada cerdo de 50 kg de peso genera un volumen de residuales equivalente al de 5,6 personas adultas que al ser dispuestos de forma tradicional al entorno constituyen contaminantes de las aguas superficiales y del manto freático, lo que resulta relativamente alto y sobrepasa el nivel del suelo durante las frecuentes inundaciones ocasionadas por períodos de lluvia asociada a eventos climáticos característicos de nuestro país, como es el caso de los huracanes, las bajas tropicales y otros.
Con el fin de dar solución a la necesidad de combustible de uso doméstico a los pobladores, así como para disminuir la contaminación de las aguas y el deterioro de la cobertura, se trabajó en el diseño, montaje y explotación de un modelos de biodigestor para la obtención de biogás, para lo cual se diseñaron un prototipos a partir del modelo de cúpula flotante, reduciendo en la mayor medida posible sus dimensiones. De esta forma quedo diseñado un modelo de biodigestor de cúpula flotante de 10- 15 m^3 de volumen, que será alimentado por excreta porcina con un volumen de carga diaria 0,45 m^3 esto permitirá abastecer alrededor de 30 personas con un consumo diario por persona de 0,30 m^3 de biogás evitando a la atmósfera la expulsión de 2,75 t de CO_2.

ANTECEDENTES

En los países del tercer mundo, el subdesarrollo y la pobreza contribuyen a acelerar la degradación del medio ambiente. La carencia de alimentos, la insalubridad y las limitantes posibilidades para satisfacer sus necesidades básicas, ejercer grandes presiones sobre el medio ambiente. La presión poblacional y la pobreza conducen a esfuerzos desesperados para sobrevivir aún a costa de la naturaleza. A fin de sobrevivir, se talan los bosques, se degradan los suelos y se contaminan las aguas y el aire trayendo como consecuencia la concentración y la extracción indiscriminada de los nutrientes del suelo, afectando los procesos que regulan la productividad de los sistemas agrícolas (***Suplemento Especial, 2004***).
Durante años los pobladores se han dedicado a la cría de animales en cautiverio principalmente a la cría de cerdos, en 1991 producto al derrumbe del campo socialista se buscan alternativa que van en busca de satisfacer las necesidades de la población en cuanto la alimentación, uno de estas propuestas fue el desarrollo de porcinos a pequeña escala, a partir del 2004-2005 con la revolución energética en Cuba, determina que estas cochiquera eran parte de los focos de contaminación de cada localidad donde se encontraban y se le adjunta a estas, la construcción de biodigestores para reducir la carga contaminante local y del medio ambiente.

Breve historia del origen del biogás

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al 1.600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica, siendo chinos e hindús los precursores de los digestores hoy conocidos como biodigestores, que son los distintos sistemas diseñados para la producción de biogás.
En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.
Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia. Esta difusión se ve

interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.
Las últimos 25 años han sido muy importantes en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo equipamiento de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno).
Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son:

China, India, Gran Bretaña Holanda, Francia, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania. Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico. Esta tecnología es conocida por el hombre desde tiempo atrás, pero poco utilizado, especialmente en América Latina.

En Cuba, se introdujo esta tecnología en 1940 construyéndose dos biodigestores de 471 m^3 cada uno para obtener biogás a partir de los residuales industriales en la cervecería del Cotorro, Habana lo que se pusieron en funcionamiento en 1948. A finales del 70 y la primera mitad del 80 del siglo XX se construyen más de 400 biodigestores de pequeña escala del tipo Hindu para el alumbrado de vaquería. En el país se construyeron alrededor de 550 instalaciones pequeñas de biogás en vaquerías rústicas, con el propósito de sustituir el mechón o lámpara de kerosene artesanal para el alumbrado de las instalaciones durante la jornada del Ordeño Manual . Cada día estas plantas de biogás han ido abandonándose, llegando hoy a la cifra de 4 00 instalaciones y donde sólo trabajan el 70 % de ellas ***(Luis Z. González et al.., 2005).***
Se calcula más de 100 las instalaciones de pequeña y mediana escala que usan este combustible, especialmente en la cocción de alimentos y aprovechando el estiércol vacuno y porcino como materia prima. El costo de una planta pequeña es de mil dólares. “Pero a nosotros nos está saliendo no más de 800 dólares”, asegura. Cubasolar (Sociedad cubana para la promoción de las fuentes renovables de energía y el respeto ambiental), **Patricia Grogg**, **2005.**
La Oficina Nacional de Estadística reporta que hay 70 minidigestores instalados hasta el 2001, con un crecimiento de 16 % con respecto al 2000; Pinar de Río, con 17, es la provincia donde hay más instalados (***José A. Guardado, 2006***).
Cuba tiene un potencial en este renglón de 152 mil toneladas de combustible convencional por año, el cual proviene de unos 78 millones de metros cúbicos al año de vertimientos de desperdicios orgánicos. Estos datos evidencian que el trabajo realizado para desarrollar la producción de biogás ha sido sólo incipiente y que se deben tomar medidas encaminadas a lograr instalaciones en los lugares donde se necesite, además de hacerlo de forma eficiente, participativa y sustentable.

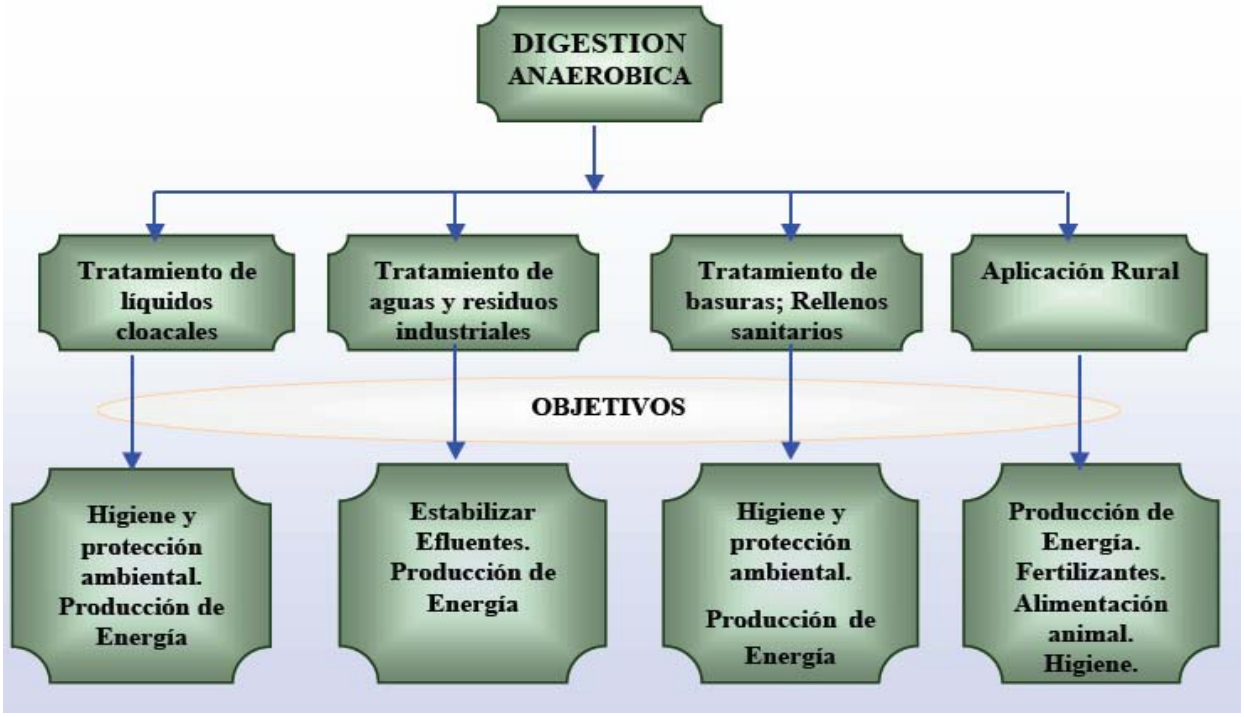
DESARROLLO

Los principales actores de la gestión ambiental nacional enfatizan en que la solución de los principales problemas ambientales que afectan al país, debe ser vista con un enfoque ecosistémico e integrador y no como la solución aislada de cada uno de ellos, pues se concatenan en sus consecuencias y efectos sobre el principal componente del medio ambiente: el ser humano y el mejoramiento de su calidad de vida.
Las naciones deben desarrollar simultáneamente planes para invertir en fuentes alternativas de energía con la vista puesta en un futuro sin petróleo y sacar conclusiones lógicas sobre las razones por las cuales países de alto desarrollo como Alemania o el reino de los Países Bajos (Holanda) mantienen y extienden sistemas nacionales para aprovechar fuentes renovables de energía como el sol y los vientos.

En momentos en que el mundo se precipita a una severa crisis de los hidrocarburos debido a su despilfarro y uso irracional, la mirada de los más previsores se centra en el ahorro y la utilización de las fuentes renovables de energía.

Aplicaciones del biogás:

A lo largo de los años transcurridos, la tecnología de la digestión anaeróbica se fue especializando, abarcando actualmente muy diferentes campos de aplicación con objetivos muy diferentes.



APROVECHAMIENTO DE LOS EFLUENTES

- Existen amplias evidencias del incremento en la producción de distintas especies provocada por la aplicación de efluentes al suelo, no obstante esto dependerá de sistemas biológicos muy complejos como son: el material orgánico de carga, el digestor, el suelo y finalmente el cultivo.
- Debido a su acelerada descomposición el efluente brinda rápidamente nutrientes disponibles. Los ácidos húmicos presentes en este material contribuyen a mejorar la estructura del suelo y su porosidad aumentando al mismo tiempo la capacidad de intercambio. La cantidad de humus estable duplica generalmente al que se consigue mediante la utilización de estiércoles incrementando al mismo tiempo en forma significativa la actividad biológica del suelo.
- El elevado contenido de nitrógeno en forma de amonio (NH4) presente en los efluentes ayuda a evitar la pérdida por lavado y lixiviación del nitrógeno del suelo al igual que las pérdidas por volatilización producidas por los procesos de desnitrificación biológica.
- El efluente de los digestores tiene otras aplicaciones entre las cuales merecen mencionarse: la alimentación de animales en raciones balanceadas, como sustrato para el crecimiento de algas y peces en estanque cerrados.

Aplicación en el área rural:

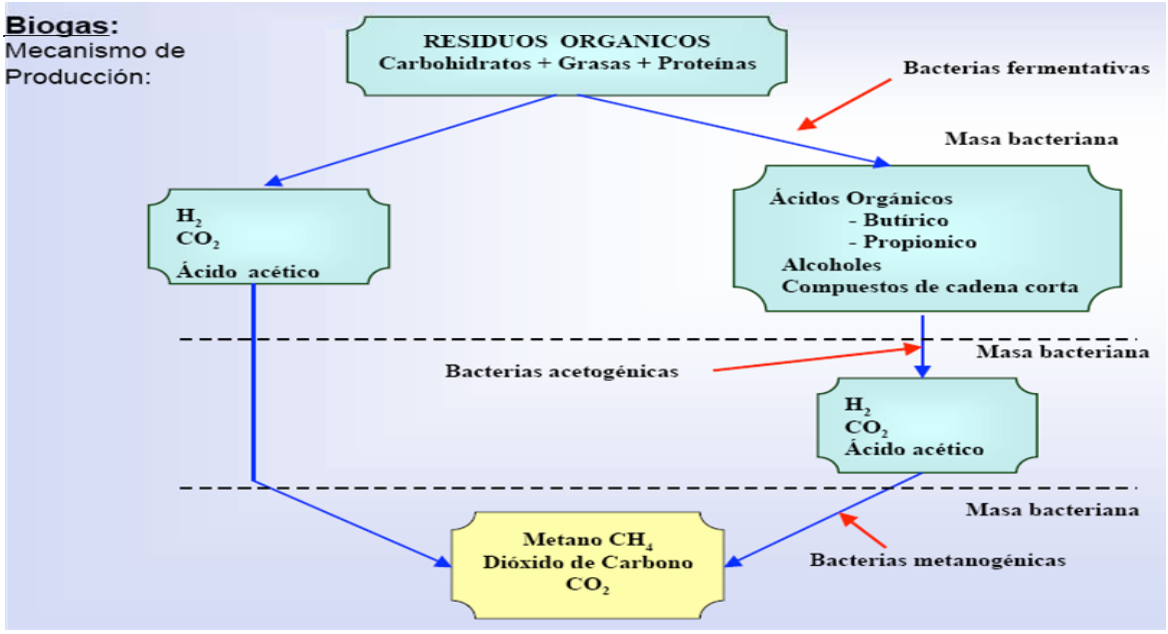
• La aplicación del biogás en el área rural ha sido muy importante, en este caso la tecnología desarrollada ha buscado realizar digestores de fácil uso, mínimo costo y mantenimiento, aunque sus rendimientos son bajos,

sus objetivos son dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores especialmente de zonas marginales y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía.

La necesidad de obtener nuevas fuentes renovables de energía y detener la contaminación ambiental hace que la tecnología del biogás este bien adaptada a las exigencias ecológicas y económicas del futuro, por lo que constituye una tecnología de avanzada.

Estudios genéricos de la composición del biogás:

Gases	**Desechos Agrícolas**	**Lodos Cloacales**	**Desechos Industriales**	**Rellenos Sanitarios**	**Caract.**
Metano CH_4	30-80%	40-80%	40-80%	45-65%	Inflamable, inodoro
CO_2	30-50%	20-50%	30-50%	30-55%	Forma ácido, inodoro, asfixiante
H_2S	100-7000 ppm	0-1000 ppm 0-1 %	0- 1000 ppm 0-1%	0-500 ppm	Corrosivo, inflammable, toxico,olor
Hidrógeno H_2	0-2 %	0-5% 0-	0-2%	1%	Inflamable, inodoro
Amoníaco NH_3	0-1%	0-1%	0-1%	0-1%	Corrosivo, irritante
Nitrógeno N_2	0-15%	0-3%	0-1%	0-30%	Inerte, inodoro, asfixiante.



CONDICIONES DETERMINADAS PARA LA SINTESIS DE METANO

- **La temperatura**: habitualmente se admite que la digestión anaerobia no se puede efectuar sino a temperaturas superiores a 10 º C e inferiores a 65ºC. Dentro de unos límites, parece que la producción de metano tiene dos puntos óptimos:
  - ✓ Zona Mesofílica 40ºC.
  - ✓ Zona Termofílica 50-55ºC.

- **El pH:** en las diferentes fases de la digestión, el pH fluctúa entre los valores de 6.5 y 8.0.

  - ✓ Una disminución del pH por debajo de 6.5 puede significar una concentración demasiado alta de ácidos grasos volátiles y por tanto una inhibición de la metanogénesis.
  - ✓ Por encima de un pH 8.0 se produce la formación de hidrógeno, de hidrógeno sulfurado y de amoniaco.

- **Tiempo de permanencia de los sustratos**: es la composición misma del sustrato y las condiciones de funcionamiento que se mantienen (tipo de procedimiento, seleccionado, temperatura...) que permiten determinar el tiempo de permanencia óptimo de desechos o de efluentes en el digestor.
- **El potencial redox:** Los ensayos realizados en cultivos puros han demostrado que las bacterias metanógenas sólo actúan a un bajo potencial redox: -300 a -330 mV. Por esto es conveniente la introducción al digestor de elementos oxidantes y particularmente de asegurar una buena hermeticidad.

Los nutrientes y los inhibidores: habitualmente se admite como óptimo una relación de C/N de 35 y C/P de 150 **(*Maria de los Angeles et al..., 2007*). Obtención de biofertilizantes para su aplicación en la Finca.**
Los lodos y líquidos, empleados cómo ***biofertilizante*** resultan mejores que los fertilizantes orgánicos conocidos, cómo el compost, cuya descomposición es aeróbica, es decir en presencia de oxígeno, debido a:

1.- El contenido de nitrógeno asimilable es mayor en la materia orgánica descompuesta anaeróbicamente que en la aeróbica. Las pérdidas de nitrógeno se comportan al 50 % para la descomposición aeróbica y al 10 % para la anaeróbica.

2.- La pérdida de fósforo en el compost es 15 veces mayor que en biofertilizante de biogás. Los experimentos han demostrado que el contenido de fósforo asimilable está entre el 10 y el 20 % en el fertilizante de biogás, mientras que el contenido de fósforo orgánico e inorgánico es de 1 a 3 veces mayor que en el compost.

3.-Producto de la fermentación anaeróbica, se puede recuperar más del 90 % del potasio presente en la materia orgánica, ya que los iones no pueden ser lavados por la lluvia cómo es el caso del compost. Los residuos sólidos digeridos contienen 0.6 - 1.2 % de potasio, mientras que los líquidos 0.05 - 1.0 %.

4.- Las pérdidas de carbono orgánico son menores en la fermentación anaeróbica que en la fermentación del compost, lo cuál se demuestra en la tabla**.** Comparación de las pérdidas de carbono orgánico por la fermentación anaeróbica y fermentación del compost.

Tratamiento	Acido húmico (%)	Semicelulosa (%)	Celulosa (%)	Lignina (%)
Digestión	28.49	30.55	15.73	13.1
Compost	14.46	19.82	8.03	10.4

Contenidos promedios de elementos nutritivos en efluentes de biodigestores con diferentes materias primas:

Estiércol	**N. total (%)**	**P_2O_5 (%)**	**K_2O (%)**	**CaO (%)**	**MgO (%)**
Aguas residuales	1.5 – 5.0	1.5 – 5.0	0.1 – 0.3	4.0 – 6.0	0.6 – 2.0
Bovino	2.3 – 4.7	0.9 – 2.1	4.2 – 7.6	1.0 – 4.2	0.6 – 11
Porcinos	4.1 – 8.4	2.6 – 6.9	1.6 – 5.1	2.5 – 5.7	0.8 – 1.1
Aves	4.3 – 9.5	2.8 – 8.1	2.1 – 5.3	7.3 – 13.2	1.1 – 1.6

Metodología para el cálculo del biodigestor.

1. Volumen de biogás necesario (Vbn), en m^3/ día.	$Vbn = Vbnc \times n_p$
2. Volumen de biogás adicional, (Vba), en m^3/ día	$Vba = 0.10 \times Vbn$
3. Volumen de biogás real, (Vbr), en m^3/ día	$Vbr = Vbn + Vba$
4. Volumen necesario del digestor, (Vnd), en m^3	$Vnd = 1.4 \times Vbr$
5. Volumen del digestor preseleccionado, (Vdp), en m^3	$Vdp = \frac{\pi d^2}{4} x h$
6. Comparación entre el volumen del digestor necesario y el volumen del digestor preseleccionado	$Vdp \approx Vdn$
7. Coeficiente de comparación geométrica (cg).	$cg = \frac{h}{d}$
8. Volumen de almacenamiento del biogás (Vab), en m^3.	$Vab = 0.6 \times Vbr$
9. Cantidad de excreta total para la carga inicial (Cet), en kg	$Cet = 500 \times Vdp$
10. Volumen de carga diaria (Vcd), en m^3	$Vcd = \frac{Vdp}{Tr}$
11. Cantidad de excreta diaria (Ced), en kg	$Ced = 500 \times Vcd$
12. Cantidad de biofertilizante diario producido (Cbp), en kg	$Cbp = Ced$

Donde:

Vbnc – Volumen de biogás necesario diario para la cocción para una persona, (0.20 a 0.3 m^3/ día- persona).

d – diámetro del tubo de alcantarillado (800 mm), en m;

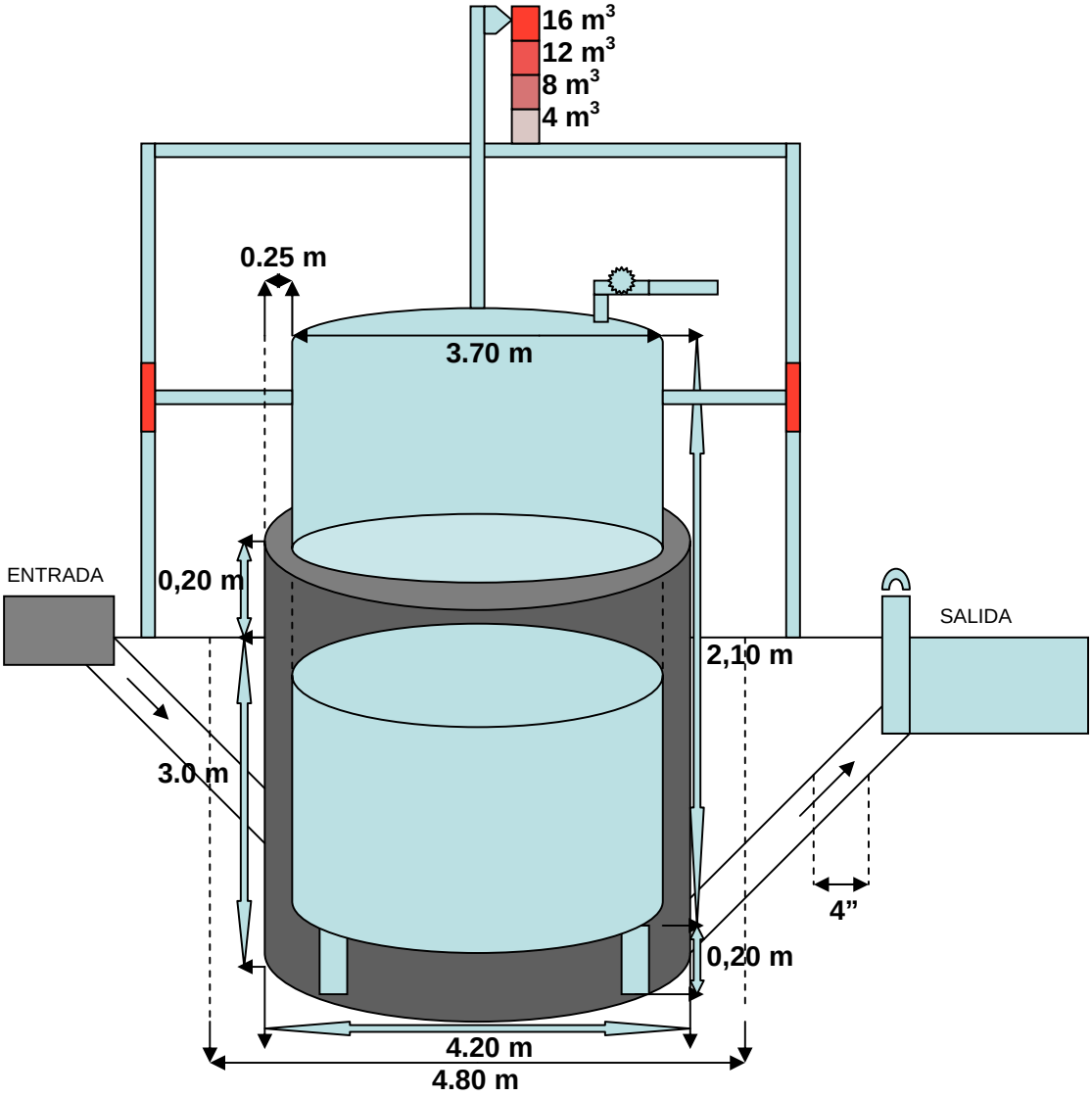
h – altura del tubo de alcantarillado (1 500 mm), en m.

cg- su valor debe encontrarse de 0.4 a 1.4.

Tr – Tiempo de retención (20 a 30 días), en días

Diseño constructivo del biodigestor:

BIODIGESTOR DE CUPULA FLOTANTE



Algunas posibles fuentes de biogás presente en la finca:

Fuente	Excreta humeda diaria (kg) por animal	m^3 de biogás/día	Proporción excreta: agua	T. de Retención
Toro	15	0.54	1:1	40 días
Cerdo (50Kg)	2.25	0.10	1:1 - 3	40 días
Caballo	10	0.30	1:1 - 3	40 días
Carnero	2	0.10	1:1 - 3	40 días
Pollo	0.18	0.008	1:3 - 8	30 días
Persona adulta (baños)	0.40	0.025	1:1	60 días

Producción de biogás a partir de excremento de cerdos.

Número de animales	Cantidad de estiércol (Kg.)	Cantidad de biogás (m3)
1	2, 25	0, 14
10	22, 5	1 ,40
20	45, 0	2, 80
40	90, 0	5, 60
70	157, 5	10, 0
80	180	11.2

Relación animal-excreta-rendimiento del biogás:

Cerdos	Cantid de excreta por día (kg)	Rend. del biogás (m^3/kg de excreta)	Prod. de biogás (m^3/ animal por día)
Grande	2.25	0.07	0.14
Mediano	1.75	0.07	0.10
Pequeño	1.25	0.07	0.07

Disminución en la emisión de CO_2 por el uso de biogás producido por un biodigestor de 13,23 m^3 como alternativa a la combustión de diesel.

Producción de biogás m^3/año	Energía producida † kW/año	Ahorro en emisión ‡ kg CO_2/kW	Disminución en emisión de CO_2 kg/año	Disminución total en emisión de CO_2 t/año
2727	16 252,9	0,34	8939,1	8.95

† El equivalente calorífico de 1 m^3 de biogás es de 5,96 kW. (Sasse, 1988).
‡ Disminución de emisiones estimado por Kumar *et al*. (2000).

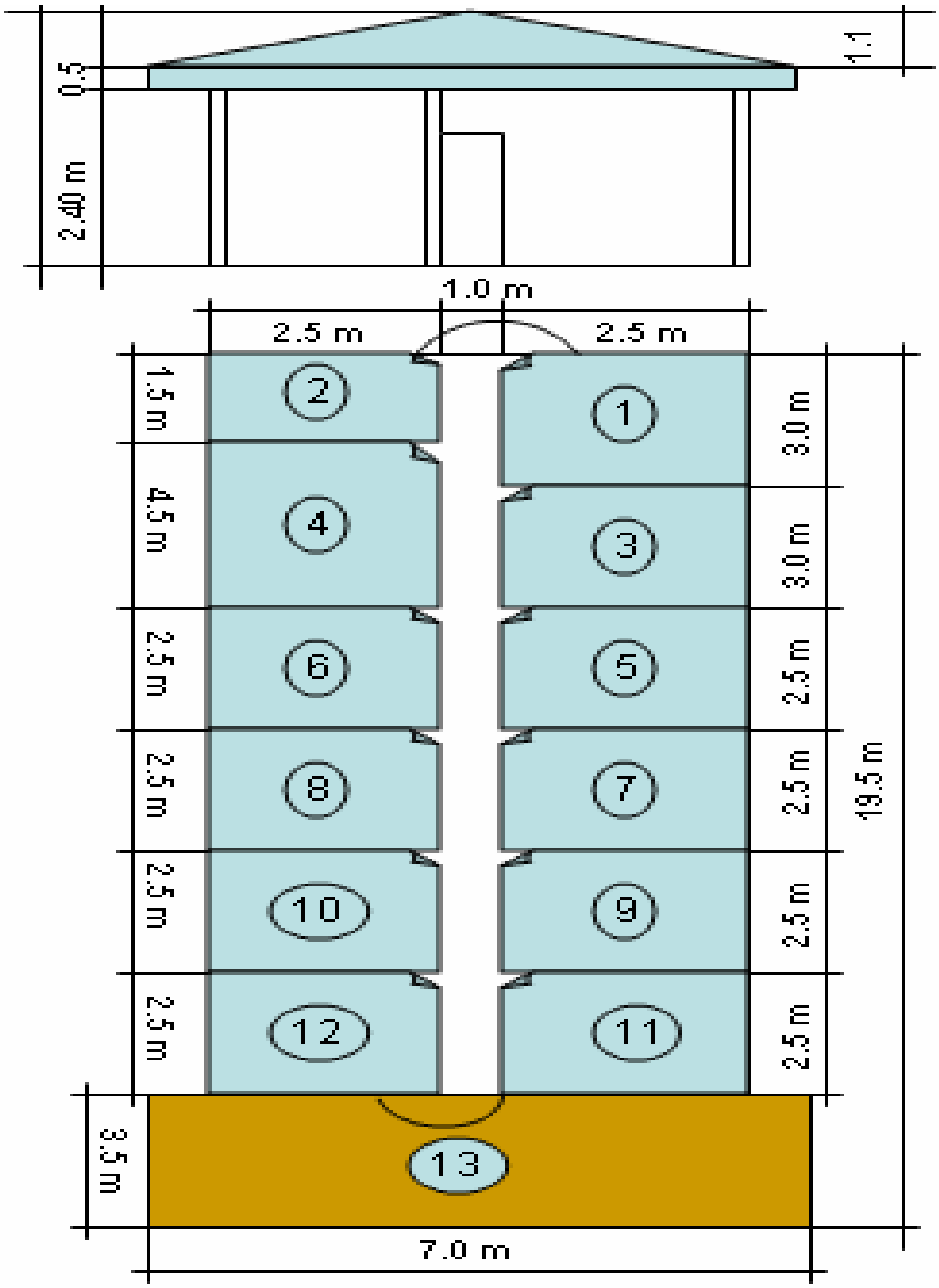
La tecnología socialmente apropiada es una herramienta útil para:

- Promover el desarrollo sustentable en cada comunidad a través de energías limpias y renovables como el biogás y la producción de alimentos sanos mediante abonos orgánicos libres de agrotóxicos.
- Estimular experiencias a favor de una economía ambiental en contra posición a la economía tradicional con su visión incompleta de la naturaleza y de la sociedad.
- Ser adoptada, construida y mantenida por las propias comunidades que la necesitan para cubrir sus necesidades y mejorar sus condiciones de vida.
- Emplear para los usos domésticos como: cocinar, calentar agua, general energía etc., una fuente de energía renovable, el biogás, producido a partir de residuos orgánicos, contribuyendo a su saneamiento y reciclaje.
- Apostar fuertemente a la supervivencia del planeta y la población, antes de que sea demasiado tarde para recuperar los recursos y sistemas vitales degradados como el clima, el agua y la tierra.

Materiales utilizados en la construcción del biogás para:

Materiales	**U/M**	**Necesidad de Materiales por cada planta**	
		10 m^3	**14 m^3**
Cemento	Bolsas	25	35
Arena	m^3	2	3
Gravilla	m^3	1.5	2
Polvo de piedra	m^3	4	4.5
Bloque de 15”	Unidad	230	250
Ladrillo	Unidad	670	700
Cabilla de $^1/_2$	tm	0.03	0.03
Tuvo de 4”	Metros	5	5
Tuvo de 3”	Metros	5	5
Número maximo de cerdos por biodigestor		**54**	**78**

Diseño de la cochiquera:



DESCRIPCIÓN

Corrales de Ceba	1; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12
Corral de Semental	2
Almacén	13

Objetivo del proyecto:
Contribuir a soluciones locales para el desarrollo sustentable con la implementación de una cochiquera en la EPICA Habana, Sancti Espíritus y Holguín para la producción de carne y con la construcción de un biodigestor lograr la producción de gas metano, que traen beneficios significativos en el bienestar de la comunidad y del medio ambiente, así como obtener producciones de fertilizantes de alta calidad.

Objetivos Específicos:

1. Estudiar la situación económica-ambiental y social de la comunidad cercanas a la construcción de las tecnologías mencionadas.
2. Implementación de la tecnología de biogás para la reducción a escala local de las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global y la utilización de sus subproductos para la comunidad local y para la producción de alimentos.
3. Implementar la construcción de la cochiquera para la cría de cerdos, para la producción de carne logrando mejorara la calidad de vida de los trabajadores de la Empresa
4. Elaborar un programa de capacitación para aumentar el conocimiento en las comunidades locales sobre el daño para la vida y el medio ambiente, del uso de contaminantes orgánicos persistentes y promover productos, procesos y prácticas alternativas (renovables y sustentables).

Resultados a alcanzar:

1. Aumentar la calidad de vida de la comunidad a partir de los beneficios otorgados por las tecnologías propuestas.
2. Aumentar el conocimiento en las comunidades locales en un 80% sobre los productos, procesos y prácticas alternativas (renovables y sustentables) a través de un programa de capacitación.
3. Incrementar la participación activa de la comunidad en el cuidado y manejo sostenible de los ecosistemas en más de 90%.

Impactos económicos:
Se evidencia la magnitud de provecho que se obtiene con las tecnologías propuestas por el aumento de las ganancias de los usuarios con obtención de insumos necesarios.

1. Se obtiene como promedio anual 2727 m^3 de biogás que representa 1,48 t de petróleo al año.
2. Se obtiene como promedio 452.3t/año de biobano que sustituye fertilizantes químicos.

Ecológicos:
Se demuestra a través de la cuantificación del daño evitado al medio ambiente con las propuestas realizadas a partir de la fuente de energías establecidas para el proyecto.

1. Se disminuye la emisión a la atmósfera de CO_2 y CH_4, gases causantes del efecto invernadero por usar combustible fósil y fertilizantes químicos.
2. Posibilidad de mejorar los suelos.
3. Mejora las condiciones higiénico – sanitarias del medio circulante.
4. Se evita la tala con la utilización de la tecnología del biogás.

Social
Se manifiestan en la medida en que los habitantes obtienen mejor bienestar atribuido a las propuestas desarrolladas.

1. Ahorro de portadores energéticos convencionales proporcionado por una fuentes de energía alternativa.
2. Formación de los habitantes de una cultura ambientalista.
3. Capacitación de los productores y administración en el uso de las tecnologías ambientalmente sostenibles.

Justificación económica

Este proyecto ofrece aportes significativos al desarrollo del país logrando aumentar las producciones agrícolas, favorece la dieta alimenticia con los aportes de carne de cerdos, aporta energía, mejora la calidad de vida de la comunidad y el medio ambiente.

Una planta de biogás ofrece:

- Beneficio económico para la venta y ahorro de energía eléctrica y de calor.
- Beneficio en valor fertilizante del producto obtenido.
- Reducción de males olores, y semillas de males hiervas al purín digerido.
- Diversificación de la empresa.
- Reducción en la emisión de gases que causan el efecto invernadero (Kyoto).
- Puestos de trabajo rurales y descentralización de fuentes energéticas.
- Reducción del potencial contaminante de los residuos agrícolas.
- Cambio de visión del sector. Considerado como una actividad moderna y favorable al medio ambiente.

Balance de los gastos de construcción medidos en energía producida por la planta:

- Para 1m^3 de mampostería se consume 1000 kWh o 180 m^3 de biogás.
- Para 10kg de acero se consume 1200 kWh o 200 m^3 de biogás.
- Para 1kg de pintura de aceite 170 kWh o 28 m^3 de biogás.
- Para 1km recorrido en camión 1,5 kWh o 1,05m^3 de biogás.
- Para 1km en automóvil 0,5 kWh o 0,35m^3 de biogás.

Para amortizar la inversión inicial, la planta debe funcionar 2 años por lo menos. En realidad el verdadero beneficio será evaluado por cada propietario en particular, ya que dependerá del valor y cantidad de combustible que remplaza el biogás o el costo de la energía remplazada. La vida útil de la instalación de una planta de biogás puede llegar como promedio a 20 años.

Recuperación de la Inversión

Gastos de los equipos eléctricos domésticos:

Consumo eléctrico por equipos.	Potencia (W)	Horas	Energía (Wh/día)	Energía (Wh/mes)
Olla arrocera	500	1	500	15 000
Cocina eléctrica	1 200	2	2 400	72 000
Olla de presión eléctrica	800	2	1 600	48 000
Jarra eléctrica	1 700	0.15	255	7 650
Total	**4 200**		**4 755**	**142 650**

Consumo energético total de los equipos: 143 kWh/mes = 0.040 t de combustible.

1716 kWh/año x 3 años de ejecución = 5148 kWh x 10 casas = 51480 kWh

Equivale a: 15, 48 t x 3 provincia = 46, 44 t

	Cantiadad	**Kg/ 6 meses**	**Precio /Lb**	**CUP**
Cerdos	240	43 200	$ 2,80	120 960
Biogás	8181 m^3	4,53 t/petróleo	3 793,17 CUP	3077,05 CUC
Ahorro eléctrico	51480 kWh	46,44 t/ petróleo	38 886,27 CUP	31544,85 CUC
Fertilizantes	1356,9 t/año		108 552 CUP	67 845 CUC
CO_2 evitado	56,08 t			
Deforestación evitada	2740,64 ha			
Total			**272 191,44 CUP**	**102 466,9 CUC**

Se ha calculado que un metro cúbico de biogás utilizado para cocinar evita la deforestación de 0. 335 ha de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles (Sasse. 1989).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bohemia. “Suelos una mirada hacia abajo”. 28 de Junio del 2002, Año 94, No 13.
- Cairo y Fundora, O. 1994. Edafología. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.
- Conserjería de Agricultura y Pesca. “Manual de riego para los agricultores”. Junta de Andalucía.
- El camino del sol. Editado por Cubasolar, la Habana 1999.
- Enciclopedia Microsoft. Encarta, 2005.
- Energía Eólica. La fuerza del Viento.
- Energía y Tú. “Molinos de vientos”. Abril- Junio del 2002, No18. C de La Habana, Cuba.
- Holzaptel, E. 2004. “Riego por goteo y Microjet”. Facultad de ingienería agrícola. Universidad de Concepción. España.
- Molinos de viento. Impacto ambiental. Fenómenos naturales que afectan a la agricultura en La América Latina. FAO.
- Periódico Granma. “La otra cara del Petróleo”. 23 de diciembre del 2004, Segunda Edición.
- Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. Octubre, 2001. República de Cuba.
- Rodríguez Castellón, S. “Aspectos a considerar para el desarrollo de una Agricultura Sostenible en Cuba”. Boletín FAO.
- Rodríguez Castellón, S. Aspectos a considerar para el desarrollo de una agricultura sostenible en Cuba.
- Suplemento Especial de Universidad para todos. “Hacia una conciencia energética”. La Habana 2004.
- Agroecología y agricultura ecológica. José L. Porcuna, Juaquín Arnau y Antonio Jiménez, 2005. Valencia.
- Agroecología: Principios y estrategias desde la perspectiva cubana. Miguel A. Altieri**.** Diciembre, 2005.
- Agroecology. The Scientific Basis of Alternative Agriculture. Miguel A. Altieri. 1983.
- Agroecology: The Scientific Basis of Alternative Agriculture. Miguel A. Altieri. 1987.
- Aplicación de humuz de lombriz. Departamento de Lombriultura Pachamama, S.A, 2001. Chile.
- Aspectos a considerar para el desarrollo de una agricultura sostenible en Cuba. Santiago R. Castellón, 1999.
- Bohemia. “Suelos una mirada hacia abajo”. 28 de Junio del 2002, Año 94, No 13.
- Boletín de tecnologías apropiadas. Camaguey, 2006. Cuba.
- Cairo y Fundora, O. 1994. Edafología. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.

- Cambio Tecnológico y Campesinado en la Agricultura Cubana. Lucy Martín Posada 2004. Las Vegas.
- Cambio tecnológico y campesino en la agricultura Cubana. Lucy Martín Posada, 2004.
- Carlos V. Rodríguez. Se puede vivir en ecopolis, ”Los bosques comestibles”. 24 de Enero- Marzo 2002.
- Citia M. López. Ahorrando dinero con el biodigestor o generador de gas, 2005. Ecuador.
- Compendio sobre lombricultura. Dermidio S. García, Marzo del 2003. La Habana.

OBTENCION DE UN FERTILIZANTE NITROGENADO A PARTIR DEL DESARROLLO DE UNA TECNOLOGIA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CONTAMINADAS CON ACIDO NITRICO

Autores: MSc. Liz Mabel Ríos Hidalgo, Dra. Idalia Águila Hernández, MSc. Mirelys Montesino Herrera.

Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera a Camajuaní, Km. 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
e-mail: lizrh@uclv.edu.cu
.

RESUMEN

En la Planta de Síntesis de un compuesto nitro aromático altamente peligroso se obtienen aguas residuales que contienen fundamentalmente ácido nítrico. En este trabajo se lleva a cabo el proyecto de una instalación eficiente para tratar estas aguas, tanto desde el punto de vista de la seguridad personal de los trabajadores como de la no contaminación del medio ambiente. Para ello se realiza un estudio bibliográfico de las alternativas de tratamiento de las aguas residuales ácidas y se selecciona como la variante más adecuada desde el punto de vista técnico- económico la neutralización con amoníaco, pues en ella se conjuga un menor gasto económico y la alta demanda del producto obtenido (nitrato de amonio) en la agricultura. La alternativa de esquema tecnológico se define para la obtención del fertilizante denominado ferti- riego (32-0-0) por las enormes ventajas de su aplicación al suelo.
Posteriormente se realiza el diseño tecnológico del equipamiento fundamental y auxiliar para el sistema de tratamiento de las aguas residuales ácidas. Se seleccionan los materiales de construcción, se realiza la disposición en planta del equipamiento y se utilizan programas computacionales para el cálculo de los sistemas de bombeo y para la determinación de los espesores de aislamiento. Por último se realiza el análisis económico.
Este trabajo constituye una evidencia de cómo puede encaminarse nuestro esfuerzo en eliminar problemas relacionados con la contaminación ambiental mediante el empleo de tecnologías más limpias de gran importancia para la agricultura y que contribuyan a encontrar soluciones viables para el desarrollo de nuestro país.

Palabras clave: aguas residuales ácidas, tratamiento, fertilizantes nitrogenados.

ABSTRACT

In Plant of Synthesis of a nitro aromatic compound highly dangerous are obtained waste waters that contain fundamentally nitric acid. In this work is carried out the project of an efficient installation to treat this water, as much from the point of view of the personal security of the workers like of the no contamination of environment. For this is carried out a bibliographical study of the alternatives of treatment of acid waste waters and the neutralization with ammoniac is selected like the most suitable variant from the point of view technical and economic, because in her a smaller economic cost is conjugated and the high demand obtained of the product (ammonium nitrate) in agriculture. The alternative of technological scheme is defined for the obtaining of denominated ferti-irrigation (32-0-0) fertilizer by the enormous advantages of its application to the ground.

Later, is made the technological design of the fundamental and auxiliary equipment for the system of treatment of acid residual waters and are selected the construction materials of equipment, is made the disposition in plant of equipment and are used the computational programs for the calculation of the pumping systems and for the determination of the thicknesses of isolation. Finally, is made the economic analysis.
This work constitutes an evidence of how our effort can be directed in eliminating problems related to the environmental contamination by means of the use of cleaner technologies of great importance to agriculture, than contribute to find viable solutions for the development of our country.

Keywords: acidic wastewater, treatment, nitrogen fertilizers

INTRODUCCIÓN

Los problemas ambientales son tan antiguos como el hombre. En documentos como el mensaje del "jefe indio Noah Sealth" ante la Asamblea del Consejo de Tribus, en diciembre de 1854, discutiendo la firma del Tratado de Point Elliot por el cual los pieles rojas se veían obligados a ceder sus territorios a los hombres blancos, ya se ponen de manifiesto reflexiones sobre los problemas del medio ambiente, al plantear: ... "Los ríos son nuestros hermanos... y por tanto deben tratarlos con la misma dulzura que se trata a un hermano... el hombre blanco asola la tierra de sus hijos... su apetito devorará la tierra dejando atrás solo un desierto." Y termina diciendo: ... "¿Dónde está el matorral? Destruido. ¿Dónde está el águila? Desapareció. Termina la vida y comienza la supervivencia." Desde etapas muy tempranas del desarrollo de la humanidad, el hombre ha depositado sobre el medio natural los residuos de su actividad vital y productiva. Producto del alto valor que tiene para la sociedad la salud del hombre y la protección de sus riquezas, se le presta gran atención al problema de la contaminación ambiental, buscando cada día soluciones para eliminarla.
El 12 de junio de 1992 en la Cumbre de la ONU sobre Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en Río de Janeiro, a la cual asistió nuestro Comandante en Jefe, el mismo expresó: "Cuba, pequeño país del Tercer Mundo que desenvuelve su lucha por el desarrollo en medio de circunstancias singularmente adversas, puede no obstante, en su modesta dimensión, ofrecer al mundo en general y al mundo subdesarrollado en particular, la experiencia de lo logrado en el país en materia de conservación y protección del medio, así como los resultados obtenidos por nuestro pueblo en diversos campos relacionados de manera directa con los temas que serían objeto de consideración en las deliberaciones de esta reunión (...)"
En Cuba, país socialista, el medio ambiente y los recursos naturales son patrimonio común de la sociedad y constituyen, por tanto, interés fundamental de la nación en su conjunto. De ahí que la atención a los problemas ambientales se realice de forma integral por toda la sociedad. La Constitución de la República (...), incluye expresamente la obligatoriedad de la protección del medio y los recursos naturales del país, tanto por el Estado como por cada ciudadano. En 1981, la Asamblea Nacional del Poder Popular, máximo órgano legislativo del país, aprobó la Ley de Protección del Medio Ambiente y Uso Racional de los Recursos Naturales. En 1992, como continuación de los trabajos desarrollados en el país para la creación de un sistema de normas para la protección del medio ambiente, se aprobó el llamado "Sistema Nacional de Protección". En 1994, se creó el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA); la dimensión ecológica está presente en las nuevas leyes que se han aprobado para la inversión del capital extranjero, la creación de las zonas francas y los estudios de Impacto Ambiental.
Basado en la importancia que en nuestro país se le ha dado a estos problemas se han venido realizando estudios para mejorar el tratamiento que se le brinda a residuales peligrosos provenientes de diferentes procesos productivos, puesto que estos son ricos en compuestos tóxicos para la salud del hombre y los animales, provocando la destrucción acelerada de las riquezas naturales.
Durante el proceso de producción de compuestos nitro aromáticos altamente peligrosos, se generan aguas residuales ácidas muy contaminantes y peligrosas tanto para la salud y la seguridad de los trabajadores, como para el medio ambiente, ya que las mismas arrastran partículas sólidas de dichos compuestos y además,

contienen ácido nítrico en un rango de concentración entre un 58- 62%, lo que constituye un peligro para el medio ambiente y de accidentes graves**;** es por ello que se hace de vital importancia su eliminación, lo cual impone llevar a cabo el proyecto y diseño de una instalación eficiente para este fin.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el trabajo se realiza un estudio detallado de las diferentes variantes que se pueden utilizar para el tratamiento efectivo de las aguas residuales contaminadas con ácido nítrico.
Una de las alternativas posibles es la recuperación del HNO_3; para ello se realiza la concentración de las aguas ácidas, lográndose un ácido nítrico que podría volver a utilizarse en el proceso.
Otra vía sería la neutralización utilizando distintos productos, los cuales son:

- Neutralización mediante amoníaco.
- Neutralización utilizando urea.
- Neutralización utilizando carbonatos u óxidos de metales alcalinos y alcalinotérreos.

Análisis técnico – económico de las alternativas.
-Recuperación del $HNO_{3:}$
Mediante esta alternativa se podría disminuir el costo de producción por concepto de materia prima, método indicado sólo para cantidades considerables de ácido. Tiene numerosas ventajas, pero en contraposición con éstas, está el inconveniente económico de que sería necesaria la adquisición de una planta de recuperación; lo cual elevaría considerablemente el costo de instalación.
-Rocas carbonatadas y óxidos de metales:
Entre éstas se encuentran el carbonato de calcio, el óxido de calcio y la dolomita. Las mismas presentan gran factibilidad en su aplicación pues los yacimientos de la Región Central poseen grandes reservas naturales, lo cual hace menos costoso el proceso de producción. Entre ellas se utilizaría la dolomita, pues comparada con el óxido de calcio y el carbonato de calcio es la de menor costo, además, la tecnología utilizada no presenta mayores complicaciones; sin embargo, las cantidades que se producen de la calidad "vidrio" que es la que se exige en este caso, no son suficientes para garantizar un suministro para el tratamiento del residual, ya que tiene amplia demanda en la economía del vidrio.
Respecto al producto obtenido, el carbonato de calcio y el óxido de calcio al igual que la dolomita pueden tener cierta demanda en la agricultura, sin embargo, se hace difícil su utilización, tanto en solución como granulado, y en nuestro país este último no es posible emplearlo debido a las características del clima. El nitrato de calcio se aplica en determinados suelos carentes de calcio y en Cuba no se presenta esta situación. La utilización de carbonato de potasio como neutralizador se dificulta al ser éste un producto de importación.
-Urea y amoníaco:
El empleo de la urea y del amoníaco se aprecia que tiene mayores costos de producción comparado con las rocas carbonatadas pero, analizando la posible utilización de los productos finales, presenta los mejores resultados. Específicamente la neutralización con amoníaco, por medio de la cual se obtiene el nitrato de amonio, presenta las mayores ventajas ya que este fertilizante tiene gran demanda en nuestro país debido a que incorpora un 35% de nitrógeno a la tierra y en Cuba los suelos carecen de este nutriente.
Basándonos en el análisis anterior, se selecciona la alternativa de neutralización con amoníaco debido a que se ofrece una solución viable para el tratamiento de las aguas residuales y, a la vez, se obtiene un producto final de alta demanda en la agricultura.
La obtención del nitrato de amonio perlado tiene sus ventajas, pero el costo del equipamiento y de producción resulta muy elevado. Es por ello que se opta por la variante de obtención del fertilizante líquido 32-0-0(por su composición), ya que, además de su favorable balance económico, el mismo puede ser dosificado al terreno unido a las aguas de riego (ferti- riego), no es corrosivo, no existe la posibilidad de que solidifique con el descenso de la temperatura y tiene significativas ventajas para el desarrollo de las plantas.

Con el objetivo de determinar los parámetros de la reacción que se produce entre el ácido nítrico y el amoníaco seco(temperatura de la reacción y cantidad de agua que se evapora), necesarios para desarrollar los balances de masa y energía así como el diseño, se realizaron experiencias a nivel de laboratorio, empleando una pequeña instalación montada para este fin.
Se llevó a cabo, además, el diseño tecnológico del equipamiento tanto principal como auxiliar, y de los sistemas de tuberías, utilizándose programas computacionales para el cálculo de los sistemas de bombeo y para la determinación del espesor del aislamiento necesario en cada caso.
Se realizó la distribución en planta basándonos fundamentalmente en el aprovechamiento de la gravedad para el transporte de fluidos entre los equipos colocados a diferentes niveles en la planta. También se tuvo en cuenta, la compactación de los equipos interrelacionados entre sí, sin afectar la comodidad y seguridad en el trabajo con los obreros y la protección del entorno. Por último se realiza el análisis económico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

-La neutralización de los residuales de la planta de síntesis del compuesto nitro aromático utilizando amoníaco es la más factible, ya que se obtiene el nitrato de amonio, el cual será utilizado como fertilizante en forma líquida.
Las ventajas económicas del uso de soluciones nitrogenadas como fertilizante son las siguientes:

1. Las soluciones amoniacales constituyen la forma de nitrógeno más concentrada y más barata de que dispone la industria de los abonos.
2. La amonización mejora mucho las características mecánicas de curación y almacenamiento de los abonos mezclados que contienen superfosfatos, pues neutralizan la acidez libre de aquel.
3. En general, se requiere menos abono.
4. Se evitan los daños producidos a las raicillas de las plantas producidos por la utilización intensa de abonos secos.
5. Se obtiene mejor distribución de fertilizante cuando se tienen cantidades reducidas.
6. Pueden utilizarse abonos de características físicas diferentes.
7. Durante el período seco se obtiene una respuesta máxima de las plantas de cultivo.

-Se determinó experimentalmente que la temperatura de reacción entre el ácido nítrico y el amoníaco está en un rango comprendido entre 120- 130 ^{0}C.
-Los balances de materiales y energía fueron realizados para una capacidad de producción de 600 T/ año y teniendo en cuenta la corrida de 2 síntesis/ día.
-La alternativa de esquema tecnológico se define para la obtención del fertilizante denominado ferti- riego (32-0-0) por las enormes ventajas de su aplicación al suelo.
-Se define el esquema tecnológico de la planta de tratamiento, como se explica a continuación:
Estará compuesto de tres etapas fundamentales:

- Limpieza o preparación del residual.
- Etapa de neutralización.
- Obtención del producto final.

Durante la producción del compuesto nitro aromático, las aguas residuales ácidas arrastran pequeñas cantidades de partículas sólidos que, de pasar a la etapa de neutralización, pondrían en peligro el proceso y la vida de los operarios al ocurrir una reacción violenta y con gran desprendimiento de calor.
Para la purificación del residual se utiliza un sistema de sedimentación – filtración. En la sección de sedimentación se necesita un tiempo largo de sedimentación para que precipiten los sólidos disueltos en las aguas residuales. Al emplearse un proceso discontinuo, se trabajará con un sedimentador de volumen

adecuado, tratando de lograr el área de sedimentación mayor posible. Este equipo consta de dos compartimientos rectangulares. El primero, más grande, es utilizado como región de sedimentación, en la cual el residual llega por una tubería que descarga en su profundidad. Cuando transcurren 7 días y se llena el primer compartimiento, el líquido pasa suavemente por reboso al segundo y cuando en éste hay un volumen de residual almacenado por un día, la bomba instalada en la superficie del dosificador lo extrae y lo impulsa hacia el filtro. Durante la sedimentación se elimina un 75 % de los sólidos, las restantes partículas quedan atrapadas en la fina tela del filtro Nutch el cual opera de forma discontinua y a vacío. El lodo del sedimentador es descargado a mano cada cierto tiempo por el extremo superior de éste.

El líquido filtrado, ya en condiciones de pasar a la etapa de neutralización, fluye por gravedad a un reactor discontinuo con burbujeo de gas, el cual opera a presión atmosférica. Este equipo consta de un cilindro de acero inoxidable 304, sin recubrimiento, en el que se descargará la solución ácida, y el gas neutralizante (HNO_3) (g) se suministrará por el fondo a través de un burbujeador de acero inoxidable recubierto por teflón.

Las violentas condiciones que se producen al reaccionar estas dos sustancias, son aplacadas con la adición de una solución amoniacal que contiene el 15% de NH_3 (g) la cual pasiva el medio, disminuyendo la reacción del amoniaco gaseoso y el ácido.

Producto de esta reacción y del desprendimiento de calor que se produce, se obtienen vapores de agua que arrastran consigo pequeñas cantidades de amoníaco y de la solución formada. Estos vapores ligeramente contaminados (1,5 – 2% de NH_3) se descargan a una altura adecuada, sin que existan problemas para el medio ambiente o para el hombre, por medio de un extractor.

Como resultado de la reacción.

$$NH_3\ (g) + HNO_3\ (l) \longrightarrow NH_4\,NO_3\ (l) + Q$$

El nitrato de amonio obtenido tiene una concentración del 80% y fluye por gravedad hasta un tanque de almacenamiento intermedio donde se queda la mitad de la solución formada y la otra mitad continúa su camino hasta un tanque provisto de agitación y un serpentín de calentamiento.

En el tanque agitado se prepara el fertilizante líquido conocido por su forma de aplicación al suelo como ferti-riego, y por su composición como 32-0-0.

Para obtener este abono, el nitrato de amonio se mezcla con cantidades adecuadas de urea, ácido fosfórico, amoníaco y agua. Para el desarrollo del trabajo se consultan las tablas archivadas en la Empresa de Fertilizantes Nitrogenados de Cienfuegos, que relacionan las variantes establecidas para la preparación del ferti-riego y se selecciona la variante para la obtención de una tonelada de fertilizante.

El fertilizante formado tiene excelentes características al aplicarse al suelo cultivado, pero también tiene otras ventajas como son: el no ser corrosivo, pudiéndose utilizar tuberías y equipos de riego y almacenamiento de acero al carbono o aluminio, puede dosificarse al suelo según las necesidades de los cultivos y no hay peligro de cristalización.

El agitador seleccionado es del tipo de hélice y tanto él, como el recipiente cilíndrico de fondo cónico y el serpentín deben fabricarse de acero inoxidable.

Previendo la posibilidad de dificultades con el suministro de la urea para la preparación del ferti- riego y teniendo en cuenta que el nitrato de amonio obtenido en la etapa de neutralización no puede utilizarse como fertilizante en una concentración del 80% debido a que cristaliza a temperatura ambiente, se plantea la variante de, con los mismos equipos, diluir la solución de nitrato de amonio hasta un 20 %, pudiéndose utilizar como fertilizante con la desventaja de la disminución del contenido de nitrógeno.

-Se elaboró el diagrama de flujo del proceso de tratamiento de la planta, como se aprecia en la Figura 1.

CONCLUSIONES

1. Es factible técnico y económicamente el tratamiento de las aguas residuales ácidas que se generan durante el proceso de producción del compuesto nitro aromático con el empleo de la neutralización con amoníaco.
2. La neutralización empleando amoníaco constituye una fuente de aporte de nitrógeno al suelo de relevante importancia para el desarrollo de nuestra agricultura.
3. La alternativa de esquema tecnológico se define para la obtención del fertilizante denominado ferti-riego (32-0-0), por las enormes ventajas de su aplicación al suelo.
4. Se determinó experimentalmente que la temperatura de reacción entre el ácido nítrico y el amoníaco está en un rango comprendido entre 120- 130 ^{0}C.
5. Del análisis económico realizado se obtuvo que para una planta de producción de 150 ton/año, el sistema de tratamiento de aguas residuales que se generan tienen los siguientes costos:
   Costo total de inversión: 202 912.00$.
   Costo total de producción: 88 020.00$/año.
   Ganancia: 22980 $/ año.
   Período Mínimo de Pago: 5 años.
6. En este trabajo se propone el diseño tecnológico del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta de producción de un compuesto nitro aromático, representando los criterios básicos para la posterior proyección, construcción e instalación del equipamiento y de la planta en su conjunto.
7. Este trabajo constituye una evidencia de cómo puede encaminarse nuestro esfuerzo en eliminar problemas relacionados con la contaminación ambiental mediante el empleo de tecnologías más limpias, que contribuyan a encontrar soluciones viables para el desarrollo de nuestro país.

REFERNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1- Colectivo de autores. (1987), Manual del nitrógeno. (Editorial Química). Moscú, pp. 156-195.
2- Collings, G. (1986), Fertilizantes comerciales, sus Fuentes y usos. (Editorial Revolucionaria). Ciudad de La Habana, pp.363-400.
3- Cañizares, E., Ríos L. (2003), Diseño de un sistema para el tratamiento de los residuales ácidos de la planta de síntesis del ″producto P”. (T. D., UCLV).
4- Carballo, D., Guerra, B. (2003), Propuesta tecnológica para el tratamiento con hipoclorito de sodio de los residuales líquidos de T_1. (T.D., UCLV).
5- Cruz, M., Guerra, B. (2002), Análisis de alternativas de tratamiento de los residuales líquidos y gaseosos de la planta del producto H. (T.D., UCLV).
6- Escobar, J., Velasco, P. (1993), Efectividad de diversos tratamientos aplicados a las aguas residuales del T_2. (T.D, UCLV).
7- Hernández, A. (1994), Depuración de aguas residuales. (3ra. edic. rev. y ampl.). Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos: Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Madrid, pp. 987- 1023.

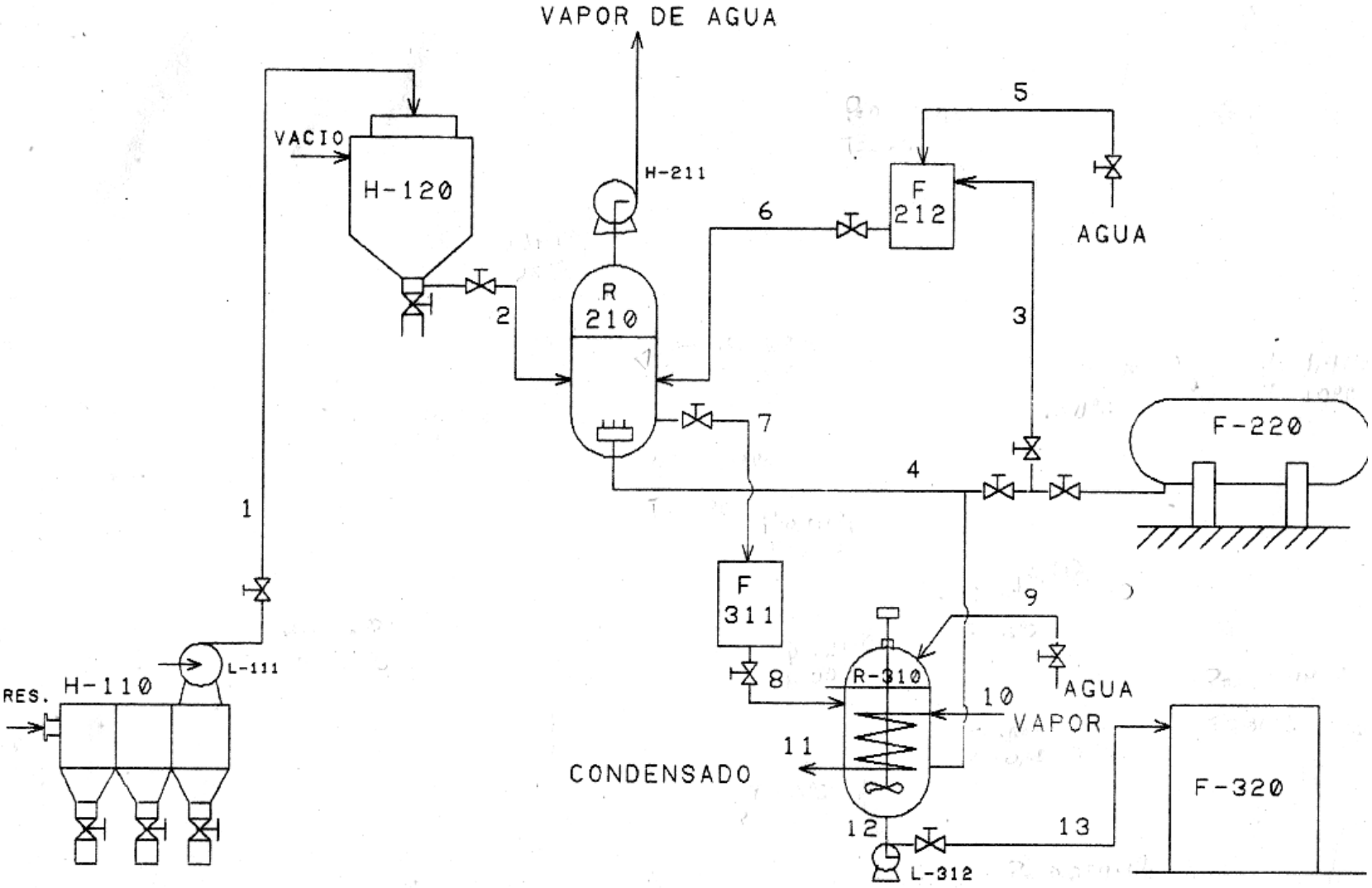


Figura 1: Diagrama de flujo del equipamiento.

Lista codificada del equipamiento.

Áreas:
100: Área de Purificación.
200: Área de Reacción.
300: Área de Preparación y almacenamiento.

Código	Nombre
H - 110	*Sedimentador.*
H - 120	*Filtro Nutsh.*
R - 210	*Reactor de burbujeo.*
F - 220	*Bala de amoníaco.*
R - 310	*Tanque agitado de preparación del fertilizante.*
F-320	*Tanque de almacenamiento del fertilizante.*

Equipamiento Auxiliar

Código	Nombre
L - 111	*Bomba de residual (HNO_3).*
H - 211	*Extractor.*
F - 212	*Tanque de la solución de amoníaco.*
F - 311	*Tanque de almacenamiento intermedio de nitrato de amonio.*
L - 312	*Bomba de fertilizante.*

NECESIDAD E IMPORTANCIA DE LAS AUDITORÍAS INTERNAS DE LA CALIDAD

Villamil, G.; Hernández, A.

Unión de Investigación Producción de la Celulosa del Bagazo, Cuba 9. Apartado postal 8, Quivicán, La Habana, Cuba. Email: cuba9@enet.cu

RESUMEN

Las organizaciones que tienen implantado un Sistema de Gestión de la Calidad basado en la Norma ISO 9001:2000 deben realizar auditorías internas y contar con un Procedimiento para realizar las mismas.
En esencia, la auditoría sirve para evaluar la conformidad del sistema con los requisitos de la Norma del Sistema de Gestión de la Calidad implantado, determinar su eficacia y contribuir a la mejora continua.
Las auditorías se basan en hallazgos y muestras que permiten evaluar los distintos requisitos que establece la Norma ISO 9001:2000.
De ahí la importancia de realizar las auditorias internas en los lugares donde está implantada la Norma, según lo establecido, al menos una vez por año, se evaluarán los requisitos de la misma y de ellas saldrá el programa de mejoras para resolver los problemas detectados.

Palabras claves: Auditoría, sistema, gestión, calidad, procedimiento.

ABSTRACT

Organizations having an established Quality Management System based on the ISO 9001: 2000 Standard should conduct internal audits and have available a Procedure to carry out said audits.
Basically, auditing is used for evaluating the compliance of the system with the established Quality Management System Standard, determining its effectiveness and helping to continually improve the system.
Audits are based on findings and samples that permit to assess the various requirements laid down in the ISO 9001:2000 Standard.
Hence the importance of carrying out internal audits at the places where the Standard is implemented. According to the procedures established, the Standard requirements shall be evaluated, at least once per year, and from such an evaluation the follow-up program to solve the problems detected shall emerge.

Key words: Audit, system, management, quality, procedure

INTRODUCCIÓN

La implantación de Sistemas de Gestión de la Calidad, en procesos productivos y de servicios, se ha convertido hoy en una necesidad que exige el mercado, porque las empresas que lo asumen elevan su competencia, generalmente obtienen mejores resultados económicos, sus trabajadores elevan su cultura empresarial y mantienen un sentido mayor de pertenencia.

La Norma NC ISO 9001:2001 ha introducido nuevos conceptos en la implantación de los Sistemas de Gestión de la Calidad, amplió el alcance incluyendo los procesos para la mejora continua del sistema y el aseguramiento de la conformidad con los requisitos del cliente y reglamentarios aplicables

Todas las entidades de una u otra manera tienen un sistema de calidad, sin embargo, el que se establece en base a la Norma NC ISO 9001:2001, sobre sus requisitos, es sistemático y se alcanza un nivel estable en la empresa, permitiendo mayor credibilidad y confianza a los clientes.

La Norma ISO 9001:2000 plantea que la Organización realizará auditorías internas para definir si el Sistema de Gestión de la Calidad (SGC):

a) está en conformidad con lo planificado, con los requisitos de la NC ISO 9001:2001 y con los requisitos del SGC establecido por la Organización,
b) si se aplica y mantiene de forma eficiente.

Para cumplir con esta tarea, la organización definirá y aprobará un programa anual de auditorías internas, que incluirá todas las áreas que abarca el alcance del sistema implantado, planificándose de manera tal que al menos una vez al año todos los requisitos hayan sido auditados.

De los informes de auditorías se evidencia el estado de cumplimiento de cada requisito, según la muestra analizada por los auditores y las evidencias que hayan podido mostrar los auditados y de esta manera el estado general del Sistema de Gestión de la Calidad de la empresa, herramienta muy importante con la que trabajará la alta gerencia.

DESARROLLO

La Auditoría

Hemos de plantearnos algunas preguntas y así podremos comprender realmente lo que significa una auditoría de calidad y su importancia, por ejemplo: qué es, objetivos, necesidad, cuándo deben hacerse, ventajas que tienen, quièn define la frecuencia.
Por definición las auditorías de Calidad son:
Un proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencias y evaluarlas de manera objetiva con el fin de determinar el grado en que se cumplen los criterios de la auditoría (*implantación)*, su suficiencia y adecuación.
Cuando se audita el Sistema de Gestión de la Calidad, se parte de la Política y los Objetivos como criterios de auditoría fundamental, y se verifica por trazabilidad documental con el resto de disposiciones (procedimientos, instrucciones, etc.) en correspondencia con ella, el nivel de adecuación y suficiencia del Sistema.
Las auditorías internas, denominadas en algunos casos como auditorías de primera parte, se realizan por o en nombre de la propia organización, para la revisión por la dirección y otros fines internos. En muchos casos,

particularmente en organizaciones pequeñas, la independencia puede demostrarse al estar libre el auditor de responsabilidades en la actividad que audita.(Gestión y Calidad, 2008).
Las Auditorías constan de varias etapas:
Preparación
Ejecución
Reporte
Seguimiento
El programa de auditoría se planificará teniendo en cuenta, según la Norma:

1. el estado y la importancia de las áreas a auditar
2. los resultados de auditorías anteriores.

Durante la auditoría se verificarán los criterios de auditoría previamente definidos, de manera tal que se demuestre su estado de cumplimiento y de ahí su importancia, determinar si se han alcanzado los objetivos previstos, si están en vías de solución o sencillamente si no se ha hecho nada en ese sentido. Cuándo deben hacerse las auditorías internas, eso obedece al grado de importancia de las áreas involucradas en el alcance del Sistema de Gestión, estableciéndose en el Programa Anual donde se exprese la fecha en que se realizarán y cuántas al año, garantizándose que al menos una vez al año todos los requisitos que establece la Norma sean auditados. Este Programa de Auditorías, basado en la importancia de las áreas incluídas en el alcance, será aprobado por la alta gerencia y desarrollado por los auditores internos de la entidad.
Como resultado de las auditorias saldrán las No Conformidades que se detecten durante la evaluación de las muestras que los auditores revisen y lo que los auditados sean capaces de evidenciar. Para ello los auditores realizaron previamente a la auditoría in situ una revisión documental y se familiarizaron con todo el quehacer del área a auditar, el alcance el Sistema de Gestión de la Calidad, las áreas involucradas y los documentos que forman parte de ese Sistema, lo que permite a los auditores ir a las entrevistas y lugares del área con ideas precisas y preguntas concretas para elaborar y determinar dado los objetivos de la auditoría, su estado de cumplimiento
El responsable del área auditada garantizará que se emprendan acciones de inmediato para eliminar las no conformidades detectadas y sus causas.
Las actividades de seguimiento incluirán la verificación de las acciones emprendidas y el informe de los resultados de la verificación
Los informes de las auditorías realizadas son entradas a la Revisión por Dirección que se realiza por la alta gerencia, dado el valor de los mismos, porque durante el año entero han estado evaluando el cumplimiento de todos los requisitos en las distintas áreas.

El Auditor de Calidad

El auditor de calidad se forma sobre bases de la personalidad del individuo, características propias y conocimientos que se adquieren durante la vida. No quiere esto decir que hay que ser especial para ser auditor, pero sin dudas, no todos los individuos tienen cualidades para serlo.
Para enfrentar una auditoría el auditor deberá transmitir confianza, conocimientos, dominio de las técnicas de la calidad, ética, caer bien, de forma tal que pueda realizar su trabajo en toda su plenitud, en un ambiente de intercambio.
En la Reunión de Apertura de la auditoría se hace una presentación de la misma, dándose a conocer los objetivos de la auditoría , las personas a entrevistar, horarios, etc y se presenta el equipo auditor, por parte del auditor principal o líder, además se pondrá énfasis entre otras cosas en la discreción de toda la información que se maneje, sin que la misma trascienda á los interesados, eso da confianza para que en las posteriores entrevistas exista un clima de confianza y buena comunicación, pudiéndose desarrollar favorablemente las mismas. Ahora, ¿quién enseña eso?. El auditor deberá ser capacitado o formado como tal mediante cursos que avalen su preparación e información para ejecutar las auditorías e igualmente deberá

mantener su nivel de conocimientos y dominio de las técnicas a aplicar. Precisamente, en las habilidades del mismo auditor como persona está el ir procurando poco a poco la información que necesita para realizar su trabajo, a partir de documentos ya revisados, de otras entrevistas anteriores o de otras evidencias. El auditor tendrá en cuenta también que todas las personas a entrevistar no son iguales, ni brindan fácilmente las informaciones, entonces hasta un poco de sicología deberá utilizar durante las entrevistas, pues generalmente los auditados buscarán formas para salir bien de la entrevista. Por ello podemos decir que entre las cualidades del auditor estarán :
(Irulegui, 2002)

ético – imparcial, sincero, modesto, honesto y discreto
de mentalidad abierta – dispuesto a considerar ideas o puntos de vista alternativos
diplomático – se relaciona con las personas con tacto y educación
observador – activamente consciente del entorno físico
perceptivo – instintivamente consciente y capaz de entender las situaciones
versátil – mantiene el control bajo estrés y se adapta fácilmente a diferentes situaciones
tenaz – persistente, orientado a conseguir sus objetivos
decidido – alcanza conclusiones oportunas, basadas en el análisis y razonamiento lógico
práctico – establece prioridades y se centra en los asuntos de importancia, se ubica en el tiempo planificado
seguro de sí mismo – actúa de forma independiente
El éxito o fracaso de una auditoría depende en buena medida de la composición del equipo auditor.
Los auditores deben actuar sin prejuicios y con dominio de los conocimientos para ejecutar sus tareas y serán también de otras áreas y no de la que van a auditar, siempre el criterio de imparcialidad deberá predominar.
El auditor contará con herramientas, que son: los conocimientos que posee para realizar la auditoría, pero éstos no son recetas, cada auditoría tiene sus propias características y el auditor(es) se las arreglará para aplicar lo que sabe y encontrar lo que busca. En ocasiones ha pasado, en una empresa con el Sistema de Gestión de la Calidad implantado, tienen muy bien la mayoría de la documentación, sin embargo hay algo que falta y éso es precisamente lo que el auditor pregunta, por qué será?, es el ojo del auditor que encuentra lo que otros no ven.

La capacitación del auditor

El auditor se forma como ya se ha dicho, por lo que para ello ha de recibir una preparación y posteriormente mantener una capacitación constante, sobre los mismos documentos que forman parte del Sistema de Gestión de la Calidad de la empresa, profundizar en el conocimiento y aplicación de la Norma NC ISO 9001:2001 y otros documentos que formen parte del Sistema, deberá mejorar cada vez más sus habilidades, para lo cual revisará las auditorías que ha realizado y otras auditorías, para adquirir experiencias y procurar cada vez mejores resultados en la confección de las No Conformidades e Informes de las auditorías. Para alcanzar estos objetivos, la propia entidad podrá organizar encuentros entre auditores y analizar los resultados de las auditorías en los distintos períodos.

CONCLUSIONES

Durante este trabajo se han expresado conceptos que definen las auditorías internas y la importancia que tienen en las organizaciones que tienen implantado el Sistema de Gestión de la Calidad por la Norma NC ISO 9001:2001, así como el papel fundamental del auditor, sus características y capacitación.
Las conclusiones de una auditoría son el resultado a que llega el equipo auditor después de considerar los objetivos y todos los hallazgos de dicha auditoría y conlleva un valor agregado para la entidad..

La auditoría interna, es una herramienta, que se utilizará de forma permanente y deberá hacerse con todo el rigor que requiere, para evaluar el estado de implantación del Sistema de Gestión de la Calidad, constatar y evidenciar sus insuficiencias, para alertar a la alta gerencia y que ésta pueda entrar a resolver las no conformidades, mantener el cumplimiento de los requisitos de la Norma NC ISO 9001:2001 y continuar hacia la mejora continua.

Los resultados de las auditorías internas realizadas son una importante entrada en la Revisión por la Dirección que se realiza por la alta gerencia, por lo que la calidad de las mismas contribuirá a evaluar adecuadamente la marcha de la implantación del Sistema de Gestión de la Calidad en la empresa, de ahí la necesidad e importancia de su realización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NC ISO 9001:2001.Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos (ISO 9001:2000).

NC ISO 9000:2005. Sistemas de Gestión de la Calidad. Fundamentos y vocabulario (ISO 9000:2005).

NC ISO 19011:2004. Directrices para la auditoría de los Sistemas de Gestión de la calidad y o ambiental. (ISO 19011:2002).

Irulegui,A. (2002). Curso Formación de Auditores Internos de la Calidad,
UIP Cuba 9, La Habana, Cuba.

Gestión y Calidad. Servicios profesionales de Consultoría (Junio 2008). http//gestión y calidad.forumandco.com/index.htm.

DIGESTIÓN ANAEROBIA Y REACTORES UASB

Yaniris Lorenzo[1], Fidel Doménech, Felipe Eng, Osacar Almazán, Antonio Bell, Georgina Michelena, Olga Lídia León.

Yaniris.lorenzo@icidca.edu.cu

Resumen:

En el presente trabajo se hace una revisión bibliográfica actual de la microbiología de los procesos de digestión anaerobia donde se abordan temas como: las etapas que rigen el proceso aeróbico y las bacterias involucradas en cada una de ellas, mostrándose también las ventajas y desventajas del proceso anaeróbio. En esta parte del trabajo también se brinda una panorámica del surgimiento de los diferentes tipos de reactores empleados para la producción de biogás, haciendo hincapié en el más difundido: el Reactor Anaerobio de Cama de Lodo de Flujo Ascendente (UASB), el cual posee como ventaja principal, que puede trabajar a diferentes cargas orgánicas y tiempos de Retención Hidráulicos (TRH), sin variar la eficiencia de remoción de la carga contaminante.
A partir de estos conocimientos se realiza la segunda parte del trabajo (parte experimetal), donde a escala piloto se cambian los parámetros de operación de un reactor UASB manteniendo la misma carga de trabajo. Para ello se trataron las vinazas tal cual salen de la columna de destilación de la empresa Heriberto Duquesne sin diluir la misma, ni suplementar con macronutrientes (forma tradicional de operar el reactor). En la experimentación se corroboró que la eficiencia del reactor se mantenía en los rangos óptimos, disminuyendo a su vez la cantidad de agua utilizada y los insumos de macronutrintes una vez que el lodo esté adaptado.

Palabras clave: Digestión anaerobia, microbiología de digestión anaerobia, bacterias anaeróbicas, reactores UASB.

Summary:

In this work is made a review about the microbiology of the anaerobic digestion processes where topics are: the stages that govern the process aerobic and the bacterium involved in each one of them, being also shown the advantages and disadvantages of the process anaerobic. In this part of the work also is showed a panoramic of the different types of reactors used for the biogas production, making stress in the most diffused one: the Up Flow Anaerobic Reactor of Bed (UASB), which possesses as main advantage that it can work at different organic loads and Hydraulic Retention Times (TRH), without varying the efficiency of removal of the polluting load.
Starting from these knowledge was carried out the second part of the work (it is the experimental part), where to scale pilot the parameters of operation of a reactor UASB is changed maintaining the same work load. For this reason, were treatment vinasses from distillation column of Heriberto Duquesne distillery without diluting the same one, neither supplementation with macronutrients (it is the traditional forms of operating the reactor). In the experimentation it was corroborated that the efficiency of the reactor stayed in good ranges, diminishing the quantity of water and the macronutrients used in turn once the mud is adapted.

Key words: Anaerobic digestion, microbiology of anaerobic digestion, anaerobic bacterium, UASB reactors.

I. Introducción.

Los tratamientos aerobios y anaerobios constituyen las dos grandes alternativas de depuración biológica de aguas residuales y residuos orgánicos fermentables. Sin embargo, el hecho de no necesitar aireación y la generación de biogás, que se puede utilizar en la misma planta con finalidades energéticas, hacen que la digestión anaerobia resulte mucho más favorable económicamente.

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica, así como el residual tratado. La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad donde el 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en el crecimiento bacteriano frente a un 50% consumido en el proceso aerobio.

Las vías microbiológicas de producción de energía a partir de sustratos biológicamente degradables representan una excelente alternativa para la sustitución de combustibles fósiles no renovables que se utilizan en la actualidad. Esto es especialmente interesante dentro del campo de las instalaciones agroindustriales las que pueden cubrir una parte de sus necesidades energéticas a partir de sus propios residuales, para complementar o reemplazar los combustibles fósiles, ***Jewell (1987).***

I.1) Bases microbiológicas del proceso anaerobio

En el proceso de degradación anaerobia un gran número de microorganismos que trabajan en serie o en serie-paralelo, degradan la materia orgánica en sucesivas etapas, ***González y col (2004)***.

El enfoque más novedoso lo constituye el de las cuatro etapas o niveles tróficos hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, ***Jewell (1987) y Menéndez (2003)***.

- Hidrólisis o liquefacción. En esta etapa los compuestos orgánicos son solubilizados por enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que actúan en el exterior celular por lo que se consideran exoenzimas. La hidrólisis es por tanto, la conversión de los polímeros en sus respectivos monómeros.
- Acidogénesis. En esta etapa los compuestos orgánicos solubles que comprenden los productos de la hidrólisis son convertidos en ácidos orgánicos tales como acético, propiónico y butírico, fundamentalmente.
- Acetogénesis. Se le conoce también como acidogénesis intermediaria en la cual los productos correspondientes son convertidos en ácido acético, hidrógeno y CO_2.
- Metanogénesis. En esta etapa metabólica el CH_4 es producido a partir del ácido acético o de mezclas de H_2 y CO_2, pudiendo formarse también a partir de otros sustratos tales como ácido fórmico y metanol. El rol de las bacterias metanogénicas se define por el tipo de sustrato disponible.

No en todas las etapas de la digestión ocurre disminución de la DBO. Así, la hidrólisis ocurre sin variación detectable de la DBO. En general durante la acidificación la disminución de la DBO es mínima. Por tanto es en la metanogénesis donde ocurren las mayores disminuciones de la DBO, ***Eckenfelder (2000).***

Las bacterias involucradas en los procesos anaeróbicos son las siguientes; las que fueron estudiadas por ***Arango (2008)***

- Bacterias fermentativas: Sterptococoaceae, Enterobacteriaceae, Bacillaceae, Lactobacillaceae

  Condiciones de crecimiento de las bacterias fermentativas:
  - ✓ CO_2 y ácidos orgánicos como fuente de C.
  - ✓ Amonio como fuente de N
  - ✓ Cisteína o sulfuro como fuente de S.
  - ✓ Vitamina B, hemina, menodion.
  - ✓ Sales minerales especialmente de Na^+

- Bacterias acetogénicas productoras de H_2.
  Existe una asociación sintrópica entre bacterias acetogénicas productoras de H_2 y bacterias consumidoras de H_2 regulando el nivel de H_2 en su ambiente.
  Syntrophobacter Wolinii ➔ H_2 ➔ Desulfovibrio

- Bacterias homoacéticas.
  Son bacterias quimiolitotróficas que usan H_2 y CO_2 y dan como producto final acetato.
  En los lodos de aguas negras parece que las bacterias presentes son del tipo: ***Clostridium aceticum, Acetobacter woodii.*** Estas bacterias compiten por el H_2 con las bacterias Metanogénicas consumidoras de H_2

- Bacterias metanogénicas.
  Son anaerobias obligadas. Sólo algunas conservan su viabilidad después de ser expuestas al oxígeno, se desarrollan en ambientes donde el potencial de oxido-reducción es de -300 mV.
  Tienen dos rangos de temperatura: mesofílicas 15-40°C, termofílicas 55-65°C y el pH ideal para producir CH_4 se encuentra entre 6, 8 - 7, 2, pero puede variar entre especies.

  Las bacterias metanogénicas pueden ser divididas según ***Informe interno (2002),*** en dos grandes grupos tróficos***:***
  1. Las bacterias hidrogenofílicas no acetoclásticas.
  2. Las bacterias metanogénicas acetoclásticas.

  Bacterias reductoras de sulfato.
  Esta dada por la presencia de sulfatos en el efluente y se encuentran asociadas a las metanogénicas. Han sido aislados tres géneros de los reactores anaerobios: ***Desulfovibrio***, ***Desulfotomaculum*** y ***Desulfobulbus, Arango (2008).***

  Dependiendo de la concentración de sulfato, estas bacterias, según ***Informe interno (2002),*** pueden actuar como:
  - ✓ Bacterias acetogénicas,
  - ✓ competir por nutrientes metanogénicos,
  - ✓ o inhibir la metonogénesis

La producción de sulfuro es tóxica para las metanogénicas, pues esta etapa se inhibe cuando la concentración de sulfato se incrementa ya que las bacterias reductoras de sulfato compiten con las metanogénicas por el H_2. Esta competencia es básica en biodigestores de tratamiento de aguas residuales con altas concentraciones de sulfato como es el caso de la producción de biogás a partir de vinazas de destilerías. Es

por ello que la medición de la actividad específica metanogénica (AEM) es fundamental en un proceso anaerobio, pues ello demuestra la capacidad del sistema de producir biogás con alta eficiencia.

Necesidades nutricionales de las bacterias metanogénicas: ***Arango (2008)***

- ✓ Fuente de N y S: Sulfuro, amonio, cisteína.
- ✓ Fuente de C: Compuestos orgánicos o específicos, acetato, CO_2 y formato. Los autótrofos utilizan CO_2 y CO
- ✓ Su crecimiento se estimula con Vitamina B, cisteína y aún acetato.
- ✓ La mayoría utilizan CO_2 y H_2.

El funcionamiento correcto de un proceso anaerobio dentro de un reactor o digestor anaerobio, depende del equilibrio complejo que se establece entre los diversos grupos microbianos, en relación con los parámetros de operación de los reactores. Como parámetro de control del proceso, el hidrógeno aparece como un factor importante, porque su acción se ubica al nivel de todas las etapas de la digestión anaeróbica, ***Informe interno (2002)***. La formación de estos diferentes tipos de gránulos y de bacterias depende del tipo de sustrato y de las condiciones del proceso, ***Arango (2008)***.

I.2) Reactores Anaerobios.

Aplicaciones de los reactores anaerobios.

- ✓ Son capaces de tratar residuos domésticos o industriales con alto contenido de materia orgánica soluble o coloidal en:
  - **Tratamiento completo.**
  - **Tratamiento parcial antes de la descarga al alcantarillado.**
  - **Etapa previa a un tratamiento secundario.**
  - Sistema productor de energía.
- ✓ Pueden utilizarse para la estabilización de lodos orgánicos de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ O en procesos donde la desnitrificación es necesaria.
- ✓ Se recuperan subproductos o desechos al ser utilizados para la obtención de biogás como combustible o para la generación de energía eléctrica.

Ventajas de los procesos de digestión anaerobia en reactores: ***Informe interno (2008).***

- ✓ La remoción de materia orgánica se encuentra entre un 70% y un 85 %, según tipo de residual tratado.
- ✓ El consumo de energía es muy bajo comparado con otros tratamientos, sobre todo con los sistemas aeróbicos, pues no se requiere el consumo de oxigeno y no es necesario un mezclado intenso para lograr depurar el residual.
- ✓ La mayoría del material orgánico en el agua residual se convierte en biogás, que puede ser combustionado con el fin de obtener energía o vapor. La energía producida puede ser utilizada en la misma planta de producción de biogás o se puede proveer a la red, en forma de energía eléctrica.
- ✓ La producción de lodo en el tratamiento anaerobio es muy baja (ya estabilizados y espesados), sobretodo si se compara con los lodos producidos en los tratamientos aeróbicos**,** pues la mayoría del material orgánico se convierte en biogás, no en lodo. Además, el lodo anaerobio se estabiliza y se puede desecar fácilmente por gravedad y se puede utilizar para la arrancada de nuevos reactores anaerobios, o se puede utilizar como bioabono en la tierra. Los gastos de transportación del lodo son por consiguiente mínimos.

- ✓ El lodo anaerobio puede ser almacenado y ser conservado fácilmente, lo que simplifica los arranques sucesivos después de paradas o los períodos con cargas orgánicas reducidas.
- ✓ Son sistemas que asimilan altas y bajas cargas orgánicas.
- ✓ Existe la posibilidad de trabajar a tiempos de retención hidráulicos muy bajos, o lo que es igual, se necesitan menores volúmenes de instalación.

Desventajas de los procesos de digestión anaerobia en reactores: ***Informe interno (2008).***

- ✓ En muchos casos no permite conseguir la calidad de efluente que se puede alcanzar en una planta de lodos activos y otros sistemas aerobios, pues sus efluentes todavía contienen un poco de material orgánico, por lo que el post-tratamiento es necesario en muchos casos para cumplir con las normas de vertimientos a cuerpos receptores.
- ✓ Las plantas de producción de biogás requiere de un lodo granular para arranques rápidos, en caso de que no se cuente con ello (arranque lento), se necesita de una adaptación del lodo microbiológico de (6-8 meses) a partir de desechos orgánicos como los porcinos, o mezclas de estos con otros tipos para logar el consorcio de bacterias requerido para el tratamiento.
- ✓ Alta sensibilidad a compuestos tóxicos
- ✓ En ocasiones, hay presencia de malos olores, para lo cual se requiere de un sistema simple de control.
- ✓ El metano producido (biogás), requiere de su purificación para ser utilizado como combustible, para ello es necesario que el mismo sea desulfurizado, lo que se incurriría en otro costo adicional para esta tecnología.
- ✓ Para su comercialización requiere ser almacenado con altas medidas de seguridad.
- ✓ Existe poca experiencia operacional

Reactores más utilizados en la producción de biogás.

El tratamiento anaerobio más antiguo de las aguas residuales, esta basado en el uso de un tanque agitado como reactor, combinado con algunos tipos de equipos de separación y recirculación del lodo (reactor completamente mezclado). Este es el llamado Proceso de Contacto Anaerobio el que fue desarrollado por los años 50 en Suráfrica. ***Obaya (2004)***.

Luego surgieron los sistemas de biopelículas donde se distinguieron dos categorías: sistemas de *cama fija estacionaria* y los sistemas de *cama móvil* expandidas o fluidizadas, ***Obaya (2002)***. Estos sistemas son capaces de manejar velocidades volumétricas muy altas (6-8 kg.m.d), la mayoría emplean un soporte inerte para la retención de lodos.

Al final de los años 70, se introdujo el llamado Reactor Anaerobio Bafleado, ***Obaya (2002)***. En su versión original este reactor posee varios compartimientos que trabajan en serie. Como no fueron tomadas medidas especiales para retener el lodo dentro de los compartimientos separados, y la velocidad superficial del líquido en estos sistemas bafleados es sustancialmente mayor que en un reactor UASB del mismo volumen, el lodo tiende a mezclarse sobre los varios compartimientos. Versiones posteriores del reactor bafleado parecieron mucho más prometedoras.

Los Filtros Anaerobios (FA) de Flujo Ascendente o Descendente pertenecen a la categoría de reactores de cama fija estacionaria. Aunque estos sistemas disfrutan de una relativa alta popularidad, hasta el momento no han encontrado una extensiva aplicación, ***Van Haandel (1999)*.**

En el caso de los sistemas de camas móviles, cuando se produce una completa fluidización de la cama, se conoce con el nombre de Lecho Fluidizado (LF)

El Reactor Anaerobio de Cama de Lodo de Flujo Ascendente (UASB), que está clasificado como reactores de segunda generación con crecimiento disperso, fue desarrollado en Holanda en los años 70´ por Lettinga y sus colaboradores, ***(Lettinga, 1991)***. En estos reactores el agua residual se alimenta por el fondo, se distribuye uniformemente por toda el área y asciende a través del manto biológicamente activo en el que experimenta las transformaciones típicas de la descomposición anaerobia. El CH_4 y CO_2 formados ascienden a lo largo del reactor y son extraídos por el domo superior, ***Menéndez (2003)*.**

Los sistemas de tratamiento anaerobio de segunda generación más aplicados a escala real son los siguientes: biodigestor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodo (UASB) (65%), biodigestor anaerobio de lecho fijo (10%), proceso de contacto anaerobio o biodisco anaerobio o contacto rotatorio anaerobio (9%), biodigestor anaerobio con circulación interna (5%), biodigestor anaerobio con lecho granular expandido (EGSB) (5%), biodigestor híbrido (3%), lecho fluidizado y/o expandido (3%), ***Sánchez (2006)*.**

Una modificación muy prometedora del concepto UASB es el sistema de Lecho de Lodo Granular Expandido EGSB, ***Van Haandl, (1999)***. La diferencia principal de ambos consiste en que en el sistema EGSB se aplican velocidades ascencionales del líquido mayores, entre 5 y 10 m/hr, mientras que en el UASB las máximas son de 2 m/hr. ***Obaya (2002).***

Finalmente varios tipos de Reactores Híbridos (reactores usando la cama de lodo combinado con una sección empacada en la parte superior), han sido diseñados y puesto en práctica tanto en escala piloto como comercial disponibles, los cuales han demostrado ser más eficientes que los UASB y EGSB, en cuanto a la retención del lodo disperso. ***Obaya (2002).*** Investigaciones realizadas han permitido demostrar que los reactores híbridos de lecho de lodo/cama fija, pueden mantener altas eficiencias de tratamiento a más altas cargas de la DQO de las que pueden ser asimiladas por reactores completamente empacados tanto de flujo ascendente como descendentes***, Chernicharo (1997).***

No obstante a todos los sistemas de alta velocidad disponibles, el concepto del reactor de lecho de lodo (UASB), es el sistema más ampliamente usado, sobre todo para el tratamiento de aguas residuales soluble y de mediana fortaleza, aunque no ha sido muy extendido su aplicación para aguas residuales más complejas , parcialmente solubles y de muy baja fortaleza, ***Obaya (2002).***
En estos reactores además de producirse un gas combustible, la fermentación anaeróbica de la materia orgánica produce un residuo orgánico de excelentes propiedades fertilizantes, ***(Valdés, 2007; Biogás, 2006)***, lo que añade atractivo, no solo por sus posibilidades de valor agregado, sino por asegurar el 100% de aprovechamiento del material residual disponible.
Las razones principales de la popularidad de los UASB son: ***Van Lier (2005).***

- La capacidad de remover con alta eficiencia la demanda química de oxígeno.
- la habilidad de asimilar diferentes tipos de cargas orgánicas (tanto bajas como altas), lo que se evidencia en la tabla I.
- el desarrollo de un lodo granular que le confiere alta sedimentabilidad y por ende dan un alto tiempo de retención a la biomasa.
- por ser sencillos y poseer en la parte superior un separador de gases y sólidos.
- por tener relativamente bajos costos de inversión y operación comparado con los otros reactores y
- por tener bajos costos de mantenimiento.

Tabla I. Plantas de tratamiento anaerobio con reactores UASB a diferentes cargas orgánicas ***(Lorenzo, 2008)***.

Compañías	**Tipo de producto**	**Volumen Reactor m^3/d**	**Flujo m^3/d**	**DBO mg/L**	**DQOm g/L**	**Temperatura ºC**	**Carga Orgánica Volumétrica kgDQO/m^3/d**	**TRH (h)**	**Eficiencia**	
									DBO %	**DQO %**
Venco	Licores	50	36	-	18 000	30 - 35	13.0	33	-	90
Bavaria	Cervecería	1400	6000	1000	1 600	20 - 24	6.8	5.6	90	80
Usina	Destilería	120	60	-	35 000	35	15.0	48	-	80
Usina Sao	Destilería	1500	750	-	30 000	35	15.0	48	-	80
Ontarctica	Cervecería	1200	3100	1900	3 000	30 - 35	8.0	9	80	75
Polar C.A.	Cervecería	2000	6100	1000	2 900	30 40	9.0	8	-	75

La tabla I evidencia la capacidad de los reactores UASB de trabajar a diferentes cargas orgánicas y tiempos de Retención Hidráulicos (TRH), sin variar la eficiencia de remoción de la carga contaminante.
Si se quiere favorecer la producción de biogás, se debe tratar de trabajar a tiempos de retención cortos, mientras que si se quiere producir un bioabono de mejor calidad, (o sea degradar lo más posible la materia orgánica), es mejor trabajar a tiempos de retenciones largos.
Conociendo las posibilidades de los reactores UASB de trabajar con altas cargas orgánicas, realizamos una experimentación a escala piloto con el objetivo de hacer más eficiente el sistema de tratamiento de la tecnología tradicional diseñada por especialistas del ICIDCA por más de 20 años de estudio y aplicada a nivel industrial en la empresa Heriberto Duquesne de Villa Clara desde el 2002.

II. Materiales y métodos

Para evaluar la *factibilidad técnica* de los cambios tecnológicos realizados, primeramente se realizó una caracterización completa de las vinazas de la destilería de Heriberto Duquesne donde se tomaron un total de 30 muestras compuestas del día, durante un mes según la metodología para la caracterización de las aguas y aguas residuales de la industria azucarera ***Obaya, (2003); Barreto (2005)***, para su posterior tratamiento en el reactor UASB de la planta piloto del ICIDCA. Fue aquí donde se probaron los cambios tecnológicos, pudiéndose luego comprobar la eficiencia de operación del reactor.

Control de la eficiencia del reactor.

Para tratar las vinazas en el reactor UASB en planta piloto tal cual sale de la destilería, se desarrollo un experimento que duró 90 días, en el cual se varió las condiciones de operación, para tratar en el mismo reactor, las vinazas de Heriberto Duquesne a su máxima concentración, como única fuente de alimentación, con el fin de eliminar toda el agua de dilución y los macronutrintes que con la tecnología convencional se utilizaba. Por ello la alimentación al reactor (vinaza a su máxima concentración), la cual fue introducida diariamente, con el consiguiente ajuste de pH a 7, empleando una solución de hidróxido de sodio (50%).
El reactor empleado cuenta con las siguientes características: forma cilíndrica y fondo cónico, con un diá un volumen de 1.1 L. Se tomó un volumen de trabajo de 1 L. La temperatura fue mantenida a 30^0C en un cuarto termostatazo.

Luego que el reactor estuviera trabajando inicialmente en forma convencional (Tiempo de Retención Hidráulico de 1 día y concentración de la vinaza a 20 kg DQO /día diluyendo la misma con agua común y adicionándose también macronutrientes en forma de sulfato y fosfato de amonio para mantener una relación DQO;N:P de 100:1:0,1, ***Mc Carty (1964***); fueron cambiados los parámetros de operación del reactor para tratar las vinazas a su máxima concentración sin la adición de agua y macronutrientes .

Para estos cambios operacionales fue necesario calcular los nuevos parámetros (flujo de entrada al reactor y carga orgánica aplicada) fijando el tiempo de retención hidráulico del reactor en 3 días, para la nueva metodología, manteneniendo así la carga de trabajo alrededor de 20 kg DQO m^3/día.

$F = Vol / T_R$ **(1)**

Donde:
Vol= Volumen de trabajo del reactor (L)
T_R= tiemp de retención hidráulico (d)
F= Flujo de entrada de vinaza al reactor (L/d)

$K = F*C / V$ **(2)**
Donde:
K = Carga orgánica volumétrica (g DQO / L.d)
F = Flujo de residual que entra al reactor (L/d)
C = Concentración del residual a la entrada del reactor (gDQO/L)
V = volumen del reactor (L)

Evaluación del influente y del efluente del reactor.

El reactor fue operado en 90 días. Para el flujo de entrada de la vinaza concentrada al reactor, fue calibrada la bomba peristáltica y ajustado el flujo diariamente. Realizándose las determinaciones químicas correspondientes tanto al influente (vinaza sin tratar) como al efluente que sale del reactor, ***APHA (1990).***

Evaluación del lodo microbiológico contenido dentro del reactor.

En el laboratorio de la planta piloto del ICIDCA, el lodo granular fue caracterizado a partir de las siguientes determinaciones:
Sólidos suspendidos totales (SST) y volátiles (SSV)
Actividad Específica Metanogénica Máxima (AEM). ***D.S.M (1997) y Obaya (2001).***

$$AEM = \frac{mlCH4}{h} * \frac{1}{418 mlCH4 hum} * \frac{1}{gSSSV} * \frac{24h}{d} \quad (3)$$

Las unidades de la AEM se dan en g DQO-CH_4 / g SSV.d

III. Resultados y Discusión.

La producción de vinaza en la destilería de Heriberto Duquesne es de 800 m^3/d a partir de vinazas procedentes de la fermentación alcohólica de miel B la cual sale a temperatura de 105^{o}C. Su riqueza orgánica lo hace atractivo para su utilización en la producción de biogás, a la vez que su disposición al ambiente puede causar desastres ecológicos a veces irreversibles. Las características de las vinazas estudiadas se ilustran en la Tabla. II.

Tabla II. Caracterización de las vinazas de la destilería de alcohol de Heriberto Duquesne.

Parámetros	Unidad	Promedio	Desv. Est.	Xmin	Xmax
DQOt	g/L	47,61	3,21	45,10	53,40
pH	-	4,04	0,61	3,65	5,4
ST	g/L	43,43	4,01	35,93	50,93
STF	g/L	13,86	0,80	12,57	15,15
STV	g/L	29,57	4,29	23,97	35,17
SST	g/L	3,31	1,36	1,42	5,20
SSF	g/L	1,98	1,25	0,52	3,95
SSV	g/L	1,33	0,95	0,16	2,50
SDT	g/L	42,1	8,10	29,07	55,13
SDF	g/L	11,88	2,56	7,88	15,88
SDV	g/L	30,22	8,23	19,58	40,86
Nitrógeno	g/L	0,36	0,12	0,21	0,53
Fósforo	g/L	0,45	0,14	0,12	0,75
Calcio	g/L	0,29	0,10	0,20	0,45
Sulfatos	g/L	2,75	3,03	0,97	8,8
Cloruros	g/L	5,637	0,58	4,54	6,1

Obsérvese que estos residuales poseen un alto valor de demanda química de oxígeno (DQO) y un bajo valor de pH para ser vertidas sin tratamiento alguno a un curso receptor ***(NC 27:1999).*** Sin embargo, es necesario señalar que la DQO y los sólidos totales (ST) obtenidos de estas muestras, posen valores inferiores a los que los que se informan en literatura, ***Obaya (1988); Valdes (2007),*** puesto que en esta destilería la producción de de alcohol es a partir de miel B y no miel C como cuando se diseñó la planta y operó en sus inicios, además de que el proceso de destilación es más eficiente y la recuperación de alcohol es mayor, porque la empresa desde el 2003 cuenta con un proyecto de Producción Más Limpias (PML). Todo esto trae aparejado que las vinazas posean una carga contaminante inferior a las obtenidas en zafras anteriores en la misma destilería, ***CENGMA, LAGUAZUR (2002).***

La alta 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),*** lo que corrobora que es necesario un proceso secundario de eliminación del azufre para su posterior utilización.

Con relación a los sólidos, se observa que estos residuales contienen una concentración de 3,31 g/L de sólidos suspendidos totales (SST), 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, pueden causar efecto de dispersión y flotación de los lodos ***Alphenaar (1994).***

Las relaciones STV/ST y SSV/SST de 0,68 y 0,40 respectivamente, indican un alto contenido de materia orgánica, ***Obaya (2004).***

Las concentraciones de calcio son suficientes e incluso ligeramente superiores para iniciar un buen proceso de granulación del lodo en reactores UASB. Alphenaar recomienda concentraciones de calcio hasta 0,120 g/L, para el buen desarrollo del proceso de granulación, concentraciones muy superiores, pueden causan el efecto inverso de desfloculación y dispersión de los lodos ***Alphenaar (1994).***

Resultado de los parámetros de operación del reactor empleado.

El flujo de entrada de vinaza al reactor es de 0,33 L/d para una carga orgánica volumétrica de 15,37 g DQO/Ld (según ecuación 1 y 2), manteniéndose así la carga por debajo de 20 kgDQOm^3/d. Con estos nuevos parámetros operacionales la respuesta de operación del reactor se muestra en la tabla III.

Tabla III. Resultados del experimento con vinaza sin diluir y sin adición de macronutrientes.

Parámetros	Unidad	Promedio	Desv. Est.	Xmax	Xmin
Flujo de gas	mL/d	3124	890	6000	1300
DQOt (entrada)	mg/L	46591	1505	47601	43548
DQOt (salida)	mg/L	12576	3410	19173	8098
DQOc (salida)	mg/L	11319	3297	18480	7487
DQO removido	mg/L	14168	18519	39503	144
Remoción DQOTotal	%	71,62	7,98	82	58
Remoción DQO Centrifugada	%	73,90	8,07	83	59
SST(entrada)	g/L	0,26	0,007	0,26	0,25
SST(salida)	g/L	1,13	0,73	3,46	0,36
pH (entrada)		7,19	0,20	7,33	6
pH (salida)		8,28	0,363	9,21	7,4
Alcalinidad Intermedia (AI)	mg/L CO_3Ca	3383	1271	5700	1800
Alcalinidad Parcial (AP)	mg/L CO_3Ca	6392	853	7900	5300
Alacalinidad Total (AT)	mg/L CO_3Ca	9809	1016	11900	8000
Alfa (α)	-	0,37	0,15	0,7	0,2
Rendimiento de Biogás	L biogas/g DQO	0,25	0,06	0,31	0,20
Carga Orgánica Aplicada	kgDQO/m^3.d	15,37	7,09	15,70	14,37

Al analizar la tabla III es posible asegurar que el reactor durante los 90 días del experimento con vinaza sin diluir y sin nutrientes se comportó establemente, mostrando una alta eficiencia de remoción de la DQO total y centrifugada (71,62 y 73,90 %, respectivamente).

El PH obtenido en el tratamiento posee el rango óptimo para la metanogénesis ***Valencia (2002)*** y el PH a la salida del reactor, indica que no hubo momentos de acidificación del reactor por la producción de ácidos grasos volátiles.

La concentración de sólidos suspendidos totales a la salida, de 1,13 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 los experimentos no 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 para evitar el lavado del lodo, ***Lettinga (1980 y 1996); Guiot (1992)***.

El valor de α también indica que la alcalinidad debida a los ácidos volátiles es baja con relación a la alcalinidad total, lo que también favorece la metanogénisis, pues permanece en el rango de (0,2-0,4) informado como óptimo, ***ICIDCA-IPROYAZ (1998).***

Resultado de la caracterización completa del efluente del reactor.

En la tabla IV se muestran los resultados de la caracterización de la vinaza tratada en el reactor piloto UASB.

Tabla IV. Caracterización de las vinazas a la salida del reactor UASB.

Parámetros	**Unidad**	**Promedio**	**Desv, Stand**	**Xmáx**	**X min**
ST	g/L	19,85	2,39	23,31	16,21
STF	g/L	11,92	1,20	13,64	9,67
STV	g/L	7,93	1,43	9,67	5,85
SST	g/L	1,18	0,94	3,46	0,69
SSF	g/L	0,44	0,59	1,50	0,30
SSV	g/L	0,74	0,69	1,96	0,39
SDT	g/L	18,66	1,82	20,91	15,75
SDF	g/L	11,48	0,84	12,24	9,85
SDV	g/L	7,19	1,27	8,77	5,08
Nitrógeno	g/L	0,29	0,24	0,672	0,01
Fósforo	g/L	0,20	0,22	0,56	0,12
Calcio	g/L	0,40	0,44	1,25	0,25
Sulfatos	g/L	1,72	0,66	2,77	0,93
Cloruros	g/L	6,66	0,45	7,052	5,64
Carbonatos	mg/L	8,40	7,11	15,6	0
Bicarbonatos	mg/L	1044,37	2129,21	6312,7	239,12

Como se observa en la tabla IV, el contenido de N y P en el residual tratado es más bajo que el que poseen las vinazas, debido a su consumo por parte de las bacterias presentes en el microbiota del lodo microbiológico.

El contenido de N, P y sulfato en el residual tratado permiten que esta agua puedan utilizarse para el fertirriego de la caña de azúcar u otros cultivos con vistas a disminuir el consumo de fertilizantes químicos, ***Eng (1995).***

El contenido de carbonatos y bicarbonatos nos da la medida de la capacidad buffer del sistema, por tanto a mayor contenido de bicarbonato, mayor impedimento habrá en el reactor para disminuir el PH y la producción de AGV. Por tanto los valores reportados de carbonatos y bicarbonatos en la tabla 10 indican que esta agua permitirían su futura utilización como agente neutralizante en procesos de recirculación en el reactor, permitiendo el ahorro de agentes químicos para este fin. ***Van Lier (2005 b)***. Además el contenido de carbonato (HCO_3) es un parámetro importante en la caracterización de estas aguas para riego, pues solo a concentraciones de HCO_3 mayores de 90 mg/l los suelo y los cultivos pudieran presentar problemas. ***Obaya (1989)***

De la misma forma el contenido de cloruros en las aguas para el riego, pudiera constituir un peligro pero solo en frutales (si la concentración supera los 100 mg/l) como es el caso de estas aguas. Estos problemas no se reportan para el caso del cultivo de la caña de azúcar. ***Obaya (1989)***

Las vinazas de las destilerías contienen fundamentalmente ácidos orgánicos con una alta fracción de materia orgánica soluble biodegradable que se evidencia en los resultados de la DQO a la salida del reactor en la tabla 7. Por las características de la vinaza y del proceso anaerobio, los efluentes que salen del reactor UASB, contienen aún materia orgánica y deben ser sometidos a un tratamiento secundario a fin de que puedan ser vertidos a cualquier curso receptor con niveles de la DQO y color adecuados, ***(NC: 27:1999)***.

Es necesario aclarar que trabajar con vinazas a su máxima carga orgánica, sin emplear agua de dilución ni nutrientes, no modifica la carga orgánica vertida diariamente, en términos de kgDQO/día, pero si los volúmenes de residual, pues son menores. Por tanto estos cambios tecnológicos constituyen una ventaja a la hora de disponerlos o darles un segundo tratamiento, pues por ejemplo los gastos de transportación y almacenaje del residual tratado disminuyen.

Resultados de la evaluación del lodo granular.

Los resultados de las experimentaciones realizadas en el laboratorio fueron:

a.1) AEM = 0,7 g DQO-CH_4 / g SSV.d

a.2) SSV/SST = 65%

En estas experiencias se demuestra que un lodo bien adaptado y activo puede prescindir de macronutrientes adicionales y que puede crecer a partir de la materia orgánica y los nutrientes presentes en las aguas residuales y remover la materia orgánica contenida en los mismos de modo eficiente. Esto se debe a la alta capacidad de autorregulación que mostró el sistema dada la alta Actividad Específica Metanogénica (AEM) del lodo, de 0,7 gDQO-CH_4/SSV.d (0,7-1.0) y la alta relación SSV/SST de 65 %. Wolmaranns, 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 ***Wolmaranns (2003) y Bermúdez (2000).***

De las investigaciones realizadas se puede concluir, que tecnológicamente es factible la introducción de estos cambios operacionales a partir de los resultados alcanzados.

IV. Conclusiones:

1. Se ha demostrado la factibilidad técnica (a escala piloto) de eliminar el agua para la dilución de la vinaza y tratar en los reactores UASB, únicamente, las vinazas de la destilería sin la adición de macronutrientes una vez que el lodo microbiológico esté adaptado y activo, sin variar la eficiencia de remoción de materia orgánica.
2. Los resultados a escala piloto demostraron que el reactor opera establemente, alcanzando remociones del orden de 71,62 % y 73,90 % de DQO total y centrifugada, respectivamente.
3. Se ha corroborado la capacidad de los reactores UASB de tratar residuales a diferentes cargas orgánicas (en este caso mayor); sin variar la eficiencia de operación ni la remoción de la carga contaminante.
4. Las vinazas procedentes de la fermentación de mile B son suficientes para suplementar las necesidades de N y P de la microflora una vez adaptado el lodo microbiológico, por tanto no es necesario adicionar macronutrientes al reactor UASB al operar un planta como la de Heriberto Duquesne cuando la misma trabaje de forma estable y continua a su máxima carga de trabajo.
5. La introducción de esta tecnología incide en dos problemas: un problema medioambiental, al tratar las vinazas a su máxima concentración, disminuyendo los volúmenes de residual a tratar, y por otro lado, el ahorro sustancial de agua y macronutrientes.
6. La tecnología propuesta no modifica la carga orgánica vertida diariamente, en términos de kgDQO/día, pero sí los volúmenes de residual vertidos son menores, constituyendo esto una ventaja a la hora de disponerlos o darles un segundo tratamiento.
7. El presente trabajo además de la novedad de la introducción de una nueva metodología de tratamiento de las vinazas de destilerías en reactores UASB, está en correspondencia con los conceptos de las Producciones Más Limpias (PML).

V. Recomendaciones:

1. Probar a escala industrial, la nueva tecnología de tratamiento de las vinazas de destilerías en reactores UASB en la planta de biogás de Heriberto Duquesne.
2. Profundizar en los estudios de la microbiota presente en el lodo microbiológico de la planta de biogás de Heribeto Duquesne para hacer aún más eficiente el sistema de tratamiento.
3. De acuerdo a los resultados de la implementación de la tecnología, en la planta de biogás Heriberto Duquesne, llevar la generalización a las restantes plantas de biogás del sector.

VI. Referencias Bibliográficas

Alphenaar PA et al. (1993). The influence of substrate transport limitation on porosity and methanogenic activity of anaerobic sludge granules. Appl. Microbiol. Biotechnol. 39. p.p. 277-280.

APHA and APWA. (1990). American Public Health Association. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Seventeenth Edition, Washington, D. C.

Arango, M. Microbiología de la digestión anaerobia. [en linea]. En: http://ingenieria.udea.edu.co/grupos/microbiol/anaerobiosis.ppt. [Consulta: Julio 2008].

Barreto, S. (2005). Importancia de la caracterización de los residuales líquidos de los centrales azucareros para el diseño y explotación de plantas para su tratamiento. Revista Centro Azúcar. vol 2.

Bermúdez, R. C y col. (2000). Evaluación de la disminución de la carga contaminante de la vinaza de destilería por tratamiento anaerobio. Rev Int. Contam. Ambient. 16 (3) 1003-107.

CENGMA, LAGUAZUR. (2002) "Caracterización de las vinazas de destilería del Complejo Agroindustrial Heriberto Duquesne". Informe interno del laboratorio LAGUAZUR del ICIDCA.

Chernicharo, C.A. (1997). Reactores anaerobios principios do tratamento biológico de águas residuarias. V.5. DESA'UFMG, Belo Horizonte. 245 p.

D.S.M. (1997).Dutch Standard Methods, The Netherlands.

Eckenfelder, W,W. (2000). Water Quality Engineering for Practicing. Engineers. CBI Pub. Co. Inc. EU. p.p 35-57.

El proceso de digestión anaerobia [en linea]. En: <http://www.udl.es/usuaris/r5213847/principal.htm>. [Consulta: Septiembre 2004].

Eng, F. (1995). Propiedades agrobiológicas de lodos procedentes de la digestión anaerobia de vinazas de destilerías.
Revista ICIDCA No1. XXIX pág 34-42. 1995

González, S. y col. Tratamiento de liquidos cloacales pre-sedimentados en un reactor UASB en regiones subtropicales. [en linea]. En: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia20/HTML/articulo03.htm>. Universidad Nacional de Salta, Consejo de Investigación-INENCO, Laboratorio de Estudios Ambientales, Buenos Aires Salta, Argentina. [Consulta: Septiembre 2004] Email: lucas@unas.edu.ar.

Guiot, S.R. et al. (1998). Induction of granulation by sulphonated- lignin and calcium in an upflow anaerobic sludge bed reactor. J. Chem. Tech. Biotechnol. 53 45-56. 1992.

ICIDCA-IPROYAZ. Puesta en marcha y operación de la planta de tratamiento de las vinazas de destilería de alcohol del CAI "Heriberto Duquesne".

Informe interno (2002). Digestión anaeróbica Grupo de Residuales. Subdirección de Biotecnología del ICIDCA.

Informe interno (2008). Estudio de factibilidad del Proyecto Uruguay para la construcción de una planta de producción de biogás a partir de vinazas de destilerías. Grupo del CENGMA. Subdirección de Biotecnología del ICIDCA.

Jewell, W. (1987). Anaerobic Sewage Treatment. Env. Sci. Tech. p.p, 9- 21.

Lettinga G. et al. (1980). Use of the Up Flow Sludge Blanket process (UASB) reactor concept for biological waste water treatment especially for anaerobic treatment. Biotechnol. Bioeng. 22 699-734.

Lettinga G. et al. (1996). Sustainable integrated biological waste water treatment. Wat. Sci. Technol. 33 85-98.

Lorenzo, Y. (2008). Presentación y discusión para optar por el grado de master con la tesis "La Energía en la Protección del Medio Ambiente. Estudio de las modificaciones al esquema tecnológico de la producción de biogás a escala piloto".

Mc Carty, P. L. (1964). Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. Part One. Chemistry and Microbiology. Public Works. Sep. Standford University USA, p.p. 107 – 112.

Menéndez, C.; Pérez Olmo; J. (2003). Proceso para el tratamiento biológico anaerobio de aguas residuales industriales. En. [CD room]. Maestría en Ingeniería en Saneamiento Ambiental. Monografía. Capítulo 8. Digestión Anaerobia.
NC: 27.1999. Norma Cubana de vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado.1999.
Obaya M.C. (2002). Estado del arte de la digestión anaerobia. Conferencia. En: Curso de capacitación ICIDCA.
Obaya, M C. Y col. (2003). Metodología para la caracterización de las aguas y aguas residuales para su calidad de agua para el riego. Monografía en Proceso de edición.
Obaya, M C. y col. (2004). Desarrollo de una tecnología de tratamiento de las aguas residuales de las destilerías de alcohol. Informe Final. Código 00103008. ICIDCA.
Obaya, M. C. y col. (2003). Manual de aguas para riego. ICIDCA.
Obaya, M. C; Valdés, M. E; García, l. (1988). Valor biofertilizante de los residuales de las destilerías de alcohol ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, Vol. XXII, 2, pp. 18-22.
Obaya, M.C.; Eng, F.; Valdés, E.; León, O.L; Cuellar, A.; Valencia, R.; Villa, P. (2001). Algunas consideraciones sobre el uso de la recirculación de efluentes tratados en reactores UASB. Revista tecnología del agua. Año XX1, Nº 217. pp.50-59.
Sánchez, J. (2006). Introducción a la producción de Biogás. [CD room]. En: Taller nacional “Actualización y perspectivas para la producción de biogás en Cuba”. Centro Universitario de Sancti Spiritus, 27-29 marzo.
Valdes, M.E. (2007). Alternativas del tratamiento de las vinazas. Conferencia magistral. En: Fórum ATAC-ICIDCA.
Valencia, R. (2002). Remoción del sulfuro de hidrógeno en el biogás empleando como fuente de microrganismo sulfuro oxidantes las aguas residuales de las fábricas de azúcar y las vinaas de destilería de alcohol. Tesis de grado. Ciudad de La Habana 2002.
Van Haandel, A.C. (1999). Tratamiento de Esgostos sanitarios por proceso anaerobio e disposicao controlada no solo. Editorial PROSAB. Rio de Janeiro. P.p.73-97.
Van Lier, J. (2005). Digestión anaerobia y reactores UASB. Curso de capacitación ICIDCA.
Van Lier, J. (2005. b). Environmental Management Expert misión to ÏCIDCA. Technical report. First Misión. Dic,
Wolmarans, B. (2003). Start up of a UASB effluent treatment plant on distillery wastewater. Water Utilization Div., Department Chemical Eng., Univ. Of Pretoria 0001, South Africa.

GESTIÓN AMBIENTAL DE PRODUCCIONES MÁS LIMPIAS PARA LOS PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS EN CUBA 10

Eulalia Gómez, Ana N. San Juan, Angela O. Díaz, Yoandry Rodríguez, Yoel Hernández, Yusmila Guevara, Teresita Lemes y William Cóbas.

Dirección CUBA-10 del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICIDCA). Pablo Noriega, Quivicán. La Habana., Cuba.
E-mail**:** cuba10@enet.cu
Unidad de Ciencia y Técnica municipal (UTCs) perteneciente al CITMA.
E-mail: camquivican@alppp.co.cu

RESUMEN

La Dirección CUBA 10 del ICIDCA trabaja en el desarrollo de tecnologías de diferentes producciones, lo que ha conllevado la necesidad de implementar estrategias ambientales para garantizar mejor calidad de los productos. De acuerdo con lo 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 de nuestras producciones, enfatizando en la prevención de la contaminación, minimización y aprovechamiento económico de los residuales, como principales opciones para reducir las cargas contaminantes dispuestas al medio ambiente.

Dentro de las estrategias de política ambiental, relacionadas con las producciones e investigaciones que se llevan a cabo, ha desarrollados procedimientos y productos vinculados a proyectos nacionales CITMA y ramales MINAZ, cuyo principal objetivo ha sido la obtención de bioproductos para su aplicación en la agricultura, dirigidos fundamentalmente a la sustitución de productos químicos. Entre estos se encuentran el **VERTICID** y **NEMACID** los cuales son muestra del esfuerzo por lograr procedimientos sin contaminación ya que constituye una tecnología cerrada utilizando todas las corrientes del proceso.

La producción y aplicación de estos bioplaguicidas no sólo son de gran impacto económico sino que han permitido la generalización de los mismos en la extensión de las evaluaciones de control biológico en las áreas del Centro de Referencia Nacional de las FAR (**HORTIFAR**), en **UBPC Pablo Noriega** y en las **Cooperativas de Producción Agropecuaria 26 de Julio** y **17 de Mayo** del municipio Quivicán, con efectividades entre 90 y 95 % sobre mosca blanca, ácaros blancos, salta hojas, trips palmi, pulgón verde, minador común, prodenias y nematodos agalleros.

Palabras clave: Gestión Ambiental, Producción más Limpia, bioproductos, control biológico.

ABSTRACT

Management CUBA 10 of the ICIDCA works in the development of technologies of different productions, that has borne the need to implement environmental strategies in order to guarantee better quality of the products. According to what's been shown, the need to design a new focus of work in the environmental step

is emitted, that it allow introducing and applying the concept of more clean production of integral and systemic form within our productions, emphasizing in the prevention of contamination, minimization and cost-reducing use of the residual like principal options to reduce the contaminating loads arranged to the ambient midway.

Within the strategies of environmental policy, once productions were related to and investigations that take effect, there is developed procedures and products linked to national projects CITMA and branches MINAZ, whose principal objective has been bioproductos's obtaining for its application in agriculture, directed fundamentally to the substitution of chemical products. Enter these which find the **VERTICID** and **NEMACID** they are sign of the effort to achieve procedures without contamination since you constitute a closed technology utilizing the process's all of currents.

The production and these bioplaguicidas's application not only are of great cost-reducing impact rather they have enabled the generalization of the same in the extension of the evaluations of biological control in the areas of National Referencia's Center of the FAR (**HORTIFAR**), in **UBPC Pablo Noriega** and in the **Agricultural Worker's Cooperatives July 26** and **May 17** the municipality Quivicán, with effectivenesses between 90 and 95 % on white fly, white acaruses, jump over sheets, trips palmi, green, mining common plant louse, prodenias and nematodes agalleros.

Key words: Environmental step, more clean production , bioproductos, biological control.

INTRODUCCIÓN

La producción más limpia es una estrategia preventiva integrada que se aplica a los procesos, productos y servicios a fin de aumentar la eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente, la misma incluye el uso eficiente de materias primas, agua y energía, eliminación de productos tóxicos y reducción de emisiones y desechos en la fuente misma de generación, elevando simultáneamente su competitividad. (Camacho, A., Ariosa, L. (2000), (Novo, M. (1996)

El desarrollo de tecnologías de diferentes producciones en nuestra institución a conllevado la necesidad de implementar estrategias ambientales que se materializan en planes de acción a corto, mediano y largo plazo, para garantizar una mejor calidad del producto, 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 dentro de nuestras producciones, haciendo uso y aprovechamiento racional de los residuales, como principales opciones para reducir las cargas contaminantes dispuestas al medio ambiente en las condiciones de nuestra localidad. (Valdés, E. (2004)

El objetivo de nuestro trabajo es la implementación de tecnologías limpias en la Dirección de Procesos Biológicos CUBA-10 con vistas a mejorar los productos, servicios y la reducción de los riesgos a los humanos y el medio ambiente.

DESARROLLO

Caracterización de la entidad

La Dirección CUBA-10 del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), se encuentra ubicada en el Consejo Popular "Pablo Noriega", Municipio de Quivicán, La Habana. Adscripta a la estructura del ICIDCA, respondiendo directamente a la Dirección de Investigación y

Desarrollo, esta dirección cuenta con dos departamentos a los cuales integran las diferentes áreas, la estructura se muestra el anexo 1.
Teniendo en cuenta la infraestructura tecnológica existente en el centro se han desarrollado diferentes proyectos de investigación en correspondencia con el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) y con el MINAZ, dirigidos a la obtención de bioproductos, profundizando en la ingenierización de los diferentes procesos biotecnológicos para la obtención de biopreparados de origen microbial, más eficaces y persistentes en nuestras condiciones ambientales.

Como resultado de este trabajo se han diseñado tecnologías para la obtención de diferentes bioproductos, para lo cual las plantas de Cuba 10 han tenido un carácter protagonista, ya que se cuenta con una planta de fermentaciones convencionales completamente activa hasta escala de planta piloto, que por su versatilidad y escala es única de su tipo existente en el país en la rama de la biotecnología industrial, lo que ha permitido el desarrollo de estas tecnologías.

Misión

CUBA 10 utilizando los conocimientos de la química y la biotecnología, realiza trabajos de I+D en el campo de los derivados de la caña de azúcar y los aplica en la agricultura y la industria, realizando estudios de escalado, profundizando en la ingenierización de los diferentes procesos biotecnológicos para la obtención de biopreparados de origen microbial, desarrolla producciones a pequeña y mediana escala, forma y desarrolla los recursos humanos y difunde en el ámbito nacional e internacional el conocimiento alcanzado por los investigadores. Garantiza la sostenibilidad del desarrollo del Instituto mediante el cumplimiento de sus objetivos, aportando en el aseguramiento de los recursos humanos, financieros y materiales.

Visión

Ser un centro de Producciones Biológicas con reconocimiento a nivel nacional, por su excelencia en la realización de los productos biológicos y servicios al cliente, caracterizados por la eficiencia y calidad de su gestión y el mejoramiento continuo.

Identificación de los Principales Problemas Ambientales y acciones tomadas.
- Vertimiento de residuales.- En nuestra área contamos con las Planta Piloto de Fermentaciones, Planta piloto de especialidades Bioquímicas y laboratorios de análisis y microbiología, de los cuales se vierten todos los residuales de las diferentes producciones realizadas. Estos residuales son biodegradables, y los residuos sólidos son tratados térmicamente y eliminados de igual forma, no existen sustancias tóxicas.

- Tratamiento de residuales.- En las diferentes producciones estas corrientes son llevadas hasta el agotamiento, se reduce al mínimo el consumo de agua, no se utilizan solventes orgánicos y el 90% de las fermentaciones no se vierten a la zanja, se convierten en productos. Cuando se pierde una fermentación, al desecho se le minimiza el DQO hasta 100mg/l, se ajusta pH a 7.0 y con ello se reduce el impacto al ambiente.
- Sistema de redes hidráulicas: Las redes hidráulicas se encuentran en buen estado, existiendo una limpieza y control sistemático de tanques, así como de las fugas y salideros.

- Caracterización y cuantificación de residuales.- En cuanto a la caracterización de los residuales líquidos y sólidos se realizan los análisis siguientes: DQO, sólidos, alcalinidad, conductividad, coliformes totales y fecales en laboratorio de Referencia Nacional del Ministerio del Azúcar. Tabla I

Tabla I. Caracterización química y microbiológica de las corrientes de desecho de las producciones.

Muestras	Demanda Química de Oxígeno Total (DQOt) (mg/L)	Coliformes Totales (ferment. Lactosa)	Bacterias	
			Agar N. (UFC/mL)	Agar M. (UFC/mL)
1	136	+	-	-
2	146	++	4.85×10^5	4.25×10^5
3	383	+	2×10^2	-
4	456	++	6×10^5	2.15×10^5
5	136	-	-	-
6	158	+	1.9×10^5	9.9×10^4
7	139	-	6.5×10^2	-
8	430	++	9×10^4	6.5×10^4
9	136	-	-	-
10	166	+	1.55×10^5	1.8×10^4

++ fermentable **+ poco fermentable** **- no fermentable**

- Alta incidencia de plagas en los cultivos agrícolas de la localidad.- Afectación en los rendimientos agrícolas de cultivos tales como: frijoles, viandas y hortalizas en el orden de 20 - 30% causado por las plagas: **sobre mosca blanca, minador común, salta hojas, pulgón verde, trips palmi, ácaros blancos y prodenias**.

- Alto grado de infestación de suelos por nemátodos agalleros en la localidad.- Alta incidencia de infestación de los suelos y grandes pérdidas en los rendimientos, en el orden entre 30 y 40% causados por **nemátodos agalleros**.

Estrategia para Minimizar los Principales Problemas Ambientales

La solución de los principales problemas ambientales que nos afectan deben ser visto con un enfoque sistemático e integrador y no como una solución aislada de cada uno de ellos además de tener en cuenta los efectos sobre el principal componente del medio ambiente: el ser humano.

- Producción más limpia.- La implementación del Sistema de Gestión Ambiental ha diseñado un nuevo enfoque de trabajo en la gestión ambiental de la entidad, lo que ha permitido introducir y aplicar este concepto de forma integral dentro del proceso productivo, haciendo énfasis en la prevención de la contaminación, la minimización y el aprovechamiento económico de los residuales de las tecnologías de producción.

- Remodelación de las instalaciones del centro.- La exigencia de mejora continua de nuestros procesos, productos y servicios nos imponen una transformación de las instalaciones de nuestra entidad, por lo que la remodelación del área de producción de la planta que contempla 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, no solo constituyen un requerimiento de seguridad biológica, sino que minimiza los riesgos a la salud humana y al medio ambiente.

- Gestión de la Calidad para producciones biológicas.- Se realizó un diseño de Sistema de Gestión de la Calidad para las producciones biológicas para la entidad, el cual está basado en las normas cubanas NC ISO 9001:2001, de forma tal que respalden las producciones biológicas específicamente los productos biológicos: **VERTICID, NEMACID, PROBICID** y **GLUTICID,** debido a que el flujo tecnológico para la producción de estos bioproductos es similar. De acuerdo a los requerimientos de esta norma Cuba 10 cuenta con una Política de Calidad y objetivos aprobados por el Consejo de Dirección, de la documentación del sistema se ha implantado el 95% en todas las áreas, se confeccionó el manual de Calidad para las producciones biológicas. Con el Sistema implantado se ha logrado capacitar el 93% de los trabajadores y el 100% del consejo de dirección, se han calibrado y verificados los controles de medición correspondientes a las diferentes magnitudes, quedando aptos para el uso.

- Bioproductos.- La producción y aplicación de medios biológicos para el control de plagas y enfermedades que afectan a casi todo tipo de cultivos es una tarea prioritaria de la institución. Por estas razones nos encontramos involucrados en la producción de productos biológicos, los cuales están asociados a Programas de proyectos CITMA y MINAZ. En estos proyectos se plantean dos procedimientos con una tecnología cerrada, sin vertimiento de contaminantes al medio, lográndose dos productos, uno para el control de la mosca blanca y otras plagas (**VERTICID)** y otro a partir de los residuales, efectivo para el control de nemátodos agalleros (**NEMACID**). Estos tienen su generalización en la extensión de las evaluaciones de control biológico en áreas del Centro de Referencia Nacional de las FAR (**HORTIFAR**), en **UBPC Pablo Noriega** y en las Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA**) 26 de Julio** y **17 de Mayo** del municipio Quivicán.

- **VERTICID,** formulado en polvo, esta constituido por las esporas del hongo *Lecanicillium lecanii (Verticillium)* en un orden de 10^9 esporas/g, su evaluación biológica en condiciones de producción en diferentes áreas y cultivos mostró efectividades entre 95- 99% sobre mosca blanca, minador común, salta hojas, pulgón verde, trips palmi, ácaros blancos y prodenias, con dosis de **300g/ha,** 3 aplicaciones y frecuencia de 7 días**. Fig. 1 y 2**

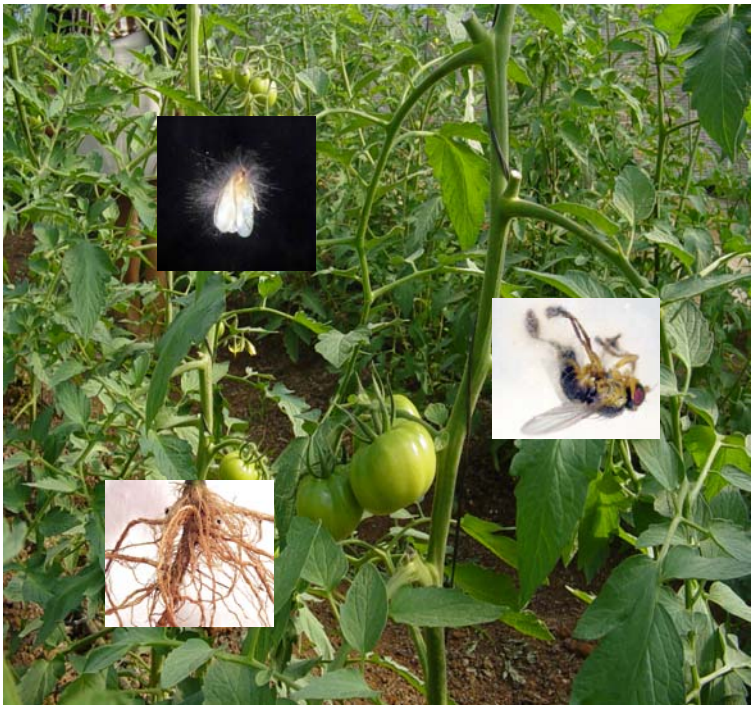


Figura 1. Cultivo de tomate (Var. Aro) completamente sano, de casas de cultivo de: HORTIFAR, CPA 17 de Mayo y 26 de Julio tratado con los bioproductos VERTICID y NEMACID, con muestra de cadáveres de mosca blanca y minador común infestados por hongo *Lecanicillium lecanii* (*Verticicillium*) del VERTICID y raíz no contaminada con nematodos por tratamiento del suelo con el NEMACID, con incrementos de producción entre 30 y 40%.

Figura 2. Cultivo de tomate (Var. Aro) de las CPA 17 de Mayo y 26 de Julio sin tratamiento con los bioproductos VERTICID y NEMACID, con muestra de insectos plagas de mosca blanca y minador común en alto índice, con la raíz infestada por nematodos (grado 5) y afectación en el rendimiento agrícola en el orden de 20 - 30% de pérdidas.

En Cuba se dispone para el control de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y otras plagas foliares los productos producidos en los CREE y los químicos de importación, que solamente son usados en cultivos estratégicos, como el **CONFIDOR**, cuyo precio en el mercado mundial es del orden de 312.60 USD/Kg. La sustitución del químico **CONFIDOR** por el **VERTICID**, resultaría en un ahorro de **10232.83 pesos** en un área de **53.13 ha**.

- **NEMACID,** nematicida obtenido a partir de la corriente de desecho de la tecnología de producción del **VERTICID**, es un producto en polvo constituido principalmente por proteasas alcalinas, fue evaluado en diferentes áreas y cultivos, a dosis de aplicación de 15 Kg/ha 4 aplicaciones y frecuencia de 7 días. El producto mostró una efectividad del 95% contra *Meloidogyne incognita* en cultivos protegido, con incrementos de producción entre 30 y 40% y un óptimo desarrollo vegetativo del cultivo en cuanto a crecimiento, floración y cantidad de frutos (**Fig. 1 y 2**). Para el control de esta plaga mediante el empleo de productos químicos, es necesario invertir **1,800 USD/ha**. La sustitución del el químico **BASAMID** por el **NEMACID**, resultaría en un ahorro de **82865.48 pesos**. Es importante destacar que en el país, el control de esta plaga se realiza mediante insecticidas químicos en cultivos estratégicos, empleando productos de importación como el **BASAMID** y el **NEMACUR**, los cuales se aplican a dosis de **300 y 25 Kg/ha**, con costos de **1350 y 300 USD/ha**, respectivamente. Mediante el empleo del **NEMACID** es posible utilizar dosis de **60 Kg/ha**, con un costo de **156 USD/ha**.

- **Prestación de Servicios a Instituciones del Polo Científico.-** La planta de CUBA 10 prestó servicio a diferentes proyectos de investigación del área de biotecnología del Instituto y a centros del polo científico, lográndose los siguientes resultados:

- **Producción de un herbicida bioquímico**. Se obtuvieron 14 Kg del producto para su evaluación en campo.
- **Metabolitos de pseudomonas Sp p/ desinfección de semilla**: Relacionado con este proyecto se produjeron 70 Kg de GLUTICID para su evaluación y extensión.
- **Deshidratación de guarapo como alternativa en la diversificación azucarera**: Fueron obtenidos 108 Kg del producto para su evaluación en la industria alimenticia.
- **Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA)**: Fueron obtenidos 83 Kg de UDERTAN producto del Mangle rojo para su evaluación en la industria farmacéutica.
- **BIOCEN:** Se produjeron 672 Kg de Bases nutritivas. Productos utilizados para las producciones de formulación de todas las fermentaciones, para la obtención de los principios activos en las Plantas de Producción de Principios Activos del CIGB de Ciudad Habana y de Camagüey y otros Centros del Polo, además de su propia unidad de Principios Activos, los cuales se utilizan en la fabricación de las vacunas, preparados y liofilizados.
- **Centro de Histoterapia Placentaria.** Se obtuvieron 15 litros MELAGENINA PLUS para uso farmacéutico.

Evaluación de los principales impactos ambientales generado por la Entidad

No	Actividad	Aspectos asociados	Impacto Ambiental	Carácter del Impacto	Valoración del impacto
1	Procedimiento obtención del **VERTICID**	Control biológico.	Tecnología. Cerrada	Positivo	Alto
2	Procedimiento obtención del **NEMACID**	Control biológico.	Tecnología. Cerrada	Positivo	Alto
3	Producto **VERTICID**	Control de plagas tales como: mosca blanca, ácaros blancos, salta hojas, trips palmi, pulgón verde, minador común y prodenias.	% de disminución del nivel de afectación de las plagas.	Positivo	Alto
4	Producto **NEMACID**	Control de nematodos agalleros (*Meloidogyne incognita)*	% de disminución del nivel de afectación de los suelos	Positivo	Alto
5	Producto **GLUTICID**	Control de hongos fitopatógenos	% de disminución del nivel de afectación de las plagas.	Positivo	Alto
6	Producto **GUARAPO DESHIDRATADO**	Industria alimenticia Industria biotecnológica	Sustituto del azúcar refino en la industria alimenticia	Positivo	Alto
7	Producto del Mangle rojo **UDERTAN**	Industria farmacéutica	Obt. de productos farmacéuticos	Positivo	Alto
8	Producto **Bases Nutritivas**	Industria farmacéutica Industria biotecnológica	Obt. de productos farmacéuticos	Positivo	Alto
9	Producto **MELAGENINA PLUS**	Industria farmacéutica	Obt. de productos farmacéuticos	Positivo	Alto

Plan de objetivos y metas de la entidad

Principios de la política	**Objetivos**	**Metas**	**Acciones**	**Fecha**	**Indic.**	**Resp.**
1.Aplicar la ciencia y la innovación tecnológica en todas nuestras actividades, garantizando un mejor desempeño ambiental.	1.1 Introducir y desarrollar tecnologías para el uso sostenible de los bioprod. y los componentes que integran el sistema de producción.	1.1.1. Beneficiar con los bioproductos las áreas de la localidad afectadas.	1.1.1.1 .Desarrollar la producción de bioprod. a través del uso racional de materias primas y recursos	Anual	Prod./año bioproductos	J.Prod
		1.1.2. Alcanzar un incremento en los rendimientos de los cultivos	1.1.2.1. Disponer de bioprod. para su aplicación y eval. en campo.	Anual	% Efectividad biológica de los bioproductos.	Inv.
		1.1.3. Desarrollar estrategias de Manejo integrado	1.1.3.1 Tomar medidas de control cultural, químico y biológico.	Por ciclo de cultivos	% de efectiv. técnica por cultivo	Inv.
		1.1.4. Lograr la producción de cultivos ecológicos	1.1.4.1 Eliminar y reducir el uso de productos químicos	Por ciclo de cultivos	% de efectivi. técnica por cultivo	J.Prod
		1.1.5. Lograr el mejoramiento y conservación de los suelos.	1.1.5.1 Reducir el Indice de nematodos en suelo.	Por ciclo de cultivos.	% de reducción de infestación del suelo.	J.Prod
2. Desarrollar la producción de bioprod. de forma sostenible, mejorando nuestro desempeño ambiental de manera continua.	2.1.Introducir y desarrollar buenas prácticas de gestión ambiental en todas nuestras producciones y actividades	2.1.1Tener implementado un Sistema de Gestión Ambiental orientado a la mejora continua en el año 2007 de todas las producciones	2.1.1.1 Crear un equipo ambiental con su responsable.	Dic. 2007	Resp. de medio amb.	Dir.
			2.1.1. 2 Diseño e implementación del sistema de gestión ambiental en el centro	Dic. 2007	Equipo de gest. Amb.	Equipo Amb.
			2.1.1. 3 Revisión y actualización periódica del Sist. de Gestión Ambiental	Semestral	No. revis. del Sistema Gestión Amb.	Dir. Equipo Amb.
			2.1.1.4 Establecer los indic. y control sistemático de desempeño amb.	Anual	No. Indicador establecido.	Dir.
			2.1.1. 5 Controlar sistemáticamente el cumplimiento del plan de acción para la obtención del RAN	Semestral	% de cumplimientod el Plan de Acción	Dir.

3.Cumplir las regulaciones vigentes en materia de medio ambiente.	3.1Garantizar cumplimiento de la legislación y normativa ambiental aplicable a nuestras actividades.	3.1.1 Cumplir el 100 % las regulaciones ambientales aplicables a las actividades del CUBA –10 y obtener resultados satisfactorios en las inspecciones estatales.	3.1.1. 1 Identificar las regulaciones aplicables. 2.1.1.2 Crear un expediente de las regulaciones aplicables y mantenerlo actualizado 2.1.1.3 Dar a conocer las regulaciones aplicables a los trabajadores 2.1.1.4 Controlar sistemáticamente el cumplimiento de las regulaciones ambientales.	Anual 2007- 08 2007- 08 Semestral	Disp. de las regulaciones. Nivel de conocimiento de las reg. por los trabajadores No. de no confor. detect. en las inspecciones y controles kg de bioprd. aplic. /año Calidad del Agua.	Adm. Grupo Amb. Grupo Amb. Grupo Amb.
4.Hacer manejo eficiente y sostenible de los recursos disponibles, fundamentalmente del agua y materias primas.	4.1. Lograr el uso eficiente del agua y materias primas	4.1.1. Lograr el cumplimiento sistemático del uso racional del agua 4.1.2. Lograr el cumplimiento sistemático del uso racional de las meterías primas 4.1.3. Lograr el cumplimiento sistemático del uso racional de los desechos líquidos y sólidos.	4.1.1.1. Implementar vías para minimizar el uso de agua en las producciones 4.1.2.1. Optimizar el uso de las materias primas para las producciones 4.1.3.1. Buscar vías alternativas para el aprovechamiento de los desechos líquidos y sólidos.	En cada producción En cada producción En cada producción	Consumo en horas de fermentación/ prod. Producciones Otras producciones	J. Producción J. Producción J. Producción

Estimación de riesgos de la entidad.

Riesgo	**Causa**	**Clasif.**	**Frec.**	**Valoración de la perdida**	**Acciones y Medidas de control**	**A controlar por**	**Forma de control**	**Periodic.**
Retrazo en la activación de la Planta Semi industrial de Productos Biológicos.	Falta de recursos financieros	Interno Externo	Media	No contar con productos de alto valor agregado.	Presentar Proyectos con el Producto Probicid para financiar la producción.	Directora	Plan de Tareas	Mensual
Obsolescencia en el equipamiento de la Planta Piloto de investig.	Falta de recursos financieros	Interno Externo	Alta	Incumplimiento del plan I+D	Gestionar Proy. Intern. para financiar entrada de equipamiento, gestionar asignación a través de créditos MINAZ	Directora	Chequeo por plan de tareas.	trimestral
Retrazo de la puesta en marcha de la Planta de B. Multinutricio-Nales.	Falta de recursos y gestión interna	Interno	Media	Incumplimiento en el plan de producción	Búsqueda de alternativas de financiamiento y priorizacion de la tarea	Directora	Plan de tareas	Mensual
Bajo nivel de infor. y conectividad con el Instituto	Baja asignación de recursos y lejanía.	Interno	Media	Lejanía y baja explotación de la instalación	Búsqueda de financiamiento	Directora	Chequeo del plan temático	Trimestral
Falta de personal con categoría de investigador	Falta de una estrategia en categorizaci ón del personal profesional.	Interno	Alta		Establecer estrategias para categorizar a los profesionales existentes, mejorar las condiciones de trabajo de invest. y buscar personal nuevo.	Directora	Plan temático.	Trimestral
Inestabilidad en el funcionamient o del generador de vapor	Envejecimi ento del equipo existente	Interno Externo	Alta	Incumplimiento de los planes de investigación	Búsqueda de alternativas de financiamiento para reparación y adquisición de un generador.	Directora	Consejillos de Dirección	Semanal

CONCLUSIONES

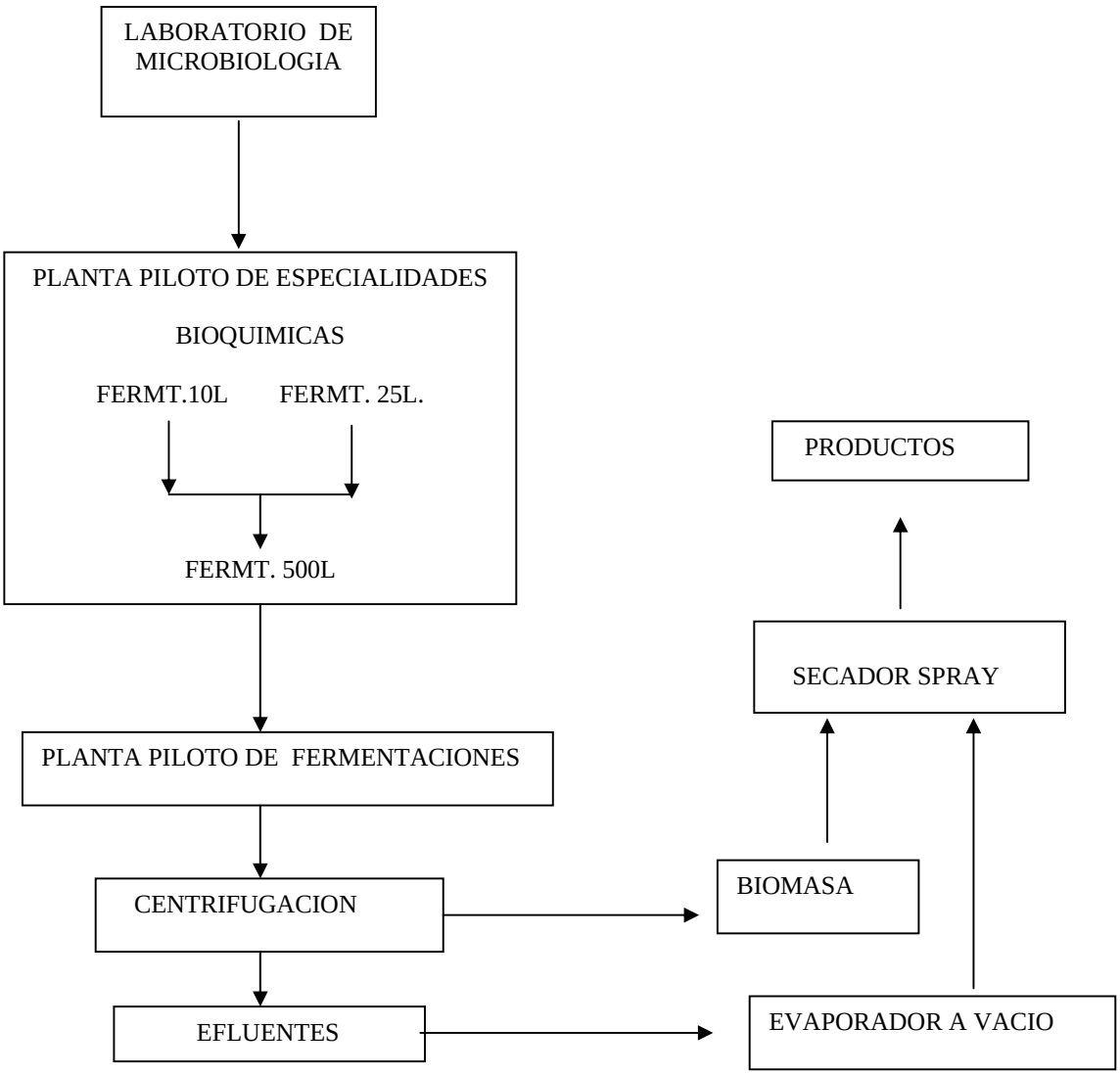
La Dirección de Procesos Biotecnológicos CUBA-10 aplica los diferentes instrumentos de Gestión Ambiental en su trabajo para las Producciones más Limpias minimizando las fuentes contaminantes, dándole una importancia relevante a la Educación Ambiental como vía idónea de elevar la Cultura Ambiental y el Desarrollo Sostenible.
La implementación de un Sistema de Gestión de la Calidad permitió la elaboración del procedimiento para la producción de un bioproducto y el licenciamiento de la planta para la elaboración del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Camacho, A., Ariosa, L. (2000), Diccionario de Términos Ambientales. Publicaciones Acuario. La Habana, Cuba. 30, 39, 40, 50.
2. Centro de Información, Divulgación y Educación Ambiental. (CIDEA). (1995), Agencia del Medio Ambiente. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo. Primera Edición. 7-60, 88-90.
3. González, T., García, I. (1999), Legislación, una herramienta. Editorial Academia. La Habana, Cuba 8-41.
4. Legislación Ambiental: Ley No. 81/97, " Ley de Medio Ambiente" y Decreto Ley No.200/00," De las Contravenciones en Materia Medio Ambiente.
5. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba. (2001), Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, a 10 años de la Cumbre de Río de Janeiro. " Río + 10 "; 20-22.
6. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. (1997), Estrategia Ambiental Nacional. 2, 14-15, 19-27.
7. Novo, M. (1996), La Educación Ambiental. Bases éticas, conceptuales y metodológicas. Editorial Universitaria S. A. Madrid, España. 246-248.
8. Cabrera, G. (2002), Hacia un Desarrollo Sostenible, Proyecto Formación de Formadores, CEDEM.
9. Cabrera, G. (2002), Población, Educación Ambiental, Consumo y Desarrollo. ¿Nuevas Interrogantes a viejos problemas?.
10. Valdés, E. (2004), Curso de Producción Más Limpia. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, La Habana Abril 5-9.

Anexo 1.

DIGRAMA DE FLUJO DE PRODUCCION DE CUBA-10.



REGISTRO DE EMISIONES CONTAMINANTES EN LA INDUSTRIA AZUCARERA CUBANA. PLATAFORMA PARA EL TRABAJO

Georgina Michelena*, Fidel Doménech*, Esperanza Valdés*, Felipe Eng*, Marta Senti**

*Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 807 esq. a Carretera Central, P.O. Box 4026, Ciudad de La Habana, Cuba;
georgina.michelena@icidca.edu.cu
** CITMA, (Ministerio de la Ciencia, la Innovación Tecnológica y el Medio Ambiente).

RESUMEN

Se indica el marco regulatorio para establecer el registro de emisiones contaminantes en la industria azucarera. Se realiza el diagnóstico de las posibles fuentes gaseosas siendo las fundamentales las emisiones que producen la quema de combustibles fósiles y el bagazo en las calderas generadoras de vapor, la quema de la caña y en la producción de azúcar blanco directo, donde se liberan partículas y compuestos como los óxidos de nitrógeno y azufre, los resultados indican la necesidad de dar solución a esta problemática a través de métodos químicos, físicos o biológicos.
La industria de los derivados se caracteriza por la producción de alcoholes, rones y aguardientes de diferentes calidades, alimento animal, levaduras *Saccharomyces* y Torula, tableros de bagazo, sorbitol, glucosa, fructosa, furfural y caramelos y se impone la necesidad de la caracterización de los efluentes con vista a mitigar las concentraciones de CO2, etanol, formaldehído, furfural entre otros que se liberan al ambiente.

Palabras clave: Emisiones, Contaminantes, Industria Azucarera

ABSTRACT

Legislations for establishing the polluting emissions registration in the sugar industry are indicated. The diagnosis of the possible gaseous sources being the main that take place when burns of fossil fuels and the trash in the generating boilers and in the production of direct white sugar, where particles are liberated and compound as the nitrogen oxides and sulfur are expendided. The results indicate the necessity to give solution to this problem through chemical, physical or biological methods.
The industry of sugar derived is characterized by the production of alcohols, rums and liquors of different qualities, animal food, yeasts *Saccharomyces* and Torula, bagasse boards, sorbitol, glucose, fructose, furfural and candies and the necessity of the characterization of the effluents is imposed in order to mitigate the concentrations of CO2, ethanol, formaldehyde, furfural among others that are liberated to the atmosphere.

Key words*: Emissions, Pollutants, Sugar Industry*

SITUACION AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA EN CUBA

La protección del medio ambiente tiene rango constitucional en Cuba. El Artículo 27 de la Constitución de la República establece: "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 asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras".
En el ordenamiento jurídico nacional, las disposiciones que regulan la conservación, protección, mejoramiento y transformación del medio ambiente, así como el uso racional de los recursos naturales, se caracterizan por tener diferentes rangos que van desde leyes hasta normas técnicas.
En 1997 se adoptó la Estrategia Ambiental Nacional que propulsó un proceso de elaboración e implementación de estrategias sectoriales y territoriales que ha continuado hasta el presente. La Estrategia Ambiental Nacional es el documento directriz de la política ambiental cubana y constituye la base sobre la cual se proyecta el trabajo para lograr un estadio superior en la protección del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales.
En la Estrategia se establece la obligación de los organismos que tienen a su cargo regular y controlar determinados componentes del medio ambiente, de desarrollar acciones que incluyen la conservación y manejo adecuado de los recursos naturales, la lucha sistemática contra las causas y condiciones que originan la contaminación, la aplicación de medidas preventivas y el logro de producciones con niveles mínimos de residuos y emisiones contaminantes.
Entre las diferentes causas que provocan en Cuba la contaminación de las aguas, suelos y la atmósfera resalta la situación de las instalaciones industriales que emplean las corrientes superficiales como receptoras de residuales crudos o parcialmente tratados, los que parcialmente llegan a la zona costera y a las cuencas hidrográficas. De igual forma, el empleo de la atmósfera como receptora de las emisiones generadas y del suelo como destinatario de los residuos sólidos vertidos. Se aprecia igualmente la ausencia de tratamiento para las emisiones a la atmósfera, la carencia de la infraestructura técnica para un adecuado manejo de productos químicos y de desechos peligrosos, así como la acumulación progresiva de estos desechos con riesgo para la salud humana. También influye negativamente la indisciplina tecnológica y la aun insuficiente introducción de prácticas de Producción Más Limpia. La industria azucarera cubana no está ajena a esta problemática.

CARACTERIZACION DE LAS CONTAMINACIONES GASEOSAS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA Y SUS DERIVADOS.

a. La quema de la caña para el corte.
En muchos países se practica la quema de la caña antes del corte. La principal justificación es la disminución considerable de los costos de la cosecha y la eliminación de roedores y otras plagas, sin embargo, el empleo de este sistema acelera el deterioro de la sacarosa y los daños causados al medio ambiente son generalmente irreversibles.
Otros aspectos negativos de la quema de la caña son: *(CETESB, 1989)*.

- ✓ El fuego destruye la paja de caña que podría ser incorporada al suelo, aumentando el potencial de materia orgánica del mismo.
- ✓ Destrucción de materia orgánica del suelo por la incidencia de altas temperaturas durante la quema.
- ✓ Predisposición del suelo a la acción mas agresiva de las lluvias, teniendo lugar la lixiviación de las cenizas.
- ✓ Resecamiento del suelo por la exposición directa a los rayos solares.
- ✓ Destrucción de muchos insectos considerados enemigos naturales de la broca de la caña.
- ✓ Predisposición para el crecimiento de hierbas dañinas.
- ✓ Calidad inferior del agua de lavado de la caña. (aumento de la DBO).
- ✓ Pérdida del 15% de la materia seca de la caña.

En algunos países la quema se realiza la noche anterior al corte, entre otros procurando una mejor dispersión de los contaminantes. No existen datos suficientes para determinar si la práctica de la quema de la caña tiene un impacto significativo sobre la salud humana. Sin embargo en algunos países como los EUA y las Islas Hawai la quema de caña se puede realizar solo con la autorización de las agencias de control de la calidad de aire o de entidades forestales. Otro ejemplo es Brasil, donde en la zafra de 1997 *(CETESB, 1997)* se aprobaron directrices para el control de la polución debido a la quema de la caña, estableciendo áreas en las cuales la quema de caña seria considerada una infracción de naturaleza muy grave y penalizada con pesadas multas. Estas áreas son:

- ✓ Areas urbanas: 1Km alrededor
- ✓ Líneas de transmisión de energía eléctrica: 10 metros a cada lado para Líneas de 15 KV y 25 metros para líneas de 34,5-69-138KV.
- ✓ Subestaciones de energía: 100metros alrededor
- ✓ Líneas férreas: 50 metros a cada lado
- ✓ Carreteras: 100 metros de cada lado de la pista

En Cuba se encuentra prohibida esta práctica, sin embargo en ocasiones se realiza esta actividad sin la debida autorización. Es menester de las autoridades medioambientales la aplicación correcta de esta ley a través de sanciones y multas. Algunas características de las emisiones provocadas por la quema de la caña son:

- ✓ Partículas: 3 – 4.2 kg/ t de caña
- ✓ Monóxido de carbono: 30 – 40 kg/t de caña
- ✓ Hidrocarburos: 2.4 – 8 kg/t de caña

Otro aspecto de interés en relación con la quema de la caña es el posible impacto ambiental por las emisiones de CO_2 a la atmósfera. Como es sabida, las emisiones de CO_2 producto de la quema de combustibles fósiles son la causa principal del efecto invernadero. Durante la quema se libera el 18.2 % del CO_2 fijado durante el crecimiento (*Rozeff, 1995)*. Es oportuno señalar que la caña de azúcar es mucho más eficiente que los bosques tropicales en la fijación de CO_2. Datos del propio Roseff *(Roseff, 1995)* indican que la caña de azúcar fija 1.46 toneladas de CO_2 por tonelada de materia seca, lo que para condiciones de Texas equivale a 49.4 toneladas de CO_2 por hectárea anualmente. A manera de comparación un bosque energético en Brasil fija como promedio 20.8 t /ha. año de CO_2 .

b. Emisiones de gases por las calderas de generación de vapor de los ingenios azucareros y plantas de derivados.

El problema de la polución del aire en la industria azucarera esta relacionado íntimamente con las características del combustible (humedad, cenizas, etc.), con las características del horno y de la caldera, así como con la operación de estos equipos. La industria azucarera se caracteriza por el empleo del bagazo de caña de azúcar en la generación de vapor, solo en ocasiones es empleado fuel oil como combustible, sin embargo, en la producción de derivados es generalizado el empleo del fuel oil. Por una parte, es necesario el empleo de vapor durante tiempos de no zafra, pero a pesar de la cercanía de las plantas de derivados al central no se emplea vapor generado a partir de bagazo provocando derroches de vapor sobrante, aumento de los costos, derroche de energía renovable, impactos negativos sobre el medio ambiente, entre otros.
En el caso de las calderas para bagazo la concentración (de 1000 a 30000 mg/Nm3) y la composición granulométrica de las partículas son extremadamente variables. Los factores que provocan este fenómeno son: *(Food, 1974)*.

- ➢ Variación en las características del bagazo (humedad, granulometría y contenido de cenizas)
- ➢ Régimen de operación y capacidad de la caldera.
- ➢ Sistema de combustión del bagazo (en capa o en suspensión) y forma de limpieza de la parrilla.

La fracción de cenizas arrastrada con los gases depende fundamentalmente del tipo de sistema de combustión y de las condiciones de operación como la distribución del aire. Se estima que la concentración de cenizas en los gases producto de la combustión varia entre 1850 y 3285 mg/Nm^3 *(Food, 1974).*

Caracterización de las emisiones producto de la quema del bagazo de caña.
Los factores de emisión expresan la cantidad de diferentes contaminantes emitidos por unidad de producto o unidad de combustible / energía. Así conociendo el volumen de producción total y o el consumo total de combustible es posible calcular las emisiones totales del equipo o planta en cuestión. En la Tabla 1 se muestran los factores de emisión de calderas para bagazo expresados en g de contaminantes/kg de vapor generado y en kg de contaminante/kg de bagazo quemado *(EPA, 1995)*

Tabla I. Factores de emisión para calderas que queman bagazo de cana.

Contaminante	g/kg de vapor	g/kg de bagazo
Material particulado - Sin control - Controlado	 3.9 0.4-2.1	 7.8 0.8-4.2
CO_2 - No controlado	 390	 780
NO_x - No controlado	 0.3	 0.6
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) - No controlado	 $2.5\ 10^{-4}$	 $5\ 10^{-4}$

c. Producción de azúcar blanco directo.
La producción de blanco directo tiene como objetivo fundamental la obtención de un producto cuyos indicadores de calidad sean semejantes a los del azúcar refino, o sea, sustituir esta en el consumo directo de la población y en algunas producciones industriales, por lo que se debe trabajar siempre encaminado al cumplimiento de los indicadores de calidad.
En Cuba se produce este tipo de azúcar en dos ingenios, pero es de interés su producción generalizada. La principal desventaja lo constituye el efecto negativo causado al medio ambiente por los gases que se liberan en el proceso, estos están formados por SO_2 y SO_3 que no reaccionaron en el proceso de sulfitación y que el reaccionar con vapores de agua formando ácido sulfúrico. La sulfitación del jugo de caña es el principio tecnológico fundamental para obtener un azúcar similar al refino. La sulfitación es el procedimiento auxiliar de la clarificación mas comúnmente utilizado en los países productores de azúcar. Con este propósito son empleados como agentes cal y dióxido de azufre. En este procedimiento se le añade al jugo crudo, mayor cantidad de cal que la equivalente a su acidez natural, de ahí la necesidad de neutralizar el exceso de cal por medio del dióxido de azufre. La base de la fabricación de azúcar blanco directo, es la intensidad de la purificación del jugo. Junto a esto el color del azúcar producido depende en una gran parte de la pureza de las masas cocidas, de las que el azúcar se separa *(Honig, 1979).*
La solubilidad mínima del sulfito de calcio se encuentra cerca de los 75 ^{o}C. Es necesario señalar que desde el punto de vista físico el proceso de absorción gaseosa es afectado notablemente por un aumento de la temperatura. A medida que aumenta esta, disminuye por lo general la solubilidad de los gases y se entorpece el proceso de absorción. De esta generalización, no escapa el caso de absorción de SO2 por el jugo, lo que es muy importante estudiar el sistema, con el objetivo de encontrar la temperatura optima de operación de los equipos sulfitadores desde el punto de vista del proceso de absorción y el efecto que provocaría además, en los calentadores (formación de incrustaciones). No obstante en Cuba se aplica en la actualidad la sulfitación en frío, el mejor procedimiento desde el punto de vista de la absorción gaseosa, es mas controlada, no se producen perdidas accidentales por inversión, además no se filtra el jugo clarificado, la cachaza es tratada en filtro Oliver, no se producen simultáneamente dos azucares, sino que toda la proporción sale como blanco

directo, Su aplicación es fundamentada además por los favorables resultados que se han alcanzado en Nicaragua y México.

d. Contaminantes en la industria de los derivados.

Derivados obtenidos de la miel final de caña.
Entre los principales derivados de las mieles se encuentran las producciones de alcohol, levadura Torula y la alimentación animal. Estas producciones coinciden con las mayores producciones de derivados en Cuba

Producción de alcohol.
Durante el proceso de fermentación alcohólica en las destilerías se producen grandes cantidades de CO_2, Gay Lussac, físico y químico francés en el siglo XVII planteo la ecuación química clásica que rige este proceso, la cual es conocida por su nombre.

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CO_2 + 2C_2H_5OH$$

De acuerdo con esta ecuación teóricamente 100 gramos de glucosa forman 51.11 gramos de etanol y 48.89 gramos de gas carbónico, con desprendimiento de energía del orden la 23.7 Kcal. Si se considera la densidad del alcohol como 0.79 g/ml, entonces teóricamente en la producción de un hectolitro de alcohol se emite a la atmósfera 75.56 kg de CO_2, por lo que una destilería típica cubana de 600 hl/d libera 45 toneladas de CO_2 diariamente. El CO_2 producido puede ser recuperado y utilizado en diferentes usos industriales, sin embargo en Cuba son muy pocas las destilerías que lo recuperan y en mínimas cantidades.
Es conocida la práctica de instalar columnas lavadoras para recuperar el etanol que se pierde en el flujo de gas emitido en la fermentación. Otro método atractivo para recuperar el etanol evaporado en los fermentadores es la biofiltración, empleando levaduras del género *Candida utilis* (levadura forrajera) soportada en bagazo predigerido se puede convertir todo el etanol en biomasa y de esta forma obtener un alimento animal con contenidos de proteínas adecuados.

Producción de levadura Torula
En el crecimiento de los microorganismos en condiciones de aeróbicas, se libera CO_2 como resultado de la respiración o combustión total de los carbohidratos. En la ecuación teórica del catabolismo de la glucosa puede observarse que un mol de glucosa consumida produce 6 moles de CO_2.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

Si se considera que todo los azúcares son utilizados para la producción de energía y el rendimiento biomasa/sustrato de *Candida utilis* crecida sobre glucosa es del 50%, entonces se liberan al medio teóricamente 2933 kg de CO_2 por tonelada de levadura seca producida, en planta que producen 30 toneladas diarias se liberan unas 88 toneladas de CO_2.
En el caso de las fábricas de alcohol y levadura donde se liberan grandes cantidades de CO_2 hay que tener en cuenta que los azucares utilizados son provenientes de un derivado de la caña de azúcar y esta planta está considerada como una de las energías renovables que más fija CO_2 en el proceso de fotosíntesis, por lo que las cantidades de este liberados a la atmósfera son muy inferiores a las que se fijan por esta planta.

Otros tipos de gases son emitidos a la atmósfera teniendo en cuenta la composición del biogás producido en los sistemas anaerobios. Estos son, el sulfuro de hidrógeno, que ocasiona olores nauseabundos, además de problemas de corrosión severos en las casas de la comunidad aledaña a éstos sistemas, especialmente en complejos donde existan destilerías de alcohol y plantas de levadura, donde las concentraciones de sulfuro de hidrógeno en el biogás sobrepasan los valores de 0.1%.

Productos derivados del bagazo.
Los principales productos derivados del bagazo son los tableros y el furfural. La producción de tableros se caracteriza por el prensado de partículas de bagazo previamente preparadas y mezcladas con resinas sintéticas. Cuando se emplea la resina urea-formaldehído en el prensado en caliente se liberan cantidades considerables de formaldehído, sustancia perjudicial para el hombre. En la literatura consultada no se encuentran datos de las cantidades que se liberan, ni tratamientos físico, químicos y biológicos en esta industria, el efecto de los gases liberados en las prensas se mitigan en parte extrayéndolos a través de campanas que lo liberan a la atmósfera. En la producción de furfural tampoco existen trabajos que caractericen y cuantifiquen las emisiones gaseosas emitidas por esta industria, se conoce que se liberan cantidades pequeñas de furfural y otros productos de la hidrólisis del bagazo, sin embargo no existen tratamientos de estos efluentes.

La Estrategia Ambiental del MINAZ en concordancia con las legislaciones nacionales establece:
- La reducción de los consumos de agua en la industria, con el reuso y el reciclaje de las aguas, para minimizar de las aguas residuales que producen.
- Implementación de medidas internas en la industria para mejorar la calidad de las aguas para su tratamiento.
- La fertirrigación de las aguas residuales en los campos de caña aledaños a los complejos agroindustriales.
- La producción de biogás en plantas modulares de mediana y alta capacidad, a partir de cachaza, mostos de destilerías de alcohol, aguas residuales procedentes de plantas de lavadura y otros desechos de alta carga orgánica.

Esta estrategia permitirá ir reduciendo paulatinamente las emisiones, en la medida en que se puedan realizar las inversiones necesarias en los complejos agroindustriales donde aún sus residuales no reciben tratamiento o donde los existentes no son los más adecuados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFÍCAS

CETESB, Diretrizes das acoes de controle de poluicao ambiental com relacao a queima da palha de cana safra/97, Directoria de Controle da Poluicao Ambiental, 1997.
CETESB, l^{er} Simposio sobre queima de palha de canaviais, 5 de diciembre, 1989. Campinas.
EPA. Compilation of air pollutant emission factors, 1995
Food, B. W., Frew. R. Fly ash collectors for bagasse fired boilers. Quensland Society of Sugar Cane Technologistis Conference 41, Proceedings, pp 143 – 149, 1974.
Food, B. W., Honey, A. S., Munro, B. M. Emissions from bagasse fired boilers. 15 ISSCT Congress, proceedings, pp 1680 – 1687, 1974.
Gong y Cols. (1981) *Advances in Biochemical Engineering*, 20: 76-87.
Honig, P. Principios de Tecnología Azucarera. La Habana, editorial Pueblo y educación. 1979
Ladisch y Cols. (2003) *Enzyme Microb. Technol.*, 5: 25-32.
Rozeff, N. (1995) *International Sugar Journal,* 97: 184-187.

LA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS EN EL CENTRO NACIONAL DE GESTION DEL MEDIO AMBIENTE PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA Y DERIVADOS (CENGMA) ¿UNA HERRAMIENTA NECESARIA?

Julio F. Santo Tomás Valdés

Instituto Cubano Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
Vía Blanca No 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón. La Habana. Cuba
e-mail: julio.santotomas@icidca.edu.cu

Resumen

La identificación y evaluación de riesgos en el Centro Nacional de Gestión del Medio Ambiente (CENGMA) para la industria azucarera y derivados y en su laboratorio LAGUAZUR, para la caracterización de las aguas residuales, constituye una tarea que por su actualidad e importancia es necesario comenzar a realizar, lo cual debe estar en correspondencia con los objetivos, la misión y la política de calidad de esta organización.
La capacidad de prosperar de una organización al afrontar los riesgos, al mismo tiempo que responde a acontecimientos imprevistos, buenos o malos, es un excelente indicador de su capacidad para competir. Por lo que, el crecimiento de una organización exige la evaluación de sus riesgos.
El trabajo tiene como objetivo discutir sobre la necesidad de la implementación de la Gestión de Riesgos como una herramienta para la mejora continua y el aumento de la competitividad de esta organización.

Palabras claves: riesgos, evaluación, industria azucarera, derivados, medio ambiente.

Summary

The identification and evaluation of risks in the National Center of Administration of the Environment (CENGMA) for the sugar and derived industry and in their laboratory LAGUAZUR, for the characterization of the residual waters, constitutes a task that for its present time and importance is necessary to begin to carry out, that which should be in correspondence with the objectives, the mission and the politics of quality of this organization.
The capacity to prosper from an organization when confronting the risks, at the same time that responds to accidental, good or bad events, it is an excellent indicator of their capacity to compete. For that, the growth of an organization demands the evaluation of its risks.
The work has as objective to discuss on the necessity of the implementation the Administration of Risks like a tool for the continuous improvement and the increase the competitiveness of this organization.

Key words: risks, evaluation, sugar industry, derived, environment.

Introducción

El Centro Nacional de Gestión del Medio Ambiente (CENGMA), como organización líder de la industria azucarera y derivados en la gestión de la preservación del medio ambiente, tiene entre sus funciones la de supervisar la implementación del "Sistema de control para la caracterización de las aguas residuales de la industria azucarera y derivados" y en su laboratorio LAGUAZUR el desarrollo y certificación de procedimientos analíticos que son necesarios para el control de los sistemas de tratamientos de las aguas residuales.

Los objetivos, las funciones, la misión y la política de calidad del Centro Nacional de Gestión del Medio Ambiente (CENGMA) para la industria azucarera y derivados y su laboratorio LAGUAZUR están expuestos a los riesgos por los cambios de tipo organizativos, económicos, de dirección, tecnológicos, etc. tanto internos como externos que constantemente se originan y para los cuales la organización debe de prepararse para minimizarlos.

La Gestión de Riesgos es una herramienta de dirección en la que se sustentan los sistemas de gestión modernos y está destinada a ayudar en la toma de decisiones en los diferentes niveles de una organización. Es la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas para identificar, analizar, evaluar, tratar y dar seguimiento a los riesgos. Esencialmente la gestión de riesgos implica el anticipar qué puede estar mal, porqué puede ocurrir y qué puede realizarse para evitar o disminuir el riesgo en la organización, como en el Centro de Gestión del Medio Ambiente de una de las principales industrias de producción de alimentos; en la que sus aguas residuales constituyen una importante fuente contaminante, por los contenidos de demanda química de oxígeno (DQO), por los volúmenes que genera (trescientos mil m^3/día) y por el número, ubicación y dispersión de los focos contaminantes en todo el país. Por lo que la Misión de esta organización es: orientar y motivar la Política de Innovación Tecnológica para la protección al medio ambiente y el desarrollo sostenible de la industria azucarera y derivados.

Entonces es valida la interrogante de sí la identificación y evaluación de riesgos es una herramienta de dirección necesaria para alcanzar los objetivos y cumplir las funciones de acuerdo con su política de calidad.

El trabajo está encaminado a motivar la propuesta para la implementación de la Gestión de Riesgos como herramienta de dirección en el Centro Nacional de Gestión del Medio Ambiente (CENGMA), para un mejor desempeño de esta organización, a partir de los objetivos, las funciones, la misión y la política de calidad.

Discusión

Es la Gestión de Riesgos una herramienta de dirección necesaria para aplicar en el CENGMA, esta es la interrogante que se plantea y que en el trabajo se propone dar una respuesta.

En primer lugar la definición que da Madrigal (2004) para la Gestión de Riesgos, es la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas para identificar, analizar, evaluar, tratar y dar seguimiento a los riesgos. Es posible aplicarla a todo el ámbito de una organización, en cualquier fase de un programa, proceso, actividad, proyecto, etc., así como en todos los niveles de la organización, tanto estratégico como operacional.

De acuerdo con esta definición, de que es posible aplicarla en cualquier fase y en todos los niveles en una organización, tendríamos una primera respuesta a la interrogante planteada. Debe de existir, además la decisión política de la dirección de la organización para su aplicación. Es entonces oportuno tener otros elementos para ganar mayor claridad sobre el problema planteado.

El riesgo, lo define Madrigal (2004), como el resultado de la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de un peligro definido (problema, fallo, accidente, catástrofe natural, fraude, error humano, etc.) y de la severidad o magnitud de las consecuencias de este hecho indeseable en caso de que ocurra. Por lo que, el concepto de riesgo tiene dos elementos, la probabilidad de que algo suceda y las consecuencias en caso de que suceda.

Por su parte, un riesgo según lo plantea Abreu (2005), es un evento fortuito e incierto resultante de nuestras acciones o por la acción de una causa externa que puede intervenir en el alcance de nuestras metas. El

término riesgo se asocia generalmente a aspectos negativos, como a la probabilidad de ocurrencia de un suceso no deseable. Si algo ha ocurrido ya, el riesgo asociado a ese evento ya no existe por lo que el riesgo es siempre futuro. Por lo tanto el riesgo se refiere únicamente a cosas que pueden pasar y así cuanto más conocimiento se tenga sobre él, más posibilidades tendremos de evitar posibles situaciones que pueden ocurrir.
Como una de las primeras acciones que es necesario comenzar a realizar en el CENGMA se encuentra la identificación de riesgos; que es el proceso de determinar que puede suceder, por qué y cómo definir y registrar en detalles las fallas o causas en que se localizan los riesgos. Las fallas se definen como la probabilidad de incumplimiento de las funciones, eventos o situaciones que pueden coadyuvar a que no se logren las metas diseñadas en una entidad para un periodo determinado.
El objetivo de la administración de riesgos no es otro que maximizar las repercusiones positivas (oportunidades) y minimizar las negativas (pérdidas) asociadas a los riesgos de la organización. Sólo una política efectiva de riesgos puede asegurar un equilibrio entre riesgo y oportunidades.

Como uno de los primeros pasos, es necesario que la dirección de la organización tenga establecido sus objetivos globales, así como el desglose de los mismos por cada área o dependencia y las estrategias para su logro. Estos objetivos deben tributar a la Misión de la entidad. La Misión del CENGMA es: orientar y motivar la Política de Innovación Tecnológica para la protección al medio ambiente y el desarrollo sostenible de la industria azucarera y derivados.
Como resultado de que las condiciones económicas, tecnológicas, industriales, normativas y operacionales se modifican de forma continua, se necesitan mecanismos para identificar y minimizar los riesgos específicos asociados con el cambio, por lo que cada vez es mayor la necesidad de evaluar los riesgos previos al establecimiento de objetivos en cada nivel de la organización, de acuerdo con la Resolución No. 297/03 del MFP Del Toro (2005)
Sobre algunos de los aspectos de la Política de Calidad del CENGMA entre los cuales se encuentran los objetivos y las principales funciones de la organización que deben tomarse en consideración para identificar y evaluar los riesgos para la aplicación de la gestión de riesgos de la organización.
La política de calidad del CENGMA tiene como propósito ofrecer servicios a la Industria Azucarera y sus derivados, para la caracterización y evaluación del impacto de sus aguas residuales al medio ambiente, además de evaluar la calidad de estas aguas para el riego a través de una administración eficaz de los procesos. Como función la de ofrecer servicios analíticos de alta confiabilidad con el cumplimiento de los requisitos esenciales de seguridad y eficacia especificados en un mínimo de tiempo. Desarrollar y mejorar continuamente el sistema de Gestión de la Calidad implantado acorde a la norma ISO/IEC 17025:2005 con la finalidad de satisfacer las necesidades de los clientes. Del mismo modo el CENGMA estimulará la creación de las condiciones apropiadas para asesorar y capacitar al personal técnico que labora en los controles analíticos de los sistemas de tratamientos de aguas residuales de la Industria Azucarera y derivados.
La correspondencia entre los objetivos trazados y la misión de la organización. Estructura de la organización Desarrollo tecnológico con que cuenta la entidad con respecto al entorno. Comportamiento humano de los involucrados en la organización y de los no involucrados. Calidad del personal incorporado y su mecanismo para instrucción y motivación deben ser consideradas como fuentes genéricas de riesgos que afectan a la organización.
El CENGMA oferta servicios a solicitud de los clientes de empresas de la industria azucarera y la de derivados, como la transferencia de tecnologías de tratamientos de las aguas residuales. Asesorías rápidas utilizando las Herramientas de P+L. Certificación de la caracterización de las aguas residuales. Estudios de Alternativas para el Tratamiento y/o Disposición de las aguas residuales. Análisis para la optimización del uso del agua y energía en la industria. Capacitación del personal.
Todos estos servicios, en una mayor o menor medida, están amenazados por el cambio y por fuentes internas, que son las relacionadas con el funcionamiento de los procesos y actividades propias de la entidad (estructura de la organización, calidad del personal, entre otros); y por fuentes externas, las relacionadas con los cambios que pueden ocurrir en el entorno de la organización (desarrollo tecnológico, alteraciones en el

escenario económico que impacten en el presupuesto de la entidad, entre otros), Abreu (2005). La organización debe entonces prepararse a través de la investigación y análisis de los riesgos relevantes y el punto hasta el cual el control vigente los neutraliza, así como evaluar la vulnerabilidad de la organización. Para lo cual debe adquirirse un conocimiento práctico de la entidad y sus componentes como manera de identificar los puntos débiles, enfocando los riesgos, tanto de la entidad (internos y externos) como de la actividad.

La organización realiza además estudios específicos sobre posibles problemas en los sistemas de tratamientos de las aguas residuales y el desarrollo de tecnologías más eficientes o el perfeccionamiento de las existentes para el tratamiento de las aguas residuales. La descarga de estos contaminante al medio ambiente produce la destrucción de la flora y la fauna, lo que crea serios problemas económicos y sociales.

Por lo que el MINAZ ha planteado la realización de un plan de medidas a mediano y corto plazo, en correspondencia con la necesidad de lograr la conservación del medio ambiente en las que tiene un importante papel el CENGMA.

Conclusiones

Como conclusión a la interrogante planteada en el trabajo consideramos que es oportuno y necesario la implementación de la identificación y evaluación de riesgos en el Centro Nacional de Gestión del Medio Ambiente (CENGMA) para la industria azucarera y derivados y en su laboratorio LAGUAZUR, como una herramienta de dirección para la mejora continua y el aumento de la competitividad, lo cual constituye por su importante repercusión una de las actividades a implementar junto con el sistema de gestión de la calidad

Referencias:

1.- Madrigal, J. B (2004), Introducción a la gestión de riesgos empresariales.

2.- Del Toro Ríos, J. C.; Fonteboa Vizcaíno, A.; Armada Trabas, E.; Santos Cid, C. M. (2005), Control Interno. Material de Consulta. Resolución No. 297/03 del MFP

3.- Abreu Herrera, M. F. (2005), Después del Diagnóstico de Control Interno. Una propuesta para Identificar y Evaluar riesgos. Consultoría BISE, S.A. MEP-ONE.

Abril, Alejandro J.
Abundio Ferrer, Pio
Acevedo, Ricardo
Acosta Hernández, Fidel M.
Acosta Martínez, Delvis Rafael
Águila Hernández, Idalia
Aguila, Luis
Aguilar, Laura
Aguilera Barroso, L.
Aguirre Lois; Milagros
Alba, L.
Albernas Carvajal, Yailet
Alfonso, Isabel
Alfonso, Juan J.
Almaguel, Ramiro E.
Almazán del Olmo, Oscar
Almeida e Silva, João Batista de
Almeida Lima, Urgel de
Almeida, Roberto
Altuna, Beatriz
Álvarez, Amaury
Álvarez; Xiomara
Anache Casaell, Silvino
Arencibia, Ariel
Arevalos; Ramón
Arias Pólo, Guillermo
Arias, Wilson
Armas, Gisela de
Armenteros, Silvia
Ataide da Silva, Alexandre
Avila, José
Avila, Manuel
Ayala, Lázara
Barreiro Echemendia, José
Barreto Pérez, Bárbara C.
Barroso, G
Basto, Yakelin
Becerra de Armas, Everaldo
Bedolla, Elisa
Bell, Antonio
Bello Gil, Daniel
Bendig, Betty
Benítez Puig, Ledya
Bernal, Norge
Betancourt, Yoel
Bisio, Walter
Blanca Herrera, Rosa Mª
Blanco Carracedo, Gladys
Blanco Carvajal, Idania
Borges, Dayamy
Bouza Miranda, Yosniel
Brandl, Helmut
Bravo Pino, C. A.
Brizuela, María Antonia
Brown, Adolfo
Bueno, Gloria
Burunate Hernández, Juan F.
Cabello Balbín, Agustín
Cabrera, Arnulfo
Cabrera, Lorenzo
Campo, Ricardo
Canella, A.
Cañete, A.
Cañete, Rafael
Cañete, Zuyaima
Cañizares, Pablo
Capote Arritola, Mayra
Caraballoso, Víctor
Carabeo, Viviana
Cárdenas, Mayra
Carrera Bocourt, Emilia
Carrillo Urrutia, Raúl Oscar
Carvajal, Omelio
Castañeda, Julia
Castellanos Estupiñán, Jesús
Castillo, Antonio
Castillo, Grolamys
Castro Galiano, Eulogio
Castro, M.
Castro, Sergio
Cedeño, William
Cepero Acan, Israel
Cerutti, Graciela
Cervantes, Carmen
Cervantes, Oscar
Céspedes, A.
Céspedes, Adrián
Charnet, Andrey
Chinea Horta, Antonio
Cobas, William
Cobo Vidal, Yakelin
Consuegra, Ramón
Corona Estrada, Nuvia
Coronel, Mónica
Correa Ferrán, D.
Cortegaza, Pedro L.
Costales, Raúl
Crespo, Deborah
Cruz, Amaury
Cruz, Elizabeth

Cruz, Mauricio
Cruz, Osmany
Cruz, Rubisel
Cuervo Fernández, Rubén
Cuesta, J.
Curvelo, Evaristo
De Armas Casanova, Carlos
Delgado, Grizel
Delgado, Irenaldo
Derivet, M.
Díaz de los Rios, Manuel
Díaz de Villegas, Ma. Elena
Díaz, Carmen
Díaz, René
Díaz-Llanes, Ángela O.
Diez Torres, Francisco
Dios Ruiz, Omar
Domenech, Fidel
Duarte Alvarez, Yenisley
Dunand Castellanos, Rafael
Durán Hernández, Remigio
Dustet Mendoza, J.C.
Eng Sánchez, Felipe
Escalier, Pierre
Fajardo García, Raúl
Febles, M.
Fernández, Ciro
Fernández, Damián
Fernández, Mailen
Fernández, María Teresa
Fernández, Teresa
Fernández, Yoslen
Flores, Massiel
Flores, P.
Fonseca, Jennifer
Fonseca, Ernesto
Fonseca, Jesús
Forsthoffer, Julius
Fraga Vidal, Reinaldo
Freeman, Juan
Fundora, Jorge Luis
Gálvez, Guillermo
Games, Hugo
García Pérez, Héctor
García Ruiz, Inoel
García, Alberto
García, Estrella
García, Eusebio
Garrido Carralero, Norge
Gastón, Cristina
Giménez, Rafael
Goire, Isabel
Gómez Estévez, Andrés
Gómez, Eulalia
Gómez, José Antonio
Gómez, Santos
Gonzáles, Ernesto
González Araújo, Carlos
González Cortés, Meilyn
González Fundora; Yannery
González Rivero, Ramón
González Suárez, Erenio
González, Alberto
González, Aldo
González, Carlos
González, Gilberto
González, Gisela
González, Jesús
González, Roberto
González, Rolando
González, Tania
Gosset Lagarda, Guillermo
Gracia, Ignacio
Griffith, J.
Guardarrama Rodríguez, Raimundo
Guerra Alvarez, B.
Guerra Martín, Nancy
Guerra, Maikel
Guerra, Mercedes
Guevara, Yusmila
Gutiérrez, Arnaldo
Heredia Alemán, Bettina
Hernández Corvo, Y
Hernández Román, Nadyesca
Hernández, A.
Hernández, Helis
Hernández, J.
Hernández, Jorge
Hernández, L.
Hernández, R.
Hernández, Sidarma
Hernández, Yoel
Herrera Marrero, Nancy
Herryman Munilla, Maribel
Hidalgo, Katia
Hormaza, Josefa V.
Huerta Beristain, Gerardo
Hurtado, Rafael
Ibáñez, M.
Ibarra, J.

Iglesias, I.
Islén Limonta, P. R
Jorge, Héctor
Jorge, Ibis
Jover de la Prida, Josefina A.
La O, María
Labarta, Ibis
Lazo de la Vega Valdez. José M.
Legra, Silvano
Lemes, Teresita
León Ortiz, Mario de
León, Olga Lidia
Lezcano, P.
Llanes Iglesias, José E.
Lodos Fernández, Jorge Tomás
Lombardi, Gerardo
López Flores, Joel
López Gª de la Serrana, Herminia
López Martínez, Mª del Carmen
López, Diuneskys
López, Herminia
López, Pastor
Lorenzo Acosta, Yaniris
Lorenzo Izquierdo, Magdalena
Luciano Vidal, Manuel
Luis, Odalis
Manganelly, Edilberto
Manso Pérez, Celso F.
Marmolejo, J.
Martí García, Cesar
Martín Gutiérrez, George
Martín, Ariadna
Martín, Carlos
Martínez Águila, Ricardo
Martínez Jiménez, Alfredo
Martínez Nodal, Pastora de la Concepción
Martínez Rodríguez, Arturo
Martínez, Aidín
Martínez, Mayuly
Martínez, Victor
Martínez-Valdivieso, Julio A.
Más Martínez, Rafael
Mederos Carmen M.
Medina Estevez, M.
Mesa Garriga, Leyanis
Mesa López, José María.
Michel, Alejandra
Michelena Álvarez, Georgina L.
Mieres, Gretel
Mijares Medina, Danislevy
Moltalván, Joaquín
Monsan, Pierre
Monteagudo Serrano, Mercedes
Montero-Sánche z, Yatali
Montesino Herrera, Mirelys
Mora, L. M.
Mora; Norma Elena
Morales Fonta, Amado
Morales Joa, Mireya
Morales Valle, Tomás
Morales, I.
Morales, U.F.
Morel, Sandrine
Moss, Cessna
Motta, W.
Muratore, María Paola
Naranjo Pérez, Igor
Navarro Hernández; Verónica
Ojeda, Eulalia
Oliveras, Mª Jesús
Orencio Trejo, Montserrat
Ortega Arias-Carvajal, Grisel Ma.
Ortega, Eduardo
Osorio, Nilva
Otero Rambla, Miguel A.
Oxabarat, Dardo
Padilla, J.
Padrón, Magalys
Palma, J.M.
Pavón Muñoz, Juan A.
Peña, Liet
Pérez Bermúdez, Indira
Pérez de Alejo, Héctor E.
Pérez Díaz, D.
Pérez Herrera, Elier
Pérez Izquierdo, Manuel
Pérez Milián, José
Pérez Ones, Osney
Pérez, Gelasio
Pérez, Guillermo Esperanza
Pérez, Heidy
Piloto, Jorge L.
Pineda Martínez, Emma
Pino, Ernesto
Pinzón, J.M.
Platero, Boris
Polledo Zayas, Francisco N.
Porto Ruz, Olga
Pousa, Ivia
Prieto, Ana Ibis

Prieto, Juana
Puchades, Y.
Queris Hernández, Oscar
Quesada Granados, José Javier
Quiñones, Lorena
Rábago, Ricardo
Ramírez Soto, Rosa Irma
Ramírez, Martha
Ramos, Beatriz
Reádigos, Ricardo
Reche, Roni Vicente
Redondo, Delfa
Remaud-Simeon, Magali
Reyes Linares, Arlyn
Reyes, Enivis
Reyes, Irene
Reyes, J. A.
Ribas, Mauricio
Rill, Salvador
Ríos Hidalgo, Liz Mabel
Rivas Montes, Gracia
Rivero, M.
Rodríguez Baluja, Y.
Rodríguez Ortiz, Yunior
Rodríguez Rico, Iván
Rodríguez, Bárbara
Rodríguez, Eida
Rodríguez, Eulalia
Rodríguez, J. A.
Rodríguez, José
Rodríguez, Julio
Rodríguez, Lorenzo
Rodríguez, Pedro
Rodríguez, R.
Rodríguez, Reynaldo
Rodríguez, Y.
Rodríguez, Yoandry
Rodríguez; Bárbara
Roig, Mario
Romero, Mabel
Romero, Maria Isabel
Romero, R.
Rosa, Blanca
Rossi, Iván
Sabadí Díaz, Raúl
Samaniego Sánchez, Cristina
San Juan, Ana Nelis
Sánchez Ortiz, Maritza
Sánchez, Pedro
Sandoval, G.A.
Santana Sánchez, Ana María
Santana, Ignacio
Santana, Rolando
Santo Tomás Valdés, Julio F.
Saura Laria, Gustavo
Seijo, Ángel
Senti, Marta
Serrano, Paulina
Suárez, Oscar
Sulbarán, Luis
Taherzadeh, Mohammad
Tamayo, Mónica
Tello Céspedes, Reski
Toledo Pérez, José
Torres Cruz, Yuniesky
Torres Fernández, Alfredo
Torres, E.
Torres, Isabel
Torriente Díaz, Doris
Tortoló, Keyla
Tovar, Belkis
Tuero, Susana
Valdés Delgado, Antonio
Valdés, E.
Valdés, Esperanza
Valdés, J.
Valdivia, M.
Valdivié, M. I.
Valencia, Aldo
Valladares, Félix
Vallina, Julio 6
Vargas, Luís
Vasallo Sordo, María del Carmen
Vázquez, Clotilde
Velásquez, Ramón
Vera, Antonio
Verde Sandoval, Omar
Veronez de Sousa, Sérgio Antônio
Villa, Pilar
Villalón Mir, Marina
Villamil, Gloria
Villar Delgado, José
Villaseñor, José
Villazón Gómez, Juan A.
Villegas Delgado, Rafael
Viñals, Mabel
Viñas Quintero, Yudith
Wagner Franco, Douglas
Zamora Báez, Alexis
Zayas, E.P.

Zinn, Manfred
Zuasnabar, Zaida.
Zuaznábar Zuaznábar, Rafael
Zuluaga, H.A.
Zumalacárregui de Cárdenas, Lourdes